

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОВЕТ ПО НАУЧНОМУ РАЗВИТИЮ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**

---

Азербайджанская  
Секция

Восточно-Европейская  
Секция

Российская  
Секция

---



**Э.Н.Халилов**

**ГРАВИТАЦИОННЫЕ  
ВОЛНЫ  
И  
ГЕОДИНАМИКА**

**К 90 – ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА РАН,  
ЗАСЛУЖЕННОГО ПРОФЕССОРА МГУ  
ВИКТОРА ЕФИМОВИЧА ХАИНА**

*ЭЛМ – МСНР/МАН  
Баку – Берлин – Москва - 2004*

*Э.Н.Халилов. Гравитационные волны и геодинамика.*

INTERNATIONAL COUNCIL FOR SCIENTIFIC  
DEVELOPMENT

---

INTERNATIONAL ACADEMY OF SCIENCE

---

---

AZERBAIJAN SECTION      EAST-EUROPEAN SECTION      RUSSION SECTION

---



**E.N.Khalilov**

**GRAVITATIONAL WAVES  
AND  
GEODYNAMICS**

**ON THE OCCASION OF 90-YEARS OF BIRTH OF  
THE ACADEMICIAN OF RAS,  
HONORED PROFESSOR OF MSU  
VIKTOR YEFIMOVICH KHAIN**

*ELM – ICSD/IAS*

*BAKU – BERLIN – MOSKOW – 2004*

2

---

*E.N.Khalilov. Gravitational waves and geodynamics.*

*Публикуется в соответствии с решениями  
Научных Советов Восточно-Европейской,  
Российской и Азербайджанской Секций  
Международной Академии Наук Н&Е*

**ПОД РЕДАКЦИЕЙ:**

*Академика Российской Академии Наук, Доктора геолого-  
минералогических наук, заслуженного Профессора МГУ,  
Лауреата Государственных Премий СССР и Российской  
Федерации*

**ХАИНА ВИКТОРА ЕФИМОВИЧА**

**Халилов Э.Н. Гравитационные волны и геодинамика.  
Баку-Берлин-Москва, Элм - ICSD/IAS, 2004, 330с.**

**ISBN 5-8066-1102-4**

В монографии рассмотрен широкий спектр вопросов, связанных с проблемами регистрации и природы гравитационных волн и их влияния на современные геодинамические процессы. Излагаются основные причины неэффективности работы существующих детекторов гравитационных волн.

Детально представлен обзор концепций, основанных на различной трактовке факта вариаций гравитационной постоянной.

В книге подробно описаны результаты исследований автора, приводящего к выводу, что вариации измеренных значений гравитационной постоянной, являются следствием влияния сверхдлинных гравитационных волн на показания весов Кавендиша.

Книга рассчитана на широкий круг ученых и студентов в области геофизики, физики, астрофизики и геологии.

X  $\frac{1803020000}{655(07) - 02}$

**BAKU – BERLIN – MOSCOW - 2004**

**It is published in accordance with resolution of  
Scientific Boards of Eastern-European,  
Russian and Azerbaijan Sections of  
International Academy of Sciences H&E**

***EDITED BY:***

**Academician of Russian Academy of Sciences, Doctor of geological-  
mineralogical sciences, Honored Professor of MSU, Laureate of  
State Prizes of USSR and Russian federation  
*KHAIN VICTOR YEFIMOVICH***

**Khalilov E.N. Gravitational waves and geodynamics.  
Baku-Berlin-Moscow, Elm – ICSD/IAS, 2004, 321**

**ISBN 5-8066-1102-4**

Wide spectrum of issues, connected with problems of registration and nature of gravitational waves and its influence on modern geodynamic processes is considered in monograph. Main causes of ineffective operation of existing detectors of gravitational waves are stated.

Review of conceptions, based on different interpretation of fact of variations of gravitational constant, is presented in detail.

Results of studies of the author, concluding, that variations of measured values of gravitational constant are consequence of influence of super long gravitational waves on indications of Cavendish balance, are depicted in detail in book.

The book is considered for wide circle of scientists and students in the area of geophysics, physics, astrophysics and geology.

X  $\frac{1803020000}{655(07) - 02}$

**BAKU – BERLIN – MOSCOW - 2004**

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

*Институт геофизики Гамбургского Университета, Профессор,  
Доктор наук, Академик МСНР/МАН*  
**SEWERIN J. DUDA**  
*(Геофизик, Германия, г. Гамбург)*

*Генеральный директор Центра Региональных геофизических и  
геоэкологических исследований Министерства Природных  
Ресурсов РФ, Академик РАЕН, Доктор технических наук,  
Профессор, Лауреат Государственных Премий СССР и РФ,  
Заслуженный геолог РФ*  
**СОЛОДИЛОВ Л.Н.**  
*(Геофизик, Россия, г. Москва)*

*Главный научный сотрудник Института Физики Земли  
им. О.Ю.Шмидта, Академик РАЕН, Доктор физико-  
математических наук, Профессор*  
**ИСМАИЛ-ЗАДЕ Т.А.**  
*(Геофизик, Россия-Азербайджан,  
г. Москва - г. Баку)*

*Директор института кибернетики Национальной Академии Наук  
Азербайджана, Академик Национальной Академии Наук, Академик  
МСНР/МАН, Доктор физико-математических наук, Профессор,*  
**АЛИЕВ Т.А.**  
*(Математик, информатика, Азербайджан, г. Баку)*

*Директор Шамахинской Астрофизической Обсерватории им.  
Н.Туси, Член-корреспондент Национальной Академии Наук  
Азербайджана, Академик МСНР/МАН, Доктор физико-  
математических наук, Профессор*  
**ГУЛИЕВ Э.С.**  
*(Астрофизик, Азербайджан, г. Баку)*

**REVIEWERS:**

*Institute of geophysics of Hamburg University,  
Professor, Doctor of science, Academician of ICSD/ IAS*

**SEWERYN J. DUDA**

**(Geophysicist, Germany, Hamburg)**

*Director General of Center of Regional geophysical and geoecological  
resrachs of the Ministry of Natural Resources of RF, Academician of  
RANS, Doctor of technical sciences, Professor, Laureate of State Prizes  
of USSR and RF, Honored geologist of RF*

**SOLODILOV L.N.**

**(Geophysicist, Russia, Moscow)**

*Senior research officer of the Institute of Physics of the Earth after  
O.Y.Smidt, Academician of RANS, Doctor of physical-mathematical  
sciences, Professor*

**ISMAIL-ZADE T.A.**

**(Geophysicist, Russia-Azerbaijan, Moscow-Baku)**

*Director of the Institute of Cybernetics of National Academy of Science  
of Azerbaijan, Academician of National Academy of Science,  
Academician of ICSD/IAS, Doctor of physical-mathematical sciences,  
Professor*

**ALIYEV T.A.**

**(Mathematician, information science, Azerbaijan, Baku)**

*Director of Shemakha Astrophysical Observatory after N.Tusi,  
Corresponding Member of National Academy of Science of Azerbaijan,  
Academician of ICSD/IAS, Doctor of physical-mathematical sciences,  
Professor*

**GULIYEV E.S.**

**(Astrophysicist, Azerbaijan, Baku)**

## **С О Д Е Р Ж А Н И Е**

<b>Условные и сокращенные обозначения используемые в монографии.....</b>	<b>13</b>
<b>От автора. Выдающийся бакинец – В.Е.Хаин (Краткая биографическая справка).....</b>	<b>14</b>
<b>Воспоминания автора.....</b>	<b>18</b>
<b>Вводное слово академика РАН В.Е.Хаина.....</b>	<b>24</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>31</b>
<b>ГЛАВА 1. ГРАВИТАЦИЯ И КОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ</b>	
1.1. Цикличность глобальных геологических процессов.....	37
1.2. Космогеологические аспекты цикличности.....	42
<b>ГЛАВА 2. ГРАВИТАЦИОННАЯ ПОСТОЯННАЯ И ПРИЧИНЫ ЕЕ ВАРИАЦИЙ</b>	
2.1. Метрологические аспекты измерений гравитационной постоянной.....	51
2.2. Возможные причины вариаций гравитационной постоянной.....	61
<b>ГЛАВА 3. ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ И ИХ РЕГИСТРАЦИЯ</b>	
3.1. Скорость гравитационных волн.....	92
3.2. Природа гравитационных волн.....	96
3.3. Проблемы регистрации гравитационных волн	
3.3.1. Источники гравитационных волн.....	102
3.3.2. Детекторы гравитационных волн.....	108
3.3.3. Новый класс детекторов гравитационных волн. Детектор АТРОПАТЕНА-1.....	129
3.3.4. Градация гравитационных волн.....	131

3.4. Логическая ошибка при проектировании детекторов гравитационных волн.....	133
<b>ГЛАВА 4. ВЫЯВЛЕНИЕ СВЕРХДЛИННЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН</b>	
4.1. Методологические основы математической обработки и анализа временных рядов	
4.1.1. Методы выявления скрытых периодичностей.....	145
4.1.2. Методологические особенности установления корреляционной связи между различными периодическими процессами.....	153
4.1.3. Принципиальные особенности физических различий волновых и циклических процессов....	157
4.2. Отражение гравитационных волн в вариациях измеренных значений гравитационной постоянной.....	159
4.3. Особенности влияния сверхдлинных гравитационных волн на результаты измерений гравитационной постоянной.....	163
<b>ГЛАВА 5. ВЛИЯНИЕ СВЕРХДЛИННЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ</b>	
5.1. Гравитационные волны и квадрупольная деформация Земли	
5.1.1. Космическая геодезическая программа NASA. Лазерная дальнометрия со спутников.....	170
5.1.2. Особенности квадрупольной деформации Земли по данным космической лазерной дальнометрии...	174
5.2. Земля – универсальный детектор гравитационных волн.....	181
5.3. Влияние сверхдлинных гравитационных волн на вариации длительности земных суток.....	192
5.4. Особенности влияния гравитационного поля планет Солнечной системы на природные процессы Земли.....	204
5.5. Гравитационные волны и цикличность вулканической активности.....	214
5.6. Отражение гравитационных волн в пространственно-временных изменениях осей интегральных напряжений в земной коре.....	223



<b>ГЛАВА 6. ДОПЛЕРОВСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН ЧЕРЕЗ КОСМИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ.....</b>	<b>228</b>
<b>ГЛАВА 7. НОВЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ РЕГИСТРАЦИИ СВЕРХДЛИННЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН И ИЗМЕРЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННОЙ ПОСТОЯННОЙ.....</b>	<b>241</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>252</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>267</b>
<b>ОСНОВНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О ЗЕМЛЕ.....</b>	<b>292</b>
<b>ОСНОВНЫЕ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕРМИНЫ.....</b>	<b>301</b>
<b>НЕКОТОРЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ.....</b>	<b>314</b>
<b>ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ.....</b>	<b>315</b>
<b>КРАТКАЯ БИОГРАФИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ.....</b>	<b>323</b>

## **C O N T E N T S**

<b>Conventions and abbreviations applied in monograph</b> .....	13
<b>From the author. Prominent Bakuer - V.Y.Khain (Brief biographic information)</b> .....	14
<b>Memories of the author</b> .....	18
<b>Introduction word of the Academician of RAS V.Y.Khain</b> .....	24
<b>Introduction</b> .....	31
<b>CHAPTER 1. GRAVITY AND COSMOGEOLOGICAL PROBLEMS</b>	
1.1. Cyclic recurrence of global geological processes.....	37
1.2. Cosmic-geological aspects of cyclic recurrence.....	42
<b>CHAPTER 2. GRAVITATIONAL CONSTANT AND CAUSES OF ITS VARIATION</b>	
2.1. Metrological aspects of measurements of gravitational constant.....	51
2.2. Possible causes of variations of gravitational constant.....	61
<b>CHAPTER 3. GRAVITATIONAL WAVES AND THEIR REGISTRATION</b>	
3.1. Velocity of gravitational waves.....	92
3.2. Nature of gravitational waves.....	96
3.3. Problems of registration of gravitational waves	

3.3.1. Sources of gravitational waves.....	102
3.3.2. Detectors of gravitational waves.....	108
3.3.3. New class of detectors of gravitational waves. Detector ATROPATENA-1.....	129
3.3.4. Gradation of gravitational waves.....	131
3.4. Logical error during designing of detectors of gravitational waves.....	133

#### **CHAPTER 4. DETECTION OF SUPER LONG GRAVITATIONAL WAVES**

4.1. Methodological bases of mathematical processing and analysis of temporary series	
4.1.1. Methods of detection of concealed cyclic recurrences.....	145
4.1.2. Methodological peculiarities of establishment of correlation between different periodical processes.....	153
4.1.3. Principal peculiarities of physical differences of wave and cyclic processes.....	157
4.2. Reflection of gravitational waves in variations of measured values of gravitational constant.....	159
4.3. Peculiarities of influence of super long gravitational waves on results of measurements of gravitational constant.....	163

#### **CHAPTER 5. INFLUENCE OF SUPER LONG GRAVITATIONAL WAVES ON GEODYNAMICS PROCESSES**

5.1. Gravitational waves and quadruple deformation of the Earth	
5.1.1. Cosmic geodesic program of NASA Laser remote ranging from satellites.....	170
5.1.2. Peculiarities of quadruple deformation of the Earth according to the data of cosmic laser remote ranging.....	174
5.2. The Earth is universal detector of gravitational waves.....	181
5.3. Influence of super long gravitational waves on variations of duration of the earthday.....	192
5.4. Peculiarities of influence of gravitational field of planets of the Solar system on natural processes of the Earth.....	204
5.5. Gravitational waves and cyclic recurrence of volcanic activity.....	214
5.6. Reflection of gravitational waves in spatial-temporary variations of axes of integral stresses in the Earth's crust...	223

<b>CHAPTER 6. DOPPLER EFFECTS DURING PASSAGE OF GRAVITATIONAL WAVES VIA COSMIC OBJECTS.....</b>	<b>228</b>
<b>CHAPTER 7. NEW METHODOLOGICAL PRINCIPLES OF REGISTRATION OF SUPER LONG GRAVITATIONAL WAVES AND MEASUREMENTS OF GRAVITATIONAL CONSTANT.....</b>	<b>241</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>252</b>
<b>REFERENCES.....</b>	<b>267</b>
<b>MAIN GEOLOGICAL -GEOPHYSICAL AND ASTRONOMICAL DATA ABOUT THE EARTH.....</b>	<b>292</b>
<b>THE MAIN USED TERMS.....</b>	<b>301</b>
<b>SOME ASTRONOMICAL VALUES.....</b>	<b>314</b>
<b>MAIN PHYSICAL CONSTANTS.....</b>	<b>315</b>
<b>BRIEF BIOGRAPHICAL INFORMATION ABOUT THE AUTHOR.....</b>	<b>323</b>

**УСЛОВНЫЕ И СОКРАЩЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ  
ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В КНИГЕ**

**G** - гравитационная постоянная;

**СГВ** - сверхдлинные гравитационные волны;

**МПВ** - метрика пространства-времени;

**AG** - астрогравитационные волны (*Astro Gravitational Waves*);

**GG** - геогравитационные волны (*Geo Gravitational Waves*);

**MG** - микрогравитационные волны (*Micro Gravitational Waves*);

**IG** - инфрагравитационные волны (*Infra Gravitational Waves*);

**GW** - гравитационные волны (*Gravitational Waves*);

**UG** - ультрагравитационные волны (*Ultra Gravitational Waves*);

**HG** - гипергравитационные волны (*Hyper Gravitational Waves*);

**С** - магматические вулканы поясов сжатия Земли;

**P** - магматические вулканы рифтовых зон;

**Гр** - грязевые вулканы;

**ОР** - океанские рифтовые вулканы;

**ММЭ** - метод максимальной энтропии;

**МСС** - метод скользящей средней;

**ОТО** - общая теория относительности;

**СТО** – специальная теория относительности;

## ОТ АВТОРА

*Эту книгу я, с чувством глубокой признательности, посвящаю 90 - летию со дня рождения моего любимого и дорогого учителя и наставника, выдающегося ученого современности, прекрасного и доброго человека В.Е.Хаина.*

### **ВЫДАЮЩИЙСЯ БАКИНЕЦ – В.Е.ХАИН** *(Краткая биографическая справка)*

Академика РАН Виктора Ефимовича Хаина - выдающегося ученого - бакинца любят и почитают на его родине – в Азербайджане. Большое число его учеников и последователей, к числу которых относится и автор настоящей монографии, испытывают чувство глубокой благодарности и теплоты к этому удивительному человеку - добрейшей души, искреннему и честному, невероятно трудолюбивому и отзывчивому, по-отечески заботливому и внимательному к своим ученикам, прекрасному педагогу и наставнику.

В данном разделе мы не ставим целью охватить, даже вкратце, обширную научную, педагогическую и научно-организационную деятельность выдающегося геолога современности – Виктора Ефимовича Хаина, так как для этого не хватило бы и всего объема данной монографии. Это лишь краткая биографическая справка с некоторыми личными воспоминаниями автора.

Виктор Ефимович родился в столице Азербайджана - городе Баку 26 февраля 1914 года. Окончил геолого-разведочное отделение горного факультета Азербайджанского индустриального института (ныне Нефтяная Академия). Работал в АЗНЕФТЕРАЗВЕДКЕ до 1938 года. В 1938 году перешел в Азербайджанский нефтяной научно-исследовательский институт, где проработал до 1941 года. В 1940 году в ЦНИГРИ (в Ленинграде) защитил кандидатскую диссертацию. С 1941 по 1945 год был призван в ряды Красной Армии и прослужил в полку Бакинской армии ПВО до 1945 года.

С 1945 года перешел работать в институт геологии АН Азербайджана, где вскоре был назначен зав. отделом региональной геологии и одновременно преподавал курс геотектоники в

Азербайджанском индустриальном институте. Под его руководством была издана монография «Геология Азербайджана», геологическая и тектоническая карты Азербайджана. В 1947 году защитил в институте геологии АН Азербайджана докторскую диссертацию по геологическому строению и нефтегазоносности Юго-Восточного Кавказа. В 1949 году получил звание профессора на кафедре геологии нефти и газа и проработал там до 1954 года, опубликовав фундаментальную монографию «Геотектонические основы поисков нефти». В 1954 г. переехал в Москву. Самоотверженный труд ученого-геолога был высоко оценен и в 1966 году В.Е.Хаин избирается член-корреспондентом АН СССР, а в 1987 г. академиком АН СССР по геотектонике и геофизике. В этом же году он удостоен Государственной Премии СССР.

В 1992 г. АН СССР награждает его золотой медалью им. А.П.Карпинского.

В 1993 году за цикл работ «Глобальная тектоника Земли» В.Е.Хаин удостоен первой премии им. М.В. Ломоносова.

В.Е.Хаин является членом редколлегий наиболее авторитетных российских и международных журналов – «Геотектоника», «Природа», «Вестник МГУ. Геология», «Известия Вузов. Геология и разведка» и др. Он также является главным редактором журнала «Геология».

В 1995 году за ряд фундаментальных научных работ В.Е.Хаин награждается Государственной Премией Российской Федерации.

Академик АН СССР, Академик РАН, Лауреат Государственных Премий СССР и Российской Федерации, автор более 1000 научных трудов, в том числе около 50-ти фундаментальных монографий.

В.Е.Хаин почетный доктор Парижского Университета им. Пьера и Марии Кюри, почетный член Европейской Академии Наук, действительный член Международной Академии Наук (Лайнуса Полинга), член Нью-Йоркской Академии, почетный член Французского, Лондонского, Болгарского и Американского геологических обществ, член Американского геофизического союза и Американской ассоциации геологов-нефтяников, член-корреспондент Международного Комитета по истории геологических наук.



**АКАДЕМИК РАН (АКАДЕМИК АКАДЕМИИ НАУК СССР),  
ЛАУРЕАТ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПРЕМИЙ СССР И  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ДОКТОР ГЕОЛОГО –  
МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ НАУК, ЗАСЛУЖЕННЫЙ  
ПРОФЕССОР МГУ  
ВИКТОР ЕФИМОВИЧ ХАИН**



Академик Хаин В.Е. награжден золотой медалью им. А.П.Карпинского, золотой медалью им. П.Фурмарье Королевской Бельгийской Академии Наук, медалью Штейнманна Германского геологического общества, медалью Прествича Французского геологического общества.

Всемирно известный ученый в области геотектоники и геодинамики, участник и организатор более 500 научных международных и национальных конгрессов, конференций и совещаний, побывал более чем в 50-ти странах мира.

В.Е.Хаин выдающийся бакинец, на протяжении всей жизни продолжает тесное сотрудничество с азербайджанскими учеными, всячески помогает им в научном и организационном плане, совместно с ними публикуется в центральных российских и международных изданиях, представляет их интересы в России и других странах мира. Человек широчайшей души, беззаветно любящий свою родину - Азербайджан и Баку, великий гуманист, любитель юмора и азербайджанской кухни.

## ВОСПОМИНАНИЯ АВТОРА

Мое знакомство с Виктором Ефимовичем состоялось в 1982 году благодаря моему научному руководителю и наставнику, выдающемуся ученому – геологу, д.г-м.н., проф., академику АН Азербайджана Шафаяту Фархад оглы Мехтиеву - автору теории глубинно-биогенного генезиса нефти и многих уникальных научных исследований и открытий.

В то время, будучи молодым специалистом, недавно окончившим институт, я представлял геофизику и геологию весьма романтично и еще со студенческой скамьи, активно участвовал в студенческом научном обществе, а к окончанию института имел пять опубликованных научных трудов.

Я был буквально очарован новой, еще не принятой в геологических кругах СССР, теорией тектоники литосферных плит, основанной на красивой и стройной концепции «дрейфа континентов», выдвинутой в 1912 г. Альфредом Вегенером.

Однако, выступив несколько раз на научных конференциях молодых ученых с докладами, основанными на этой теории, проводимых республиканской Академией Наук, я столкнулся с агрессивным непониманием со стороны большинства маститых ученых. Критика была весьма бурной и если бы не спокойная и решительная поддержка моего научного руководителя, академика Ш.Ф.Мехтиева, весьма авторитетного и влиятельного ученого в научных и общественных кругах, мне пришлось бы изменить направление моих исследований.

Передо мной встала дилемма – утвердить тему кандидатской диссертации по интересующей меня проблеме, основанной на американской теории тектоники литосферных плит, тем самым, подвергнув себя серьезным нападкам и критике или заняться не интересной для меня, но не рискованной темой. Академик Шафаят Мехтиев сказал: «Эльчин, если ты действительно хочешь серьезно заняться наукой, ты не должен бояться критики и нападков. Выбери тему, работа над которой полностью поглощает тебя и доставляет удовольствие. Но для полной уверенности в выбранном направлении, я хочу познакомить тебя с моим близким другом, пионером тектоники плит в СССР, Виктором Ефимовичем Хаиным».

Мой отец, известный ученый, заслуженный геолог республики, д.г-м.н., проф. Нусрат Халилов, также прошедший, в свое время, школу академика Ш.Мехтиева, полностью поддержал совет агсакала, являясь по натуре человеком смелых научных взглядов.

И вот, наконец, мы в Москве и стучимся в заветную дверь выдающегося ученого, близкого друга моего научного руководителя и недостижимого для меня научного авторитета с мировым именем. Дверь открывает очень милая пожилая женщина – супруга Виктора Ефимовича - Валентина Ильинична, и, увидев Шафаята Мехтиева расплывается в радостной улыбке, тепло обнимая его. Подходит и Виктор Ефимович, обнимает и целует Ш.Мехтиева, крепко жмет мне руку, говоря: «А это, я так понимаю, наш молодой друг – смельчак. Одобряю Ваш выбор».

Я смутился окончательно. Виктор Ефимович приглашает нас к себе в кабинет, пока Валентина Ильинична хлопочет на кухне. Кабинет находится в спальне, кругом книги, карты, атласы, с пола до потолка, на столе. С потолка на лесках свешиваются весьма замысловатые, покрытые лаком, морские животные, ракушки, кораллы. Поймав мой несколько растерянный и удивленный взгляд, Виктор Ефимович поясняет: «Это я привез с различных международных конгрессов, но вот, к сожалению, для всего этого уже не хватает места. Но ничего, как говорится, в тесноте, но не в обиде. Покажите мне свой план диссертации и, что там у Вас получилось с зоной Беньофа? Он внимательно читает план, рассматривает схемы и графики, потом, поворачиваясь к академику Ш.Мехтиеву, говорит: «Значить, хотите применить тектонику плит к глубинному строению Каспия с использованием данных геофизики. Это весьма интересно, хотя в Баку Вас могут не поддержать. Но, как я вижу, Вы уже получили кое-какие результаты. Установленная Вами зона Беньофа на Каспии весьма интересный результат, но очень сырой, надо подкрепить данными геофизики и геологии». Шафаят Фархадович сразу же спрашивает напрямую: «Ну, как ты думаешь, Виктор, все-таки, ты первый в союзе проводник тектоники плит – стоит ему свой первый шаг в науке совершать со столь рискованной темы?». Виктор Ефимович задумывается на минуту, затем внимательно посмотрел на меня и спрашивает: «Вы действительно настолько увлечены этой проблемой, что готовы драться за свои идеи?» Уже зная позитивную реакцию Виктора Ефимовича на план и тему диссертации, и полученные первые результаты, я, не задумываясь,

отвечаю: « да». - «Тогда дерзайте! ». Затем мы пили все вместе чай с прекрасным ароматным вареньем из малины, лично приготовленным Валентиной Ильиничной. Валентина Ильинична отнеслась ко мне с первого же момента с большой теплотой и искренней заботой. Я, затаив дыхание, с трепетом впитывал как губка каждое слово двух близких друзей, выдающихся ученых, интеллектуальных титанов. Эти чувства к моему, ныне покойному, научному руководителю и наставнику, академику Ш.Мехтиеву и ныне здравствующему, научному руководителю и наставнику академику В.Хаину, я испытываю, по сей день. Но к этому прибавилась нежность, забота и бережливое отношение к агсакалу В.Хаину, который тепло называет меня своим молодым другом.

В последующие годы Виктор Ефимович познакомил меня со своими друзьями и коллегами - выдающимися учеными – академиком М.А.Садовским, член-корреспондентами АН СССР П.Н.Кропоткиным, В.В.Тихомировым, Е.Е.Милановским, проф. О.Г.Сорохтиным и другими светилами науки.

Через несколько лет диссертация была готова. Академик Ш.Мехтиев оценил ее очень высоко, и сказал, что она тянет на докторскую. Я загорелся идеей защитить сразу докторскую диссертацию и стал упрашивать своего руководителя согласиться на это. Академик Ш.Мехтиев, будучи по натуре чрезвычайно деликатным и тактичным человеком, не стал меня разубеждать, а предложил опять отправиться вместе к В.Е.Хаину за советом. Он обосновывал это тем, что если сразу же идти на докторскую диссертацию, то надо будет защищаться в Москве.

Следовательно, только Виктор Ефимович может оценить степень риска этой идеи. И вот мы опять в гостях у гостепреимных В.Е.Хаина и Валентины Ильиничны. Виктор Ефимович пролистал мою рукопись и, посмотрев на меня внимательно, сказал: « Эльчин, я посоветовал Вам смело отстаивать свои идеи, но Вы явно перевыполнили план. Скажу сразу – Ваша идея очень рискована, защита сразу докторской давно уже не практикуется даже в Москве и делается это очень редко. Но, в любом случае, Вы должны будете мне оставить свою рукопись, хотя бы на недельку, для ознакомления. Кроме того, если Вы не возражаете, я покажу ее и своему приятелю, директору института Физики Земли академику М.А.Садовскому, он - геофизик. А в Вашей работе, наряду с геодинамикой, очень много геофизики». Я с радостью согласился.



**В.Е.Хаин и Э.Н.Халилов во время Международного совещания-семинара по новейшей геотектонике, проходящего в г. Баку в сентябре 1997 года.**



**В гостях у В.Е.Хаина  
Слева направо: Валентина Ильинична – супруга В.Е.Хаина,  
Тамила – супруга автора, В.Е.Хаин, Анар – старший сын  
автора, Фарид – младший сын автора, Э.Н.Халилов – автор  
настоящей монографии (2000 г.)**

Академик Ш.Мехтиев, через несколько дней, вернулся в Баку, оставив меня в Москве. И вот, через две недели я вновь дома у академика Хаина, его супруга Валентина Ильинична, накрыла прекрасный стол, все время, заботясь, чтобы моя тарелка не пустовала, в то время как я, с трепетом ждал мнения Виктора Ефимовича по поводу моей работы.

Наконец, Виктор Ефимович перешел к интересующей меня теме: «Эльчин, я внимательно ознакомился с Вашей рукописью и показал ее Садовскому. Наше мнение таково, что эта работа очень сильная и при определенной доработке, могла бы потянуть на докторскую диссертацию. Но мы оба не советуем этого делать. Зачем испытывать судьбу. Поймите, Вы слишком молоды, например, в ГИНе или МГУ, есть много ученых, которым перевалило за пятьдесят, и они также хотят защитить докторские. Ваш выход на арену, может разозлить многих, зачем испытывать судьбу. Как говорится, тише едешь - дальше будешь. Мой Вам совет – изымите из рукописи три главы, а оставшиеся главы защитите в качестве кандидатской диссертации. Через несколько лет, уже, будучи кандидатом наук, Вы сможете, не рискуя так сильно, представить к защите докторскую диссертацию». Жизнь показала, насколько мудрыми были советы моих наставников.

Защитив кандидатскую в 25 лет, через четыре года я представил к защите докторскую диссертацию, которую успешно защитил в МГУ им. М.В.Ломоносова.

За эти годы у нас с Виктором Ефимовичем Хаиным было много совместных научных работ, докладов, было сделано совместное открытие в области изучения цикличности вулканической активности.

*Приведенные в настоящей монографии результаты исследований получены в рамках выполнения совместной программы работ Научно-исследовательского института по прогнозу и изучению землетрясений и Научного Центра фундаментальных и прикладных исследований Международной Академии Наук/Международного Совета по Научному Развитию.*



**Здание резиденции Восточно-Европейской и Азербайджанской Секций Международной Академии Наук/МСНР (Баку, 2004 г.)**

## **ВВОДНОЕ СЛОВО АКАДЕМИКА РАН В.Е.ХАИНА**

Монография доктора геолого-минералогических наук, геофизика Эльчина Халилова пополняет число наиболее интересных фундаментальных работ, посвященных весьма актуальной проблеме гравитационных волн и возможности их влияния на геодинамические процессы.

В книге детально освещен широкий спектр вопросов, связанных с проблемами цикличности в космогеологических процессах. Представлен обзор концепций, основанных на различной трактовке факта вариаций гравитационной постоянной. Освещена проблема современных представлений о природе гравитационных волн и рассмотрены проекты, выполняемые в различных странах с целью их регистрации.

Гравитационные волны, существование которых было предсказано впервые в 1916 году Альбертом Эйнштейном, до настоящего времени инструментально не обнаружены и возможность их регистрации является предметом многочисленных дискуссий в кругах специалистов различных научных дисциплин: физиков, астрофизиков, геофизиков. Между тем, первенство в общем объеме исследований гравитационных волн, несомненно принадлежит астрофизикам и физикам. Геофизика и геология, на протяжении многих лет, оставались в стороне от попыток регистрации гравитационных волн и оценки возможности их влияния на геодинамические процессы, в частности, на сейсмичность Земли. В связи с вышеизложенным, можно смело утверждать, что данная монография - это один из первых фундаментальных научных трудов, рассматривающих проблему гравитационных волн с точки зрения наук о Земле.

Несомненно, что сама постановка задачи – выяснение возможности влияния гравитационных волн на геодинамические процессы, является весьма интересной и актуальной.

Э.Н.Халилов, будучи специалистом, в области изучения современных геодинамических процессов, в частности, сейсмичности и вулканизма, предложил принципиально новый подход к рассмотрению данной проблемы. Проанализировав данные по вариациям гравитационной постоянной  $G$ , за последние 16 лет, приведенные российскими учеными О.В.Карагиозом и В.П.Измайловым на сайте Мирового центра данных по физике твердой Земли, он пришел к выводу, что изменения  $G$ , носят не случайный, а строго периодический характер, причем полученные



отклонения значений  $G$  существенно превышают погрешность измерительных приборов. Используя математический аппарат, автор установил, что наблюдаемые вариации гравитационной постоянной являются результатом наложения нескольких гармоник разных периодов, отражающих, по мнению автора книги, гравитационные волны различной длины.

Ссылаясь на предположения Д.Д.Иваненко и Б.Н.Фролова о квадрупольном влиянии гравитационных волн на деформацию Земли, автор настоящего труда использовал удачную аналогию Земли с детектором низкочастотных гравитационных волн. Для доказательства своей концепции, Э.Н.Халиловым привлечены наблюдения Ю.Д.Буланже, нерегулярных глобальных изменений силы тяжести, также указывающие на квадрупольный характер напряжений в Земле.

Уверенность в правомерности своих взглядов автору придают и результаты самых точных, на сегодня, измерений гравитационной постоянной, проведенных группами ученых в Вашингтонском университете в Сиэтле и Международном бюро мер и весов под Парижем, причем в обоих случаях точность измерений составляла  $1/10000$ . Однако, разница полученных отклонений в измеренных значениях превышает возможные погрешности в 10 раз.

Соглашаясь частично с предположением французских исследователей, что на результаты измерений  $G$  влияет географическое положение измерительных лабораторий, тем не менее, Э.Н.Халилов не соглашается с объяснением механизма влияния на результаты измерений гравитационной постоянной магнитного поля Земли.

На основании сравнительного анализа графиков вариаций  $G$  и сейсмической активности Земли, автором монографии сделан вывод о наличии высокой корреляции между этими двумя процессами. Весьма интересным и актуальным является раздел книги, посвященный особенностям математической обработки данных. Наряду с рассмотрением хорошо известных методов математической статистики по линейному преобразованию и спектральному анализу временных рядов, приведены нетривиальные идеи автора, в которых предлагается при исследованиях временных рядов четко различать циклические и волновые процессы. По мнению Э.Н.Халилова, вариации  $G$  необходимо рассматривать исключительно в качестве волнового процесса, а не циклического. Это мнение логично обосновывается

тем, что отклонения от среднего значения  $G$ , как в одну, так и в другую сторону, несут равную по величине, но противоположную по знаку энергию, вызывая квадрупольную деформацию Земли и, как следствие, повышение сейсмической активности, как при положительных, так и при отрицательных отклонениях  $G$  от среднего значения. Весьма убедительно выглядит и анализ сравнения вариаций  $G$  с изменением длительности суток, что вполне логично, если допустить прохождение гравитационной волны через Землю, вызывающее ее деформацию и, соответственно, изменение момента инерции, отражающегося в вариациях ее угловой скорости вращения.

Автор монографии весьма эффектно и убедительно использует для подтверждения своих идей самые последние результаты исследований ведущих научных центров мира, в частности, данные полученные Кристофером Кохом из исследовательской компании Raytheon и Бениамином Чао из центра НАСА в Мэриленде, которые обнаружили с помощью искусственных спутников Земли и лазерных измерений, квадрупольное изменение формы и размеров Земли – уменьшение ее радиуса в полюсах и увеличение радиуса по экватору. Именно такая реакция формы и размеров Земли возможна при прохождении через нее гравитационной волны. Однако, наиболее важным и значимым выводом данного труда, на наш взгляд, является признание незыблемости гравитационной постоянной  $G$ , неизменность которой подвергалась постоянным сомнениям на протяжении последних более семи десятилетий, с момента выдвижения П.Дираком гипотезы, допускающей изменения  $G$  во времени.

Выдвинутая Э.Н.Халиловым концепция объясняет наблюдаемые различными исследователями существенные вариации  $G$ , которые на порядок превышают погрешность приборов, как результат влияния на показания измерительных систем проходящих через Землю сверхдлинных гравитационных волн, вызывающих усиление или ослабление силы притяжения между грузиками в весах Кавендиша. Пока что, это единственное убедительное объяснение существенных отклонений в измеренных значениях гравитационной постоянной, сверхточными измерительными приборами, установленными в различных точках земного шара. Результаты данных исследований, по всей видимости, способны избавить от взаимных упреков и примирить исследователей из различных стран, получающих существенно отличающиеся друг от друга значения  $G$ .

Монография доктора геолого-минералогических наук Эльчина Халилова «Гравитационные волны и геодинамика» прекрасно иллюстрирована и, несмотря на дискуссионность рассмотренных в ней проблем, безусловно, заслуживает пристального внимания и представляет интерес для широкого круга ученых, занимающихся проблемами современного естествознания.

**Академик РАН В.Е.ХАИН**

## **INTRODUCTION WORD OF ACADEMICIAN OF RAS V.Y. KHAIN**

Monograph of doctor of geological mineralogical sciences, geophysicist Elchin Khalilov supplements number of the most interesting fundamental works, dedicated to very actual problem of gravitational waves and possibility of their influence on geodynamical processes.

Wide spectrum of issues, connected with problems of cyclic recurrence in cosmic-geological processes is depicted in detail in the book. Review of conceptions, based on different interpretation of fact of variations of gravitational constant is represented. Problem of modern presentations about nature of gravitational waves is enlightened, and projects, realized in different countries with aim of their registration, are considered.

Gravitational waves, existence of which was, for the first time, predicted by A. Einstein in 1916, are not discovered instrumentally hitherto, and possibility of its registration is the subject of many discussions in the circles of specialists of different scientific disciplines- physicists, astrophysicists, geophysicists. Meantime, first place in total volume of researches of gravitational waves, undoubtedly, belongs to astrophysicists and physicists. For many years geophysics and geology were left aside from attempts of registration of gravitational waves and assessment of possibility of their influence on geodynamical processes, particularly, on seismicity of the Earth. In connection with above mentioned, one may boldly confirm, that this monograph is one of the first fundamental scientific works, considering problem of gravitational waves from the viewpoint of the sciences about the Earth.

Undoubtedly, statement of the issue itself – is clarification of possibility of influence of gravitational waves on geodynamical processes is very interesting and actual one.

E.N. Khalilov, being the specialist in the area of study of modern geodynamic processes, particularly, of seismicity and volcanism, proposed, basically, new approach for consideration of this problem. Having analyzed the data on variations of gravitational constant  $G$  for the last 16 years, which were cited by Russian scientists O.V. Karagioz and V.P. Izmaylov on the site of World center of data on physics of the solid Earth, he came to conclusion that  $G$  variations have not accidental, but strictly periodical character, and at that, the obtained deviations of  $G$  values significantly exceed error of measurement devices. Applying mathematical device, the author established, that the observed variations of gravitational constant are the result of imposition of several harmonics of different periods, reflecting in

the opinion of the author of the book, gravitational waves of different length.

Referring to estimates of D.D. Ivanenko and B.N.Frolov about quadruple influence of gravitational waves on the formation of the Earth, the author of this work applied successful analogy of the Earth with detector of low frequency gravitational waves. To prove his conception, E.N. Khalilov used Y.D.Bulange's observations of non-regular global variations of gravity, also indicating on quadruple character of stresses in the Earth.

Results of the most precious, for the present time, measurements of gravitational constant, conducted by team of scientists in Washington University, in Seattle, and International bureau of measures and balance near Paris, give to the author confidence in correctness of his opinions, at that, precision of measurements in both cases was 1/10000. However, difference of obtained deviations in measured values exceeds possible errors by 10 times.

Agreeing partially with supposition of French researchers that geographical position of measurement laboratories influences on results of G measurements, nevertheless, E.N.Khalilov does not agree with explanation of mechanism of influence on results of measurements of gravitational constant of magnetic field of the Earth.

On the basis of comparative analysis of charts of G variations and seismic activity of the Earth, the author of the monograph concluded about availability of high correlation between these two processes. Chapter of the book, dedicated to peculiarities of mathematical processing of data, is very interesting and actual. Along with consideration of well known methods of mathematical statistics on linear transformation and spectral analysis of temporary series, non-trivial ideas of the author are given, where during research of temporary series, it is proposed to distinguish distinctly cyclic and wave processes. In the opinion of E.N. Khalilov, G variations are to be, exclusively, considered as wave process, and not as cyclic one. This opinion is logically justified by the point that deviations from average value of G as to one side, so to another side, carry equal by size, but opposite by sign energy, causing quadruple deformation of the Earth and, as sequence, increase of seismic activity, as during positive, so during negative deviations of G from average value.

Analysis of comparison of G variations with change of day duration is very clear. It is very logical, if one admits passage of gravitational wave via the Earth, causing its deformation and, correspondingly, its change of moment of inertia, reflecting in variations of angular velocity of its rotation.

The author of the monograph applies very effectively and clearly, for confirmation of his ideas the latest results of researches of the leading

scientific centers of the world, particularly, data obtained by Christopher Koch from research company Raytheon and Benjamin Chao from center NASA in Maryland, who by means of artificial satellites of the Earth and laser measurements discovered quadruple change of its shape and size of the Earth - decrease of its radius in poles and increase of radius by equator. Namely such reaction of the shape and the size of the Earth is possible during passage of gravitational wave via it. However, in our opinion, the most important and valuable conclusion of this work is acknowledgement of stability of gravitational constant  $G$ , invariability of which subjected to permanent doubts for more than last 70 years, starting from the point of forwarding by Dirak of hypothesis, admitting  $G$  variations in time.

Forwarded by E. N.Khalilov conception explains the observed by different researchers the significant  $G$  variations, which exceed the error of devices by order, as a result of influence on indications of measurement systems, of passing gravitational waves via the Earth, which cause increase or decrease of power of attraction between loads in Cavendish balance. Meantime, this is the only persuasive explanation of essential declinations in measured values of gravitational constant by super precious measurement devices, installed in different points of the globe. Results of these researches, evidently, are capable to spare from mutual reproaches and reconcile the researchers from different countries, who receive significantly different  $G$  values, distinguishing from each other.

Monograph of the doctor of geological-mineralogical sciences of Elchin Khalilov "Gravitational waves and geodynamics" is perfectly illustrated and despite on discussions of considered problems in it, surely, it deserves careful attention and represents interest for wide circle of scientists, dealing with problems of modern natural science.

**Academician of Russian Academy  
of Sciences V. Y. Khain**

## **ВВЕДЕНИЕ**

Поиск гравитационных волн – одна из наиболее интереснейших и актуальных проблем современности, ибо с момента предсказания А.Эйнштейном их существования в своих работах по теории относительности, опубликованных в 1916-1918 годах, человечество безуспешно пытается их обнаружить самыми современными способами и детекторами. Исторически сложилось так, что львиная доля исследований в этой области, осуществляется астрофизиками и физиками, занимающимися фундаментальными проблемами. Между тем, эта проблема осталась, практически, вне поля зрения такой основополагающей науки, как геофизика. На наш взгляд, этот факт не столько отражает объективную невозможность обнаружения в геофизике гравитационных волн, сколько имеет психологические корни, уходящие в традиционные представления, связывающие гравитационные волны, исключительно, с процессами астрономических масштабов.

Между тем, на наш взгляд, геофизика незаслужено отстранена от данной проблемы, несмотря на то, что и в недрах Земли происходят геодинамические процессы, на которые могут влиять гравитационные волны или которые сами могут вызывать их излучение. К таким процессам, прежде всего, относятся землетрясения и извержения вулканов.

Одна из основных идей, заложенная в данной работе заключается в том, что сверхдлинные гравитационные волны, проходящие через Землю, должны оказывать влияние на периодические квадрупольные изменения ее формы и величины механических напряжений в Земле, отражающихся на проявлениях геодинамических процессов. Такая мысль высказывалась и ранее другими исследователями. Между тем, в работе сделан следующий шаг в ее развитии. Таким образом, Земля играет роль универсального детектора гравитационных волн, влияющих на особенности ее сейсмичности, вулканизма и других геодинамических процессов.

Учитывая квадрупольный характер воздействия гравитационных волн на пространство, через которое они проходят, сделана попытка объяснения наблюдаемых, различными исследователями, вариаций измеренных значений гравитационной постоянной  $G$ , влиянием гравитационных волн, проходящих через Землю, на показания весов Кавендиша. Тем самым, с одной

стороны, появляется логичное объяснение увеличивающегося, с повышением точности измерений, разброса измеренных значений  $G$ , а с другой - показано, что в земных условиях, практически невозможно измерить истинное значение  $G$ . Это связано с постоянным влиянием гравитационных волн на взаимодействие грузов в крутильных весах Кавендиша, используемых для измерений  $G$ . Между тем, истинное (абсолютное) значение  $G$ , определяющее взаимодействие масс во Вселенной, остается неизменным.

Автор ожидает, что некоторые идеи в работе вызовут бурные дискуссии или даже возражения, со стороны отдельных ученых. Но этот факт не только не пугает, но и радует автора, так как только в спорах рождается истина, постижение которой и является основной целью любого научного изыскания.

Один из крупных разделов книги посвящен обширному обзору существующих типов гравитационно-волновых детекторов, физических и конструкционных принципов их работы. Впервые описана конструкция, изобретенного автором, принципиально нового типа торсионного детектора сверхдлинных гравитационных волн - АТРОПАТЕНА-1, а также проанализированы возможные логические ошибки, допущенные при проектировании ряда ныне действующих детекторов.

Описаны результаты исследований глобальной цикличности в извержениях вулканов поясов сжатия и растяжения Земли, признанных первым научным открытием в Азербайджане. Авторами данного научного открытия, на которое выдан диплом № 239 от 15 октября 2003 г., являются академики Ш.Ф.Мехтиев, В.Е.Хаин, Т.А.Исмаил-Заде и автор настоящей монографии.

Результаты экспериментальных и теоретических исследований автора, описанные в книге, привели его к мысли о проявлении доплеровских эффектов при прохождении сверхдлинных гравитационных волн через космические объекты.

Наряду с гравитационно-волновой астрофизикой, нами вводится понятие новой научной дисциплины - ***гравитационно-волновой геофизики***.

Настоящую работу можно рассматривать в качестве своеобразного моста, проложенного между астрофизикой, геофизикой и фундаментальной физикой в вопросах гравитационно-волновых исследований.

В книге сделана попытка классифицировать гравитационные волны, имеющие различную, по масштабам и характеру



происхождения, природу излучения, на три основных класса: **астрогравитационные волны (Astro Gravitational Waves «AG»)**, связанные с процессами астрофизических масштабов, **геогравитационные волны (Geo Gravitational Waves «GG»)**, излучаемые в пределах Земли при крупномасштабных импульсных геодинамических событиях - землетрясениях, извержениях вулканов, а также искусственных - мощных взрывах в земной коре, водных акваториях, атмосфере и **микрोगравитационные волны (Micro Gravitational Waves «MG»)**, образующиеся при взаимодействиях элементарных частиц.

В то же время, в зависимости от длины волны, автор предлагает классифицировать гравитационные волны на: **сверхдлинные гравитационные волны (Super Long Gravitational Waves «SLG»)**, **инфразгравитационные волны (Infra Gravitational Waves «IG»)**, **гравитационные волны (Gravitational Waves «G»)**, **ультразгравитационные волны (Ultra Gravitational Waves «UG»)** и **гипергравитационные волны (Hyper Gravitational Waves «HG»)**.

В настоящей работе сделана попытка подойти к данной проблеме с точки зрения геофизики, в силу чего данный труд находится на стыке проблем геофизики, астрофизики и фундаментальной физики. Это создает дополнительные трудности в изложении результатов исследований, что связано не только с различием терминологических особенностей, но и характером рассматриваемых проблем. Именно этот аспект обусловил необходимость более детального охвата физической сути и общих основ некоторых рассматриваемых междисциплинарных проблем, отдельных терминов, эффектов и физических законов.

*Автор выражает глубокую признательность: редактору настоящей книги, академику РАН, проф. В.Е.Хаину; рецензентам – академику НАН Азербайджана, проф. Т.А.Алиеву; академиком РАЕН, профессорам Л.Н.Солодилову и Т.А.Исмаил-Заде; профессору Северину Дуда (Германия), член-корреспонденту НАН Азербайджана, проф. Э.С.Гулиеву за затраченный труд при редактировании и рецензировании настоящего научного труда.*

## INTRODUCTION

The search for gravitational waves is one of the most interesting and urgent problems of present time, as since prediction of its existence by A. Einstein in his works on relativity theory, published in 1916-1918, humanity unsuccessfully attempts to discover them by means of the latest methods and detectors. It was historically formed that the lion's share of researches in this area is accomplished by astrophysicists and physicists, dealing with fundamental problems. Meantime, this problem remained, practically, beyond the viewpoint of such basic science, as geophysics. In our opinion, this fact reflects not so much fair impossibility to detect gravitational waves in geophysics, as it has psychological roots, going to traditional presentations, connecting gravitational waves, exclusively, with processes of astronomical scales.

So far, in our opinion, geophysics is undeservedly left aside from this problem, despite of the point, that in entrails of the Earth, geodynamic processes take place, on which gravitational waves could influence, or geodynamic processes themselves may cause its radiation. Earthquakes and volcano eruptions refer to such processes.

One of main ideas of this work is- super long gravitational waves, passing via the Earth must influence on periodical quadruple changes of its shape and size of mechanical stresses in the Earth, reflecting on developments of geodynamic processes. Previously, other researchers also stated about such idea. However, the next step is made in development of this work. Thus, the Earth plays the role of universal detector of gravitational waves, influencing on peculiarities of its seismicity, volcanism and other geodynamic processes.

Taking into account quadruple character of influence of gravitational waves on space, via which they pass, an attempt to explain, observed by different researchers, variations of measured values of gravitational constant  $G$  is made, by means of influence of gravitational waves, passing via the Earth on indications of Cavendish balance. Thus, from one side, by increasing of accuracy of measurements, logical explanation of increasing of scattering of measured  $G$  values appears, and, from another side, terrestrial conditions show that it is practically impossible to measure true  $G$  value. This is connected with permanent influence of gravitational waves on interaction of Cavendish torsion balance, applied for  $G$  measurement.

Meantime, true (absolute)  $G$  value, defining interconnection of masses in the Universe remains unchangable.

The author expects that some ideas in the work will cause hot discussions and even objections on behalf of some scientists. But this fact does not frightens the author, but pleases him, as only in disputes truth is born, achievement of which, is objective of every scientific research.

One of the big chapters of the book is dedicated to wide review of existing types of gravitational-wave detectors, physical and construction principles of its work. Construction, invented by the author, is described for the first time, it is basically new type of torsion detector of super long gravitational waves-ATROPATENA-1, and possible logical errors, admitted during designing of some presently acting detectors, are also analyzed.

Results of researches of global cyclic recurrence at volcano eruptions of compression and stretching belts of the Earth are described, which are acknowledged, as the first scientific discovery I Azerbaijan. The authors of this scientific discovery, for which diploma No. 239 dated 15 October 2003 was issued, are- Academician Sh.F.Mehdiyev, V.Y.Khain, T.A.Ismail-Zade and the author of this monograph.

Results of experimental and theoretical researches of the author, described in the book, led him to the idea about formation of Doppler effects during passage of super long gravitational waves via cosmic objects.

Along with gravitational-wave astrophysics, we introduce conception of new scientific discipline- ***gravitational wave geophysics***.

This work may be considered as an original bridge, paved between astrophysics, geophysics and fundamental physics in the issues of gravitational-wave researches

In the book, an attempt was made to classify gravitational waves, possessing different, by scales and character of origin, nature of radiation, into three main classes: ***Astro Gravitational waves "AG"***, connected with processes of astrophysical scales, ***Geo Gravitational waves "GG"***, radiated within the Earth during the large-scale impulse geodynamical events- earthquakes, volcano eruptions, and also during artificial ones- strong explosions in the Earth crust, areas of water and atmosphere and ***Micro Gravitational waves "MG"***, forming during interactions of elementary particles.

At the same time, depending on wavelength, the author proposes to classify gravitational waves into: ***Super Long Gravitational Waves "SLG"***, ***Infra Gravitational Waves "IG"***, ***Gravitational Waves "G"***, ***Ultra Gravitational Waves "UG"*** and ***Hyper Gravitational Waves "HG"***.

In this book an attempt is made to approach to this problem from the viewpoint of geophysics, as this work is at the joint of problems of geophysics, astrophysics and fundamental physics. This creates additional difficulties in statement of results of researches, which is connected not only

with difference of terminological peculiarities, but with nature of considered problems. Namely, this aspect conditioned the necessity of more detailed cover of physical essence and general bases of some considered interdisciplinary problems, certain terms, effects and physical laws.

*The author expresses deep acknowledgement to: editor of this book, academician of RAS, professor V.Y.Khain; reviewers- academicians of NAS of Azerbaijan, professor T.A.Aliyev; academicians of RANS, professors L.N.Solodilov and TA Ismail-Zade; prof. Seweryn Duda, Corresponding Member of NAS of Azerbaijan, professor E.S.Guliyev for contribution during editing and reviewing of this scientific work.*

## **ГЛАВА 1. ГРАВИТАЦИЯ И КОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ**

### **1.1. ЦИКЛИЧНОСТЬ ГЛОБАЛЬНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Тектонические процессы на Земле в геологическом прошлом протекали крайне неравномерно. Происходила смена орогенических фаз или периодов усиления процессов складчатости и горообразования - периодами относительного покоя. Данную периодичность признают, как сторонники фиксизма: Штилле, 1964; Белоусов, 1948 и др., так и мобилизма: Бубнов, 1958; Дж. Джоли, 1929; В.Е.Хаин, 1977 и др.

Цикличность тектонических процессов является фактической основой всех вариантов пульсационной гипотезы.

Высокочувствительным индикатором повышения тектонической активности являются землетрясения и извержения вулканов. В начале 1950-х годов было замечено, что суммарная энергия упругой деформации, высвободившаяся за один год в форме сейсмических волн на всем земном шаре, варьирует в широких пределах – в 40-50 раз (Gutenberg, Richter, 1954). При этом периоды повышения сейсмической активности, сменяются периодами ее спада. Так, известный сейсмолог Х.Беньофф пришел к выводу, что сильные неглубокие землетрясения, происходящие в разных частях Земли, не являются независимыми событиями. Они связаны, по его мнению, с общепланетарной системой, то ослабляющихся, то усиливающихся упругих напряжений.

Б.Гутенберг на основе исследований суммарной энергии глубоких землетрясений, происходящих на глубине от 70 до 700 км, пришел к выводу, что сильные глубокие землетрясения относятся к единой системе напряжений, в которой деформации упругого крипа при сжатии накапливаются или высвобождаются.

В.Морган рассмотрел корреляцию между неравномерностью вращения Земли и числом землетрясений за год. Количество землетрясений возрастает в те годы, когда скорость вращения Земли увеличивается, а момент инерции и радиус уменьшаются.

Некоторые исследователи связывают возможные изменения радиуса Земли с вариациями гравитационной «постоянной». Идея о том, что гравитационная «постоянная» может быть переменной

скалярной характеристикой поля, впервые была высказана еще П.Дираком.

П.Кропоткин и Ю.Трапезников отмечают, что геологическим фактам: смене эпох сжатия, горообразования и складчатости – периодами тектонического покоя, более соответствует гипотеза о вековых вариациях значения гравитационной «константы».

А.Храмов, А.Билинский и другие приводят данные палеомагнетизма, которые указывают на колебания величины радиуса Земли в пределах 10 % на протяжении последних 500 млн. лет.

Произведенное А.А.Прониным (1969-1973) обобщение огромного литературного материала по хронологии тектонических движений на всех континентах в фанерозое и статистический анализ этих данных, выполненный Н.М.Сардониковым (1976), убедительно показали существование в фанерозойском этапе развития Земли 13 планетарных «циклов» тектонической активности средней продолжительностью около 40-45 млн. лет.

Исследования, проведенные Е.Е.Милановским, так же свидетельствуют в пользу наличия планетарной периодичности в развитии рифтового процесса и существования глобальных эпох и «циклов» рифтогенеза, примерно такой же продолжительности, что и эпохи и «циклы» складкообразовательных движений, т.е. деформаций сжатия в геосинклиналях.

В кайнозое и мезозое главными зонами деформации обоих типов были как геосинклинальные, так и рифтовые пояса и зоны, хотя, несомненно, что в целом, сжатие гораздо сильнее проявилось в геосинклинальных поясах, являвшихся, в основном, зонами глубокого погружения и «засасывания» материала коры. Растяжение реализовывалось преимущественно в областях рифтогенеза, где происходил подъем глубинного материала, который заполнял образующиеся «щели» в коре и препятствовал, в дальнейшем, сжатию этих зон. Что касается платформ, то они, по крайней мере, на отдельных своих участках, периодически подвергались деформациям растяжения и сжатия, но значительно меньшим по масштабу, в сравнении с тектонически активными зонами (Милановский, 1978).

Думаем, что большую ясность в решение этого вопроса могли бы внести исследования вулканической активности за исторически обозримый промежуток времени, с целью получения статистически достоверных результатов. Промежуток времени с 1850 г. по 2000 гг. наиболее полно охвачен в каталогах извержений вулканов мира, при этом вероятность утери информации носит случайный характер, что не оказывает существенного влияния на общий тренд при выявлении

скрытой периодичности в активизации магматических и грязевых вулканов мира.

Нами, совместно с академиками В.Е.Хаиным, Ш.Ф.Мехтиевым и Т.А.Исмаил-Заде, были проведены исследования активизации магматических и грязевых вулканов мира, причем такого рода исследования, в отдельности для каждого типа магматических вулканов, излагались впервые в работах /150,157,235/. Впоследствии, результаты этих исследований были признаны в качестве первого научного открытия в истории азербайджанской науки. Авторам данного открытия: Ш.Ф.Мехтиеву, В.Е.Хаину, Т.А. Исмаил-Заде и Э.Н.Халилову, были выданы дипломы на открытие № 239 от 15 октября 2003 г. с датой приоритета от 20 сентября 1983 г., по дате первой публикации /150/.

Для проведения исследований вулканической активности, все магматические вулканы были разделены на два основных типа: вулканы зон субдукции (типа *C*), отражающие процесс сжатия земной коры и вулканы рифтовых зон (тип *P*), отражающие процесс растяжения земной коры. В то же время, грязевые вулканы, приуроченные также к зонам субдукции, были выделены в самостоятельный тип – *Гр*.

Была выявлена устойчивая скрытая периодичность и составлены графики активизации вулканов типов *C* и *P*. Сравнение графиков показало, что циклы активизации вулканов типов *C* и *P* попадают в противофазу.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что периоды растяжения не совпадают во времени с периодами сжатия Земли - циклы растяжения, сменяются циклами сжатия. В первом случае повышается активность вулканов типа *P*, а во втором – вулканов типа *C* и грязевых вулканов, при этом расширение Земли происходит за счет процесса спрединга, в то время как сжатие – за счет процесса субдукции.

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют прийти к выводу о возможности периодического изменения радиуса Земли.

Безусловно, выявленные закономерности в активизации вулканов и землетрясений, свидетельствующие о пульсации Земли, должны сказываться и на изменении ее угловой скорости вращения. Нерегулярные флюктуации скорости вращения Земли, были замечены в конце прошлого столетия, при обработке наблюдений движений Луны и других тел Солнечной системы. В XX столетии их существование было доказано окончательно (Манк, Макдональд, 1964)

/147/. С 1955 г. они регистрируются принципиально новым методом, который обеспечивает очень высокую точность (Сидоренков 1975 г.) /204/.

Вектор мгновенной угловой скорости можно разложить на три компоненты: одну вдоль средней оси вращения и две другие – в экваториальной плоскости. Первая характеризует продолжительность суток, а ее изменения – неравномерность вращения Земли. Две другие определяют координаты мгновенного полюса.

Быстро Земля вращалась в 1870 г., а медленно – в 1903 г. с 1903 до 1935 г. происходило ускорение вращения Земли.

Одним из первых явлений, которым пытались объяснить нерегулярные изменения скорости вращения Земли, были колебания уровня Мирового океана и таяние полярных льдов (Манк, Макдональд, 1964). Однако, количественные оценки, сделанные еще в прошлом столетии знаменитым английским физиком В.Томпсоном, показали, что для объяснения нерегулярных изменений скорости вращения Земли требуется неправоподобно большие приращения уровня Мирового океана.

Н.С.Сидоренков (1982) считает, что перераспределение влаги между Мировым океаном и ледниковыми покровами изменяет компоненты тензора инерции Земли и, вероятно, объясняет межгодовые изменения скорости вращения Земли и вековое движение северного полюса /205/.

У.Манк и Г.Макдональд (1964) подчеркивают, что причиной вариаций угловой скорости вращения Земли не могут быть ни изменения уровня океана, ни движение материков, ни таяние льдов, ни другие наблюдаемые процессы /147/.

«Нерегулярные изменения угловой скорости вращения Земли, - пишет Н.Н.Парийский, - происходят через промежутки времени от 10 до 30 и более лет, имеют разные величины и знаки, чередующиеся без определенной зависимости. Величина относительного изменения угловой скорости вращения Земли в 1898 г. достигала  $3,9 \cdot 10^{-8}$ , а около 1920 г. –  $4,5 \cdot 10^{-8}$ . Таким образом, эти изменения, совершаясь примерно в течение одного года, превосходят приливные изменения угловой скорости вращения Земли за 100 лет». Их нельзя объяснить процессами, происходящими на поверхности, так как для подобного изменения скорости потребовалось бы, например, сплющивание до уровня моря плоскогорья высотой в 4 км, по размерам равного Тибету (Кропоткин, 1970). «Приходится допустить, что скачкообразные изменения угловой скорости связаны с изменениями в глубинных слоях Земли – либо плотностей, либо скоростей подкорковых течений»,



- пишет Н.Н.Парийский /178, 179,180/. Однако, П.Н.Кропоткин (1970) считает, что предположение о быстром изменении скорости подкорковых конвекционных течений является не состоятельным. По мнению П.Н.Кропоткина, вариации скорости вращения вызваны изменениями момента инерции твердой Земли /130,131/.

Между тем, современные смещения магнитного полюса, также могут свидетельствовать о глобальных геодинамических и энергетических изменениях в недрах Земли, происходящих в настоящее время и влияющих на вариации угловой скорости вращения Земли.

Так, по данным Центрального военно-технического института сухопутных войск (ЦНИИВТИ СВ) Российской Федерации, результаты исследований, проведенных в конце 2002 года показали, что геомагнитный полюс Земли сместился на 200 км. По мнению ученых, аналогичное смещение произошло и на других планетах Солнечной системы /54/. Ведущий научный сотрудник вышеназванного института Евгений Шаламберидзе считает наиболее вероятной причиной этого то, что Солнечная система проходит «определенную зону галактического пространства и испытывает геомагнитное влияние со стороны других космических систем, находящихся рядом. По мнению ученого, «переполусовка» повлияла на ряд процессов, происходящих на Земле. Так, Земля, через свои разломы и так называемые геомагнитные точки, сбрасывает в космос избыток своей энергии. Это в свою очередь сказывается на погодных и других природных явлениях. Кроме того, «избыточные волновые процессы, возникающие при сбросе энергии Земли, влияют на скорость вращения нашей планеты» /54/.

Эвстатические колебания уровня Мирового океана связываются с эпохами сжатия и расширения Земли (Н.М.Страхов, В.Е.Хаин, Е.Е.Милановский, К.К.Марков, Ж.Умбгров, Р.Фейрбридж и др.).

Е.Е.Милановский считает, что тщательный анализ фактических данных с использованием обмеров площадей по палеографическим картам всех материков, приводит большинство исследователей к признанию реальности существования главных эвстатических циклов.

Академик А.Л.Яншин /271/ приходит в своих исследованиях, к иному мнению. На основе построенных графиков изменения площади суши и моря на разных континентах, он пришел к выводу об отсутствии глобальных повсеместных трансгрессий и регрессий. Согласно построенным графикам получилось, что не было таких периодов, когда все регионы мира одновременно погружались под воду. Однако, если даже предположить возможность рассматриваемых

глобальных изменений уровня Мирового океана, их трудно назвать катастрофами, так как эти процессы происходили за относительно длительные периоды геологического времени (десятки и сотни миллионов лет).

Имеющиеся на сегодня данные свидетельствуют о том, что на фоне периодических колебаний уровня Мирового океана, общая тенденция его изменения в настоящее время стремится к повышению уровня со скоростью 1,4–1,6 мм/год. Это также согласуется с нашими выводами о преимущественном сжатии Земли в настоящее время.

Если допустить, что амплитуда рассматриваемых короткопериодных изменений радиуса Земли может меняться в зависимости от соотношения влияния космических и сугубо земных факторов, то можно предположить вариации радиуса за относительно короткий промежуток времени (20-30 лет).

Масштабы затопления континентов зависят от их близости к зонам спрединга или субдукции.

Наибольшему затоплению должны подвергаться те районы, которые находятся в непосредственной близости от зон субдукции. Этот вывод хорошо согласуется с мнением академика Яншина, так как для одновременного погружения континентов, все они должны были бы быть расположены на одинаковом расстоянии от зон спрединга и субдукции, что не наблюдается в действительности.

## **1.2. КОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЦИКЛИЧНОСТИ**

И.Кеплер показал, как движутся планеты, но почему они движутся именно так? Какая движущая сила удерживает их на эллиптических орбитах вокруг Солнца и заставляет то увеличивать, то уменьшать скорость, как это следует из второго закона Кеплера?

В середине XVII в. в Англии работали трое выдающихся ученых: разносторонний ученый и экспериментатор Роберт Гук (1635-1703), архитектор, математик и астроном Кристофер Рен (1632-1723) и астроном, физик Эдмунд Галлей (1656-1742); последний, занимал должность королевского астронома и известен своими исследованиями комет.

Э.Галлей пришел к выводу, что сила притяжения изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния. Однако Галлей и его коллеги не смогли доказать математически, что из закона притяжения следует вывод о движении планет по эллиптическим орбитам.

В том же году Галлей отправился в Кембридж за консультациями к И. Ньютону. На вопрос Галлея, по какой траектории должна двигаться планета под действием силы, обратно пропорциональной квадрату расстояния от Солнца, Ньютон незамедлительно ответил, что такой траекторией является эллипс. Он это доказал математически.

Ньютон опубликовал свои результаты в трехтомной книге «Математические начала натуральной философии», вышедшей в свет в 1687 г. В книге Ньютон показал, что тело может совершать движение по кривой конического сечения (окружности, эллипсу, параболе и гиперболе), только в том случае, если на него действует сила, обратно пропорциональная квадрату расстояния и направленная к некоторой фиксированной точке.

Один из постулатов ньютоновской натурофилософии состоял в признании абсолютного мирового времени. Ньютон писал в своей книге: «Абсолютное частное математическое время само по себе и по своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно и иначе называется длительностью» (Николсон, 1983) /170/.

Следовательно, систему отсчета можно рассматривать, как строго заданный способ измерения положения и времени. Инерциальной системой называется система отсчета, в которой тела, при отсутствии внешних воздействий, движутся равномерно и прямолинейно. Согласно Ньютону, инерциальная система отсчета должна находиться в состоянии покоя или равномерного движения по отношению к «абсолютному пространству».

Ньютон писал: «Абсолютное пространство по самой своей сущности, безотносительно к чему бы то ни было внешнему, остается всегда одинаковым и неподвижным». По его мнению «абсолютное пространство» обладает свойством лишь воздействовать на тела (оказывать сопротивление их ускорению), но на само это пространство материя действовать не может.

В 1872 г. Эрнст Мах высказал гипотезу, что свойство инерции не имеет ничего общего с «абсолютным пространством», а возникает как результат некоторого рода взаимодействия каждого отдельного тела сразу со всеми остальными массами во Вселенной.

Если бы в мире не было других масс, говорил Мах, то у изолированного тела не было бы инерции. Эта мысль противоречит взгляду Ньютона о том, что тело и в этом случае обладало бы инерцией, как результатом действия абсолютного пространства. Эйнштейн назвал гипотезу Маха – принципом Маха.

В 1905 г. Эйнштейн, в то время скромный служащий Швейцарского патентного бюро в Берне, опубликовал работу, посвященную частной теории относительности и окончательно разрушившую, шаткие основы классических представлений пространства и времени.

Одно из центральных положений частной теории относительности гласит: «ничего не может двигаться в пространстве быстрее света». Есть предположение, что возможны частицы с конечными значениями массы и энергии, которые движутся со скоростью, всегда превышающей скорость света, а по мере уменьшения их скорости, т.е. приближения ее к «световому барьеру», их масса должна бесконечно возрастать. Эти предполагаемые частицы называют тахионами. Их существование остается предметом научных споров (Николсон, 1983) /170/.

Согласно частной теории относительности, никакую информацию нельзя передать быстрее скорости света. Если бы можно было информацию передавать быстрее скорости света, то мы узнавали бы о событиях, которые еще не происходили и могли бы их предотвратить. Тем самым был бы нарушен основополагающий принцип физики: причинно-следственная связь.

Частная теория относительности подорвала две главные основы ньютоновской теории: «пространство и время перестали быть абсолютными». Оказалось, что наблюдатели, движущиеся друг относительно друга с постоянной скоростью, близкой к скорости света, должны получать разные результаты при измерении времени и длины.

На Тбилисской конференции 1965 г. Рукманом и Юхвидином был предложен интересный проект по проверке спецрелятивистского отставания времени. Предлагалось сравнить показания двух атомных часов, которые в начальный момент были согласованы по частоте и фазе колебаний, а затем одни часы должны были поместить на движущемся искусственном спутнике Земли. При движении спутника со скоростью 8 км/сек для получения эффекта, заметно превышающего погрешности, требуется около 3-х суток. При этом отставание составит 97 мксек, тогда как погрешность можно свести до 1 мксек /37/.

В 1916 г. А.Эйнштейн опубликовал свою общую теорию относительности. Мы не будем подробно останавливаться на этой широко известной теории, лишь напомним, что общая теория относительности объединила принцип эквивалентности и представление об искривлении пространства - времени массивными телами.

Общая теория относительности в корне изменила наши представления о пространстве, времени, тяготении. Тяготение перестало быть силой, действующей на расстоянии, как в теории Ньютона, а оказалось тесно связанным с геометрией пространства и времени. Выяснилось, что тела не испытывают непосредственного воздействия гравитационных сил и их движение – это ответная реакция на кривизну пространства – времени. Любое изменение гравитационного поля какого-либо тела не передается мгновенно в любую точку пространства, а распространяется со скоростью света.

Считается, что  $G$  (гравитационная постоянная) всегда имеет одну и ту же величину, т.е. неизменна и абсолютна. Однако существуют гипотезы о возможности изменения значения  $G$  во времени.

Первым, кто подверг сомнению неизменность гравитационной постоянной  $G$ , был Дирак из Кембриджского университета. В 1937 г. им была высказана «гипотеза больших чисел», согласно которой, существуют определенные соотношения между ключевыми физическими величинами. К примеру, сила электростатического отталкивания между двумя электронами, относится к силе их гравитационного притяжения, как  $10^{40}:1$ . Отношение возраста Вселенной, оцениваемого в интервале  $10^{17} - 10^{18}$  ко времени, которое требуется лучу света, чтобы пройти электрон в поперечнике, также равно  $10^{40}:1$  /81/.

Существующие на сегодня астрономические наблюдения свидетельствуют о расширении Вселенной.

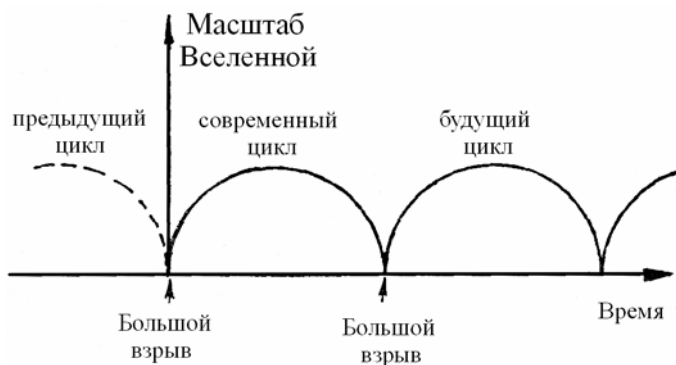
Итак, галактики удаляются друг от друга. Сколько будет длиться этот процесс, вечно? Или настанет время, когда скорость разбегающихся галактик начнет уменьшаться под действием силы притяжения и, в конечном счете, дойдет до нуля, после чего галактики начнут сближаться.

Если скорость галактики достаточно велика, то она будет продолжать свое движение вечно (открытая Вселенная), если же скорость галактики не достаточна, то она, в конце концов, уменьшится до нуля, после чего галактика будет двигаться к центру Вселенной (замкнутая Вселенная).

В случае, если Вселенная замкнута, то развитие ее будет подчиняться определенным циклам сжатия и расширения. Эта идея лежит в основе гипотезы пульсирующей Вселенной.

На рис.1 показана схема развития пульсирующей Вселенной. Как видно из схемы, процесс расширения, сменяется процессом

сжатия, в результате которого происходит Большой взрыв, приводящий к новому расширению, после чего цикл повторяется.



**Рис.1. Схема развития пульсирующей Вселенной.**

Будут ли в действительности все циклы равны по амплитуде? Если основываться на существующих физических законах, то амплитуда циклов, должна уменьшаться с каждым циклом, до полного затухания (рис.2). Но почему мы должны считать, что развитие Вселенной подчиняется известным на сегодня законам физики? Скорее всего, законы развития Вселенной, в основном, пока еще не изведены.

Если же Вселенная все же расширяется, то, что ее ожидает в будущем?

Дж.Б.Берроу из Оксфордского, и Ф.Типлер из Калифорнийского университетов считают, что в конечном итоге последней стадии существования материи окажется безбрежное море разряженного излучения, остывающего до конечной температуры.

Мысль о «тепловой смерти» Вселенной была высказана еще в 1854 г. Германом Гельмгольцем.

Один из основных вопросов космологии: открыта или замкнута наша Вселенная? В рамках модели Фридмана, основной путь, по которому пытаются решить эту проблему, сводится к измерению средней плотности  $\rho_0$  вещества во Вселенной.

Если  $\rho_0 > \rho_{oc}$ , ( $\rho_{oc} = 3/8 \pi$ ),  $H^2/G \sim 10^{-29} \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$ , то Вселенная замкнута, если  $\rho_0 < \rho_{oc}$ , то — открыта.

Существующие наблюдательные данные показывают, что  $\rho_0 \sim 0,1 \rho_{oc}$ . Из-за существования значительных скрытых (от наблюдения) масс, возможно, что  $\rho_0 \sim \rho_{oc}$ .



**Рис. 2. Схема развития пульсирующей Вселенной с затухающими циклами.**

В отличие от Г.Гельмгольца, Дж.Б.Берроу, Ф.Типлера и других сторонников идеи «тепловой смерти» Вселенной, можно допустить, что пульсационный характер развития является основным свойством эволюции многих естественных систем, включая, как нашу планету, так и Вселенную в целом.

Рассматривая ограничения, которые накладывает гипотеза больших чисел на расширение Вселенной, Дирак заключил, что пульсирующие модели Вселенной исключаются. Они содержат максимальный размер Вселенной, и поскольку это соответствует очень большому числу, не зависящему от времени, Дирак счел пульсирующие модели противоречащими теории больших чисел. Дирак доказывал, что в соответствии с его теорией, любое замедляющееся расширение Вселенной запрещено гипотезой больших чисел.

Если предположить, что Вселенная не сохраняет своих размеров, то возникает вопрос, насколько постоянна, в этом случае, гравитационная постоянная  $G$ . Согласно принципу Маха, инерция тела, есть результат влияния масс всех удаленных объектов Вселенной. Как отмечал в 50-х годах Д.Шама, такое влияние по своей природе является гравитационным взаимодействием. Следовательно, естественно ожидать ослабления этого взаимодействия по мере увеличения размеров Вселенной. Согласно принципу эквивалентности, гравитационная и инерционная массы обязательно должны быть пропорциональны, что означает увеличение  $G$  при сжатии Вселенной.

На основе приведенных соотношений было сделано предположение, что значение  $G$  должно изменяться обратно пропорционально возрасту Вселенной, т. е. с течением времени гравитационное взаимодействие должно было ослабевать.

Если придерживаться гипотезы пульсирующей Вселенной, то гравитационная постоянная, также как и радиус Вселенной, должна попеременно увеличиваться и уменьшаться. Так ли это на самом деле?

Даже в настоящее время, как это не парадоксально, в эпоху освоения космоса, наука не может однозначно ответить не только на этот вопрос, но и на вопрос о природе самого тяготения. Существуют ли элементарные частицы, не имеющие массы – гравитоны? Возможны ли гравитационные волны?

Согласно корпускулярной гипотезе гравитации, в пространстве с огромной скоростью движутся ультракосмические частицы – гравитоны, свободно проходящие через тела и теряющие при этом незначительную часть своего импульса сил. Если в пространстве имеется только одно тело, то оно подвергается всестороннему сжатию. В случае наличия в пространстве двух тел, между ними возникают силы притяжения. Это связано с тем, что поглощение импульса сил этими телами со сторон, обращенных друг к другу, будет меньше, чем с противоположных сторон. Это связано с частичным поглощением импульса сил каждым из тел.

Тела в гравитационном вакууме создают неоднородность (поле) только в присутствии другого тела. Очевидно, что общее поле нескольких тел не равно сумме их отдельных полей, т.е. должно наблюдаться нечто подобное экранированию (Веселов, 1977) /47,48/.

К.Е.Веселов в развитие гипотезы о корпускулярной природе гравитационных волн отмечает, что «нарушение динамического равновесия обмена между вакуумом и телами, а следовательно, и неоднородность гравитационного вакуума, возникают только под действием внешних сил, совершающих работу, т.е. изменяющих скорость тела, либо относительное положение тел. Если этого не происходит, то при свободном движении планет и других тел никакого поглощения вакуума, роста массы и торможения не должно наблюдаться».

По мнению К.Е.Веселова, если рассматривать гравитационное поле, как свойство гравитационного вакуума, можно допустить изменение этих свойств во времени и в пространстве. Изменение солнечной активности, а следовательно, и корпускулярного излучения, может изменить плотность гравитационного вакуума и величину гравитационной постоянной.



Весьма интересные результаты за последние десятилетия получены при изучении неприливных изменений силы тяжести. Первые исследования по изучению неприливных изменений силы тяжести были начаты в институте Физики Земли АН СССР в 1935 г. Толчком к началу этих работ послужили расхождения между повторными определениями силы тяжести на Кавказе и в Средней Азии, достигающие десятков мГал (Абакелия, 1936) /1/. Ю.Д. Буланже и П.Н.Парийским, проведены повторные маятниковые измерения силы тяжести на Центральном Кавказе. В результате анализа, выполненного Н.Н.Парийским, было установлено, что эти расхождения, являются главным образом, результатом накопления ошибок измерений. Если же изменения силы тяжести во времени и существуют, то они не могут превосходить нескольких десятых долей мГал в год /43,177,179/.

Во многих работах профессора Барта дано теоретическое обоснование возможных изменений силы тяжести глобального характера. Он предполагал возможность перемещения ядра Земли относительно ее оболочек, при этом допускались изменения силы тяжести во времени до 0,5 мГал/год в районах больших аномалий. Однако, эти работы не получили ни теоретического, ни экспериментального подтверждения.

Расчеты, выполненные Н.Н.Парийским (Pariyskiy, 1982) /349/ показали, что если изменения силы тяжести связаны с процессами, вызывающими неравномерность вращения Земли, то они могут достигать первых десятков мкГал/год.

К концу 60-х годов в инструментальной гравиметрии произошел огромный скачок, связанный с созданием принципиально новых приборов – абсолютных лазерных баллистических гравиметров, обладающих весьма высокой точностью.

С 1967 г. профессор А.Сакума в Севре стал систематически проводить измерения абсолютной величины силы тяжести своим стационарным баллистическим гравиметром. По оценкам А.Сакумы погрешность его измерений составляет единицы мкГал. Кривая наблюдаемых значений имеет четко выраженный минимум, соответствующий 1968 году (Веселов, 1977) /48/.

Изучения неприливных изменений силы тяжести, с советским абсолютным гравиметром ГАБЛ, были начаты в 1976 г. За истекшее время, проведены многократные повторные определения на пункте Ледово в Новосибирске, в 1976, 1978 и 1980 г.г. – в Потсдаме, на пяти пунктах на Австралийском континенте, в Тасмании, Папуа Новой Гвинеи, сделаны три измерения в Сингапуре, на двух пунктах в Финляндии.

Рассмотрим результаты повторных определений силы тяжести на пунктах Потсдам, Ледово, Новосибирск. В интервале времени с 1975 г. по 1978 г., когда наблюдались максимальные скорости изменений силы тяжести, изменения на этих пунктах оказались практически одинаковыми и равными, в среднем –  $10,0 \pm 2,3$  мкГал/год (Буланже, 1984) /43/. Таким образом, изменения силы тяжести, полученные с помощью гравиметра ГАБЛ, наблюдались вдоль линии протяженностью 5 тыс. км, что впервые позволяет сделать вывод о глобальном характере, наблюдавшихся изменений силы тяжести.

В Мексике между пунктами Такибайя и Отель Женева, по измерениям, проведенным в 1949, 1955, 1967 и 1978 г.г., установлено изменение силы тяжести со средней скоростью до 60 мкГал/год. На Ашхабадском геодинимическом полигоне было уверенно зафиксировано изменение силы тяжести более 80 мкГал/год, вызванное изменением гидрологического режима глубинных вод в период подготовки землетрясения (Boulanger et al., 1981). Таким образом, по-видимому, можно достаточно уверенно говорить о периодических изменениях силы тяжести в различных регионах Земли. Как отмечают Д.Д. Иваненко и Б.Н. Фролов (1984), изменение силы тяжести на поверхности Земли может быть вызвано не только деформацией земного шара, но и непосредственно изменением величины гравитационной постоянной  $G$  в окрестности Земли /100/.

Д.Д.Иваненко и В.Н.Фролов, опираясь на теорию изменения гравитационной постоянной Йордана-Бранса-Дикке, выделяют на основе современной теории гравитации, три причины изменения гравитационного поля вблизи Земли: возможные изменения гравитационной постоянной, в частности волнового типа; эффективное изменение гравитационной постоянной, обусловленное космологическими обстоятельствами; низкочастотные гравитационные волны.

В предыдущих разделах нами указывалось на возможность периодических изменений радиуса Земли. Как отмечает П.Н.Кропоткин /131/: «о кратковременных вариациях величины радиуса Земли ( $R$ ) сейчас можно говорить достаточно определенно, так как хорошо изученные вариации угловой скорости вращения Земли вокруг своей оси обнаруживают явную корреляцию с вариациями ускорения силы тяжести». Итак, какое отношение имеют предполагаемые изменения гравитационной постоянной к земным катастрофам? П.Н.Кропоткин отмечает наличие корреляционной связи между вариациями угловой скорости вращения Земли, ускорением силы тяжести и годовой энергией землетрясений.

Как уже отмечалось, на основе изучения пространственно-временного распределения вулканической активности, нами сделан вывод о периодическом изменении радиуса и формы Земли. Многочисленные корреляционные исследования позволяют допустить, что причиной, таких глобальных изменений могут быть космические факторы. Одним из таких факторов являются сверхдлинные гравитационные волны, обладающие гигантскими длинами волн и без конца пронизывающие космическое пространство, излучаемые во время процессов астрономического масштаба во Вселенной.

## **ГЛАВА 2. ГРАВИТАЦИОННАЯ ПОСТОЯННАЯ И ПРИЧИНЫ ЕЕ ВАРИАЦИЙ**

### **2.1. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ ПОСТОЯННОЙ**

Несмотря на выдающиеся успехи последних десятилетий в области фундаментальной физики и астрофизики, вопросы гравитации по-прежнему волнуют умы ученых всего мира. Одна из самых фундаментальных и всеобъемлющих физических констант - гравитационная постоянная  $G$  так и не может быть измерена с высокой достоверностью вплоть до сегодняшнего дня, являясь яблоком раздора для целого ряда различных научных центров и отдельных исследователей.

Впервые вопрос гравитации наиболее полно и глубоко был изучен Исааком Ньютоном (1643-1727 гг.), который в 1687 году опубликовал знаменитый научный труд «Математические начала натуральной философии». В этой работе впервые были достаточно детально выдвинуты и рассмотрены теории движения планет и основы гравитации. В соответствии с законом Всемирного тяготения И.Ньютона: каждые две частицы материи тяготеют друг к другу, с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними:

$$F = G m_1 m_2 / r^2, \quad (2.1)$$

где  $F$  – сила притяжения между частицами материи;  $G$  – гравитационная постоянная;  $m_1$  и  $m_2$  – массы притягивающихся частиц материи, а  $r$  – расстояние между ними.

Между тем, установленный Ньютоном закон не сразу был понят и оценен его современниками. Например, Христиан Гюйгенс писал: «Мысль Ньютона о взаимном притяжении, я считаю нелепой и удивляюсь, как человек, подобный Ньютону, мог сделать столь трудные вычисления и исследования, не имеющие в основе ничего лучшего, чем эта мысль» /197/.

Необходимо отметить, что мысль о том, что небесные тела обладают свойством притягивать, высказывали до Ньютона: Николай Кузанский, Леонардо да Винчи, Коперник и Кеплер /145/. Так Кеплер в своей книге «Новая астрономия» писал: «Тяжесть есть взаимная склонность между родственными телами, стремящимися слиться, соединиться воедино.... В какое место мы ни поместили бы Землю, тяжелые тела вследствие природной им способности будут всегда двигаться к ней... Если бы в каком-нибудь месте мира находились два камня на близком расстоянии друг от друга и вне сферы действия какого бы ни было родственного им тела, то эти камни стремились бы соединиться друг с другом подобно двум магнитам...»

До И.Ньютона идею всемирного тяготения выдвинул Роберт Гук (1635-1703), при этом между ними начался серьезный спор о приоритете на открытие. Однако, в отличие от Р.Гука, Ньютон разработал математическую основу теории тяготения и доказал численными методами действие закона тяготения.

После смерти Ньютона, одним из самых серьезных возражений против закона всемирного тяготения считается публикация французского математика и астронома Алексиса-Клода Клеро в 1745 г. В частности, проведенные им вычисления орбиты Луны, по его мнению, требовали исправления закона всемирного тяготения /39/.

Самостоятельный путь исследований А.Клеро, движения лунного перигея, привел его к тому же значению, к которому пришел в свое время Ньютон, и которое расходилось с наблюдаемыми данными почти в два раза. К этим же выводам, независимо, пришел и другой известный ученый – Жан Лерон Даламбер (1717-1783).

Практически одновременно А.Клеро и Ж.Даламбер пришли к выводу, что теория Ньютона не объясняет движение перигея Луны и требует внесения поправок.

Против выводов А.Клеро и Ж.Даламбера высказался известный французский естествоиспытатель Жорж Бюффон (1701-1783). Будучи признанным авторитетом, он оградил от дальнейших нападок закон всемирного тяготения Ньютона, заявив: «нам предлагают нечто произвольное, вместо того, чтобы воспроизводить истину.... Всякий физический закон лишь потому является законом, что его выражение обладает единственностью и простотой».

Несмотря на то, что почти сразу после опубликования Ньютоном закона всемирного тяготения, многими физиками стали вводиться к нему различные поправки, практическое использование получил только закон А.Холла, согласно которому:

$$F = G m_1 m_2 / r^{2+\delta}, \quad (2.2)$$

где  $\delta = 1,574 \cdot 10^{-7}$ .

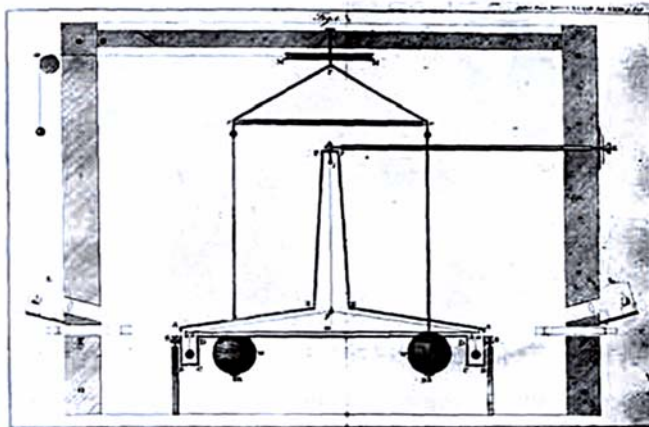
Введенная А.Холлом поправка  $\delta$ , позволяет закону (2.1) описать реальное движение большой полуоси Меркурия, отличающееся от расчетного по закону (2.2) на 43" за сто лет. Этот закон (2.2) использован С.Ньютоном также для вычисления эфемерид: Венеры, Земли и Марса /219/.

Меркурий, на фоне других планет, имеет орбиту со значительным эксцентриситетом  $e = 0,2066$ , что определяет существенные изменения расстояния  $r$  до Солнца, в процессе орбитального движения. Поэтому естественно, что введена поправка именно к расстоянию  $r$  и она указывает, как изменяется сила  $F$  на фоне закона (2.1) при взаимодействии двух небесных тел Солнца и Меркурия с присущими им геометрическими и массовыми характеристиками при существенном изменении  $r$ , или при изменении геометрических условий взаимодействия.

Следующим шагом, подтвердившим закон всемирного тяготения Ньютона, явился гениальный по простоте и точности опыт Генри Кавендиша.

Один из самых точных экспериментов по определению гравитационной постоянной  $G$ , выполнил английский физик Генри Кавендиш, и результаты своего опыта опубликовал в 1798 году. В своем опыте, он измерял силу тяготения между двумя неподвижными свинцовыми шарами и двумя малыми шарами, расположенными на концах коромысла, висящего на очень тонкой

нити. Измеряя на сколько закрутится нить в результате притяжения малых шаров к большим, Г.Кавендиш, вычислил силу притяжения между шарами и убедился, что она обратно пропорциональна расстоянию между ними. Таким образом, был точно определен коэффициент  $G$  по формуле (2.1). Измеренный коэффициент  $G$  оказался равным  $6,670 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ . На рис.3. показано изображение крутильных весов Г.Кавендиша.



**Рис. 3. Торсионные весы, на которых Генри Кавендиш в 1797 г. впервые измерил гравитационную постоянную  $G$ .**

Кавендишевская лаборатория была основана в 1869 году, но годом ее формального открытия, считается 1874 год.

Несмотря на то, что после этого удивительного опыта Г.Кавендиша прошло уже более 200 лет, гравитационная постоянная по-прежнему считается одной из наименее точно измеренных фундаментальных констант.

Основная проблема заключается в том, что, несмотря на постоянное повышение точности измерительных приборов, полученные разными исследователями в разных странах и в разное время, значения  $G$ , между собой существенно отличаются, и эти отличия значительно превышают погрешность приборов, с помощью которых измерялось  $G$ .

Принцип современных приборов для измерения гравитационной постоянной со времен Кавендиша практически не изменился. Это те же торсионные весы, с той лишь разницей, что в них используются современные материалы и технологии, в

частности прецизионные измерители отклонений коромысла с грузиками, вакуумные установки, позволяющие получать в измерительной камере глубокий вакуум и различные датчики, контролирующие температурный режим и различные электромагнитные характеристики среды и отдельных узлов.

К числу последних достижений в области измерительных технологий можно отнести современные торсионные весы Gundlach's, на которых ученые Вашингтонского университета уточняют значения гравитационной постоянной (рис.4.)

Установка Gundlach's мало, чем отличается от крутильных весов Кавендиша /184, 314/. В ней измеряется сила притяжения между двумя подвешенными внутри пластинами (на фотографии не видны) и несколькими шарами, расположенными по периферии цилиндра и вращающимися вокруг него. Погрешность измерения удалось значительно снизить, используя механизм обратной связи: помещаемые рядом с крутильными весами шары перемещались так, чтобы свести скручивание нити маятника к минимуму. Размер установки в поперечнике более полуметра.

Используя данную установку, группе исследователей из Университета Вашингтона в Сиэтле во главе с Jens Gundlach и Stephen Merkowitz, удалось улучшить точность  $G$  на два порядка. Они объявили результат измерения  $G = 6,67390 \cdot 10^{-11} \text{ Нм}^2/\text{кг}^2$  с погрешностью 0,0014 %.

Учитывая это новое значение  $G$  при анализе измерений спутника Legos, который промерял параметры своей орбиты лазером с точностью до 1 мм, удалось вычислить новое более точное значение массы Земли:  $(5,97223 \pm 0,00008) \cdot 10^{24}$  кг. Аналогично, более точное значение массы Солнца равно  $(1,98843 \pm 0,00003) \cdot 10^{30}$  кг /184, 314/.

По последним данным (CODATA-1999) в качестве международного стандарта  $G$  принято числовое значение

$$G = 6,673E-11 \text{ Нм}^2/\text{кг}^2$$

Ниже приводится таблица 2.1 фактически измеренных значений  $G$  за последние 30 лет.



**Рис. 4.** Современные торсионные весы, используемые в Вашингтонском университете (перепечатано из /314/).

*Таблица № 2. 1*

Страна	Год	Значение $G$ , $10^{-11} \text{Нм}^2/\text{кг}^2$
Франция /144/	1972	$6,6714 \pm 0,0006$
СССР /144/	1977	$6,6745 \pm 0,0008$
США /144/	1982	$6,6726 \pm 0,0005$
СССР /222/	1983	6,6720
Россия /103/	1993	$6,67369 \pm 0,00020$
Россия /103/	1996	$6,67263 \pm 0,00013$
CODATA /64/	1998	6,67259
CODATA /64/	1999	6,673 (10)
Astrophysical Constants /274/	2000	6,673 (10)
США /314/	2002	$6,67390 \pm 0,0014$
Швейцария /184/	2002	$6,67404 \pm 0,000033$



Как видно из приведенной таблицы, измеренные в последние 30 лет значения  $G$  существенно разнятся, несмотря на совершенствование измерительных технологий.

Безусловно, такие отклонения в измеренных значениях  $G$  вызывают серьезные проблемы при космологических расчетах, в частности параметров планет, их траекторий движения и т.д.

Так, в таблице 2.2 приводится сравнение значений  $G$  и масс Солнца и Земли, вычисленных до 2000 года и в 2002 году по данным НАСА и сайтов ASTROPHYSICAL CONSTANTS / 216, 274/.

Как видно из таблицы 2.2 существует разброс значений  $G$  и вычисленных на их основе масс Солнца и Земли.

Таблица № 2.2

Источ-ни информации	Год	Значение $G$ $\text{Н}\cdot\text{м}^2/\text{кг}^2$	Масса Солнца (кг)	Масса земли
ASTR. CONST /274/	До 2000	6,67259 (85)	$1.98892(25)\cdot 10^{30}$	$5.97370(76)\cdot 10^{24}$
ASTR. CONST /274/	Пос-ле 2000	6,673 (10)	$1.9889(30)\cdot 10^{30}$	$5.974(9)\cdot 10^{24}$
NASA /311/	2002	6,67390	$1.989100\cdot 10^{30}$	$5.9736\cdot 10^{24}$

Невозможность однозначного определения  $G$  приводит к ощутимому разбросу различных космологических характеристик, увеличивающемуся пропорционально масштабам рассчитываемых величин.

В последние десятилетия в метрологии наблюдается переход на атомные эталоны времени: (частоты), длины, напряжения и т.д., в основе которых лежат процессы микрофизики. В связи с этим, также встает вопрос о переходе на атомную систему единиц, связанную с фундаментальными физическими величинами /342/.

В работах /86, 343/ рассматривается учет влияния различных эффектов, связанных с движением и кривизной, на временные изменения  $G$  в различных моделях скалярно-тензорных теорий. Отмечается, что влияние скалярного поля существенно в начальной стадии расширения Вселенной и при коллапсе массивных тел. В настоящее время существует множество вариантов скалярно-

тензорных теорий /303/, которые дают разные зависимости гравитационной связи от скалярного поля, хотя зависимость от времени приблизительно соответствует теории Бранса-Дикке /342/.

Г.Гамов предложил рассматривать отношение гравитационных сил к электромагнитным /303/. Это отношение, приблизительно равно  $t^{-1}$ . Гамов предположил, что это происходит не за счет изменения  $G$ , а за счет векового изменения элементарного заряда  $e^r \sim t$ .

Теллер /389/, Ландау /134/, Станюкович /210/, де Витт /288/, Салам и Страсди /356/ выдвинули различные аргументы, приводящие к соотношению между гравитацией и электромагнетизмом. Теллер выдвинул свою гипотезу в связи с трудностями с экспериментальным обоснованием гипотезы Дирака. Л.Д.Ландау исходил из анализа трудностей квантовой теории поля (наличие расходимостей). К.П.Станюкович, де Витт, Салам и др. пришли к такому соотношению при попытке использовать гравитацию для преодоления расходимостей в квантовой теории поля /210, 288/.

Станюкович /210/ разработал теорию гравитации с переменной гравитационной связью. Он исходил из групповых соображений и законов сохранения. Все уравнения теоретической физики инвариантны относительно масштабных преобразований кроме уравнений Эйнштейна. В своих работах К.П.Станюкович установил связь между «квантовыми» и космологическими константами.

В то же время, Кавалло предложил еще одно объяснение соотношения Дирака. Он предположил, что Вселенная обладает моментом импульса, пропорциональным моменту импульса электрона. В рамках расширяющейся ньютоновской космологической модели с вращением, им были получены соотношения, аналогичные дираковским /280/.

С развитием высоких технологий не прекращаются попытки повышения точности измерений  $G$ . Так, Сандерс и Дидс /360/ предложили метод измерения  $G$  на уровне  $10^{-6}$ , основанный на наблюдении за движением двух тел разной массы внутри свободного от сноса спутника Земли, с использованием траекторий типа подковы: более легкое тело («частица»), находясь на несколько более низкой орбите, чем тяжелое тело («пастух»), нагоняет его, затем за счет взаимодействия с ним переходит на более высокую орбиту и начинает отставать от него в орбитальном движении. В цилиндрической капсуле (диаметром ~

1 м и длиной 20 м), защищающей тела от торможения в атмосфере, давления излучений, электрических и магнитных полей, тела взаимодействуют в течение 1- 4 сут. /59/.

Космический метод, в отличие от лабораторных, позволяет избавиться от не поддающегося точному расчету, влияния окружающих тел и создает условия, при которых на частицу не действуют внешние силы, намного превосходящие силу ее взаимодействия с «пастухом»: приливные силы в поле Земли практически одного порядка с ней /59/.

Между тем, для данного метода не найдено ни одного аналитического решения, описывающего используемые траектории, даже в предельно идеализированной постановке задачи.

Предварительная оценка показывает, что при слежении за траекторией частицы массы  $m$  с погрешностями определения координат  $\sim 10^{-6}$  см, постоянная  $G$  определяется с погрешностью  $\Delta G/G$  не более  $10^{-6}$ . По мнению авторов работы /59/, в следующем порядке величины, который также представляется достижимым по данным оценкам, появляются трудно учитываемые факторы. В частности, существенное ограничение на точность эксперимента накладывает ошибка слежения за спутником, приводящая к неточному знанию приливных сил. Ряд авторов считают (де Саббата и др., 1992, Мельников и Радынов, 1990), что использование тел массой  $m$ , изготовленных из различных материалов, дает также возможность на несколько порядков улучшить современные оценки возможного нарушения принципа эквивалентности и констант ньютоновских взаимодействий.

По мере повышения точности измерений значений  $G$ , странным образом увеличиваются различия между ними. Так, до настоящего времени два наиболее точных измерения  $G$  были получены группами ученых в Вашингтонском Университете в Сиэтле и Международном бюро мер и весов под Парижем, причем в обоих случаях ошибки эксперимента составляли 1/10000, однако разница полученных значений превышает возможные погрешности в 10 раз.

Жан-Поль Мбелек (Jean-Paul Mbelek) и Марк Лашьез-Рай (Marc Lachieze-Ray) из французской комиссии по атомной энергии заявили, что им удалось понять причину подобного расхождения между экспериментальными значениями. Для этого им пришлось принять во внимание географическое положение лабораторий, в которых эти эксперименты проводились. Исследователи

предположили, что в основе наблюдавшихся расхождений лежит взаимовлияние гравитационного и электромагнитного полей.

В своей работе, направленной в журнал *Classical and Quantum Gravity* и представленной на совещании Европейского астрономического союза в г. Порто (Португалия), они привели вычисления ожидаемых значений гравитационной постоянной в разных регионах планеты. В основу расчетов были положены теории, предполагающие наличие скрытых размерностей у пространства (в частности, теория струн, в рамках которой объединяется электромагнитное и гравитационное поле).

Из расчетов получается, что земное тяготение будет сильнее в тех местах, где сильнее магнитное поле, т.е. максимальных значений можно ожидать в районах северного и южного магнитных полюсов. По их мнению, имеющиеся экспериментальные данные вполне согласуются с теорией, однако требуется проведение прецизионных измерений, как в районах самих полюсов, так и в экваториальных районах.

Ученые считают, что исследования Солнца, также подтверждают их предположения. Если использовать модель, в которой применяется меньшее значение гравитационной постоянной, то получается лучшее согласование с экспериментальными данными /339/.

Мбелек сообщил, что, согласно их расчетам, при высоких температурах, влияние магнитного поля на силу притяжения ослабевает. Таким образом, по их мнению, можно ожидать, что константа  $G$  внутри Солнца имеет меньшее значение (*New Scientist*, 2002).

Между тем, многие ученые не разделяют концепции вышеуказанных ученых. Новый эксперимент группы швейцарских физиков из Университета Цюриха, позволил получить результат, отличающийся от французского.

Так, в специальном цементированном подвале, около Виллигена (Швейцария), они с помощью чувствительных лабораторных весов измерили различия в массе двух маленьких гирь, над или под которыми были размещены две гигантские емкости ртути весом 13 тонн. Изменяя сверхчувствительными весами изменения веса пробных масс, исследователи вычислили значение  $G$  /348/.

Их результат –  $6,67404 \cdot 10^{-11} \text{Нм}^2/\text{кг}^2$  – согласуется с результатом полученным группой в Сиэтле и отличается от результата полученного французскими учеными.

Стефан Шламингер (Stephan Schlammingер), руководитель цюрихской группы, считает, что этим самым парижский результат опровергнут. Напротив, Мбелек заявляет, что магнитное поле в Сиэтле воздействует на  $G$  точно также как и в местности, где проводился эксперимент швейцарцев, что, подтверждает концепцию Мбелека.

Во всяком случае, попытки уточнить измеренные значения  $G$ , пока, что приводят к усилению отклонений в данных, полученных различными учеными мира. Это усугубляет некоторую растерянность ученых, так как вариации  $G$  ставят под сомнение основные положения общей теории относительности Эйнштейна.

## **2.2. ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ ВАРИАЦИЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ ПОСТОЯННОЙ**

Приведенные в предыдущем разделе, факты, о существенных вариациях гравитационной постоянной, безусловно, наталкивают многих исследователей на мысль о возможности изменений  $G$  во времени.

Как уже отмечалось выше, первым, кто серьезно усомнился в неизменности гравитационной постоянной, был П.Дирак /81/.

К 1930 году космология претерпевала революционные изменения. Многие исследователи склонялись к мнению, что статические космологические модели Эйнштейна и де Ситтера не соответствуют наблюдательным данным, полученным Хабблом и другими, свидетельствующим о расширении Вселенной. Теория расширяющейся Вселенной была замечена и принята Эддингтоном, только после перевода в 1930 году статьи Леметра.

К 1930-1934 гг. концепция расширяющейся Вселенной стремительно развивалась, занимая серьезное место в космологии.

Теория Дирака была построена на идее расширяющейся Вселенной и включала в себя концепцию Леметра о происхождении Вселенной в далеком прошлом. Философия теории Дирака основывалась на теориях его прежних учителей Эддингтона и Милна.

Впервые П.Дирак опубликовал свою космологическую идею в небольшой статье журнала "Nature" в феврале 1937г.

К примеру, П.Дирак указывал, что сила электростатического отталкивания между двумя электронами относится к силе их гравитационного притяжения, как  $10^{40} : 1$ . Отношение возраста

Вселенной, оцениваемого в интервале  $10^{17} - 10^{18}$  ко времени, которое требуется лучу света, чтобы пройти электрон в поперечнике также равно  $10^{40} : 1$ .

Дирак заявил, что регулярность, проявляющаяся в приведенных безразмерных числах, не является чисто случайной. «Вышеупомянутые большие числа, следует рассматривать не как константы, а как простые функции данной эпохи, выраженной в атомных единицах. Мы можем принять в качестве общего принципа, что все большие числа порядка  $10^{39}, 10^{78}, \dots$ , появляющиеся в общей физической теории, должны быть с точностью до простых численных коэффициентов равны  $t, t^2, \dots$ , где  $t$  – данная эпоха, выраженная в атомных единицах».

Впоследствии Дирак назвал эту идею гипотезой больших чисел (ГБЧ). В 1938 году он назвал ГБЧ Фундаментальным принципом: «Любые два из очень больших безразмерных чисел, встречающихся в природе, связаны простым математическим соотношением с коэффициентами порядка единицы».

Таким образом, из теории Дирака вытекают два основополагающих следствия. Во-первых, из теории получается, что число протонов и нейтронов во Вселенной должно увеличиваться пропорционально  $t^2$ .

Второе следствие заключается в том, что, если принять систему единиц, определяемую атомными постоянными, то гравитационная постоянная должна со временем уменьшаться пропорционально  $t^{-1}$ .

Чтобы объяснить эту теорию с точки зрения общей теории относительности, нужно предположить, что элемент длины, определяемый в римановой геометрии как  $ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$ , не равен элементу длины, выраженному через атомные единицы, а отличается от него неким множителем. Такой множитель должен быть скалярной функцией точки, а его градиент должен указывать направление в ней среднего движения.

По мнению Г.Е.Горелика /65/, космологические построения Дирака сами по себе не оставили существенного следа в современной космологии, но совпадение больших чисел, прочитанное Дираком «слева направо»:

$$G \sim H \sim 1/t, \quad (2.3)$$

будучи прочитано справа налево:

$$t \sim 1/G, \quad (2.4)$$

стало главным основанием для антропного принципа.

Безусловно, Дирак пытался согласовать свою гипотезу с общей теорией относительности. Чтобы компенсировать рождение вещества, в 1927 году, он предложил дополнительное рождение отрицательной массы. Между тем, в то время не было никаких независимых подтверждений этой гипотезы.

И только спустя 75 лет, в 2002 году существование античастиц было экспериментально доказано учеными Европейского Центра Атомных Исследований (ЦЕРН), расположенного в пригороде швейцарской Женева.

Для исследований античастиц в ЦЕРНе был построен «Антипротонный замедлитель» - замкнутая герметичная камера длиной 186 метров, где удалось создать температуру минус 258 градусов по Цельсию. Лишь в этих условиях античастицы могли попасть в электромагнитную ловушку. Во время эксперимента физикам удалось зафиксировать более 50 тысяч атомов антивещества – **антиводорода**. Это открытие создает новые возможности для фундаментальной и прикладной физики.

В 1955 году Йордан попытался придать идеям Дирака соответствующую математическую форму, предположив, что гравитационная постоянная является функцией скаляра /106/.

Как указывает в своей работе /106/ П.Йордан: «Эта обобщенная теория тяготения, основанная на гипотезе Дирака о том, что  $G$  уменьшается со временем, приблизительно обратно пропорционально возрасту Вселенной, - приобретает реальный смысл в космологии и астрономии (в связи с изучением двойных звезд, происхождением планетарных систем и астрофизическими определениями возраста небесных тел)».

П.Йордан, опираясь на геологические и геофизические данные, пришел к выводу о том, что Земля с момента ее образования претерпевает постоянный процесс расширения. Свидетельством этому, по его мнению, являются океанические и континентальные рифтовые системы, в которых земная кора подвергается тектоническим процессам расширения. Рассматривая, с точки зрения своей концепции, гипотезу дрейфа континентов А.Вегенера, он считает раскол Гондваны на отдельные континенты и их последующее отдаление, ярким свидетельством правоты его теории. С этой точки зрения Йордан полностью согласен с теорией Дирака о расширяющейся Вселенной и

связанным с этим постоянным уменьшением гравитационной постоянной.

Таким образом, применяя теорию Дирака в отношении развития Земли, П.Йордан приходит к следующему выводу: «В заключение я выскажу мнение, что наши современные знания о Земле, истолкованные так, как описано выше, делают гипотезу Дирака доказанным фактом, включая также то, вызывающее недоумение, обстоятельство, что во время образования Земли,  $G$  должна была значительно превышать свою нынешнюю величину. Это обстоятельство (подчеркнутое Теллером в личных дискуссиях) подтверждает идею автора /389/.

Между тем, как показало последующее развитие концепции дрейфа континентов А.Вегенера, переросшей в теорию тектоники литосферных плит, благодаря работам американских ученых Хесса и Дитца, а также Вайна и Мэтьюза в 1961-1965 годах, Джордан ошибался в оценке масштабов процессов расширения Земли.

Как известно на сегодня, процессы расширения на нашей планете в зонах спрединга компенсируются процессами сжатия в зонах субдукции с определенным сдвигом во времени, что приводит к деформациям формы Земли и неравномерным изменениям ее радиуса, носящими пульсационный характер. Данные сейсмологии и других разделов геофизики, а также геологии, однозначно подтвердили, что в зонах субдукции литосфера Земли подвергается гигантским напряжениям сжатия. Это, в свою очередь, вызывает выделение в этих зонах более 80% всей сейсмической энергии планеты в виде землетрясений.

В то же время, неверная оценка процессов расширения Земли, на наш взгляд, не означает наше не согласие с гипотезой П.Дирака о расширении Вселенной. Речь идет, скорее, о сильно преувеличенных П.Йорданом масштабах скорости расширения Земли, которая должна быть пропорциональной скорости расширения Вселенной.

После высказанной Дираком гипотезы больших чисел, ряд исследователей, также выдвигали различные концепции о возможных изменениях гравитационной постоянной. Так, в 50-х годах Д.Шама /263/ (работающий в то время в Кембридже), выдвинул гипотезу, основанную на принципе Маха, согласно которому инерция тела, есть результат влияния масс всех удаленных объектов Вселенной. Такое влияние по своей природе является гравитационным взаимодействием и по мнению Шама



было бы естественно ожидать ослабления этого взаимодействия по мере увеличения размеров Вселенной.

«Из различных теорий, строящихся на переменности  $G$ , наибольший интерес вызвала скалярно-тензорная теория, предложенная в 1961 году К.Брансом и Р.Дикке из Пристонского университета и развивавшая представления П.Йордана. Исходя из принципа Маха, авторы этой теории предположили, что локальное значение  $G$  определяется структурой Вселенной, что привело к возможности изменения  $G$  не только со временем, но и от точки к точке. Уравнения теории Бранса-Дикке похожи на уравнения общей теории относительности, но, чтобы эти уравнения удовлетворяли принципу Маха, в них включена дополнительная переменная величина – «скалярное поле», которое позволяет  $G$  быть переменной» /106/.

В своей работе /80/ Р.Дикке, в поддержку П.Йордана, высказывается о преимуществах свойств скалярного поля.

«Скалярное поле более перспективно..... Все дело в исключительной простоте такого взаимодействия, поскольку для весьма полного определения его свойств, достаточно пары наблюдений и учета требования лоренц-инвариантности. Перечислим свойства дальнедействующего скалярного взаимодействия (нейтральное скалярное поле с нулевой массой покоя):

1. Скалярное поле приводит к силам притяжения между телами.
2. Скалярное поле может быть только слабым. Сила такого взаимодействия должна быть того же порядка, что и у гравитационного.
3. Скалярное поле не взаимодействует с фотонами и другими частицами, движущимися со скоростью света.
4. Скалярная сила убывает с увеличением скорости по закону:

$$\sqrt{1 - v^2 / c^2} \quad (2.5)$$

5. Скалярное поле может взаимодействовать с частицей, тогда и только тогда, когда масса этой частицы является функцией скаляра. Отсюда следует, что при движении частицы в неоднородном скалярном поле, должна совершаться работа. Это

приводит к добавочной силе, действующей на вещество ввиду его взаимодействия со скаляром».

Р.Дикке внес соответствующие изменения в уравнения Эйнштейна, содержащие скалярное поле, приведенные в работе /80/. В своих работах Р.Дикке приводит оценку уменьшения гравитационной постоянной с увеличением возраста Вселенной. По его мнению, ежегодно  $G$  ослабевает на величину, порядка  $10^{-11}$ .

Приводя некоторые расчеты относительно возможного расширения радиуса Земли Р.Дикке отмечает, что по мере уменьшения  $G$  с течением времени, Земля расширяется. При уменьшении гравитационной постоянной на  $3 \cdot 10^{-11}$  в год, Земля должна расширяться настолько, чтобы длина ее экватора увеличивалась приблизительно на 150 км за млрд. лет. Эта скорость расширения вычислена на основании данных о степени сжатия Земли в настоящее время. Точно также экватор Луны должен увеличиваться примерно на 1 км за млрд. лет /80/. В качестве геологического подтверждения своих оценок, Р.Дикке, также как и его предшественник П.Йордан, приводит гигантский глубинный разлом, вдоль нынешнего западного побережья Африки, в результате чего разошлись африканский и южноамериканский континенты.

Между тем, было бы, на наш взгляд, эффективнее привести гигантскую зону рифтовых разломов в Восточной части Африки и Красное море, где происходят процессы растяжения литосферы в настоящее время. Необходимо учитывать, что в тот период еще не было получено убедительных геофизических данных, которые легли впоследствии в основу теории тектоники литосферных плит, учитывающей наряду с процессами расширения, равные им по масштабам процессы сжатия Земли.

Теллер провел интересный анализ климатических условий на Земле для проверки гипотезы Дирака /81/. В результате своих исследований, он пришел к выводу, что температура на поверхности Земли изменяется как корень четвертой степени от полученной энергии:

$$T_3 \sim (L / r^2)^{1/4} \sim G^{2,25} M^{1,75} \quad (2.6)$$

На основании полученного результата Теллер подсчитал, что если  $M = const$ , то около 300 млн. лет назад температура на поверхности Земли была близка к температуре кипения воды, а, следовательно, в более ранние эпохи - еще выше.

Если же  $M \sim t^2$ , то температура на Земле около 300 млн. лет назад была ниже точки замерзания воды.

Оба результата противоречат научным данным о существовании в то время жизни на Земле.

Вышеописанный расчет основывался на оценке возраста Вселенной 2-3 млрд. лет. Современная оценка дает  $t \approx 20$  млрд. лет. В таком случае данный расчет даст результаты, не противоречащие существованию жизни на Земле 300 млн. лет назад. Между тем, время возникновения жизни на Земле, также отодвигается дальше, на что также указывал Теллер /389/.

Почода и Шварцшильд проанализировали влияние эффектов изменения  $G$  на процесс солнечной эволюции /351/. Они пришли к заключению, что если  $t \leq 1,3 \cdot 10^{10}$  лет, то гипотеза Дирака исключается, так как в этом случае Солнце не могло бы существовать как звезда главной последовательности  $4,5 \cdot 10^9$  лет и прийти в наблюдаемое в настоящее время состояние. Но, если  $t \geq 1,5 \cdot 10^{10}$  лет, то существует некоторое начальное количество водорода, при котором возраст Солнца находится в соответствии с наблюдаемой светимостью. Следовательно, полученные данные не могут ни подтвердить и ни опровергнуть гипотезу Дирака /81/.

В работе проанализированы результаты длительной серии радиолокации Меркурия и Венеры. Их траекторные ошибки порядка 1 км, и предел на возможную скорость изменения  $G$ , установленный ими, равен:

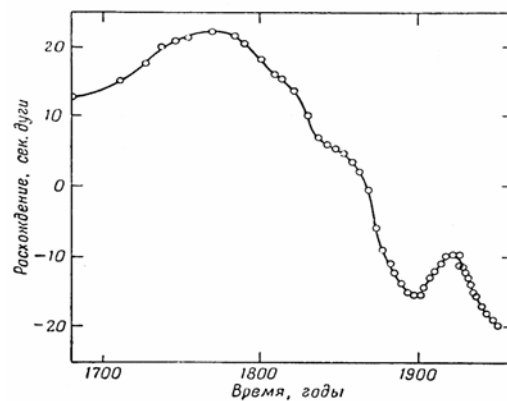
$$|G/G| \leq 4 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1} \quad (2.7)$$

По их предположениям, только продолжение эксперимента в течение пяти лет позволит повысить точность оценки на порядок, без существенного улучшения аппаратуры.

Калинин М.И. и Мельников В.Н. /107/ считают, что идея о временных вариациях констант дала толчок в развитии науки в двух направлениях: 1. Изучение различных физических явлений и процессов с целью проверки гипотез о переменности констант; 2. Развитие теорий, основывающихся на этих идеях. Идея Дирака послужила мощным стимулятором в развитии теории гравитации (классической и квантовой), теории элементарных частиц и квантовой теории поля.

Интересные данные в подтверждение своей теории приводит Р.Дикке, на основе изучения аномалий в движениях Луны и во

вращении Земли. Так он пишет, что ослабление тяготения с течением времени, кроме прочего, должно приводить к постепенному замедлению движения Луны по ее орбите вокруг Земли. Поэтому, фактическое положение Луны должно отличаться от вычисленного в предположении постоянной величины  $G$ . На рис.5 приведена кривая соответствующих расхождений для Луны, полученная на основании телескопических наблюдений за последние 200 лет и используемая Р.Дикке в работе /80/.



**Рис. 5.** Разность наблюдаемой и вычисленной долготы Луны, по данным /80/.

Наблюдаемые на графике флюктуации, по мнению Дикке, связаны с неравномерностью вращения Земли. Он указывает, что общий параболический характер графика отражает постепенное замедление вращения Луны, наряду с замедлением вращения Земли, причиной которых являются приливное взаимодействие Луны с Землей, а также Луны и Земли с Солнцем. В качестве доказательства изменений скорости вращения Земли, Дикке приводит колебания уровня мирового океана /80/. Опираясь на вышеуказанные и другие глобальные геофизические факторы, Р.Дикке, приходит к заключению, об имеющем место фактическом уменьшении гравитационной постоянной во времени.

В 1966 г. Р.Дикке и Х. Голденберг выявили видимую разность угловых размеров экваториального и полярного радиусов Солнца, равную примерно  $0,4''$ , которая могла послужить причиной заметных эффектов.

Так, на основе теории Бранса-Дикке, смещение перигелия, вызванное релятивистскими эффектами, должно составлять  $39''$  в столетие. Остальные  $4''$  объяснялись сплюснутостью Солнца.

Полученные данные Дикке использовал для подтверждения справедливости скалярно-тензорной теории, а не общей теории относительности.

Весьма интересные подтверждения теории Дирака и исследований Дикке получены авторами работы. Ими построена численная теория движения больших планет и Луны на интервале 1715-2000 гг., и проведена обработка, как современных планетных и лунных наблюдений (радиолокационных и лазерных), так и обширных рядов классических наблюдений (меридианных прохождений Меркурия и Венеры по диску Солнца, лунных покрытий), и получены некоторые результаты по экспериментальному обнаружению эффектов ОТО в пределах своих вероятностных ошибок.

Для величины  $G/G$  из совместной обработки радиолокационных наблюдений была получена статистически значащая ненулевая оценка:

$$G/G = (3,7 \pm 0,8) \cdot 10^{-11}/год \quad (2.8)$$

На рис.6 приведены наблюдаемые невязки в долготах планет вследствие вековых вариаций гравитационной постоянной.

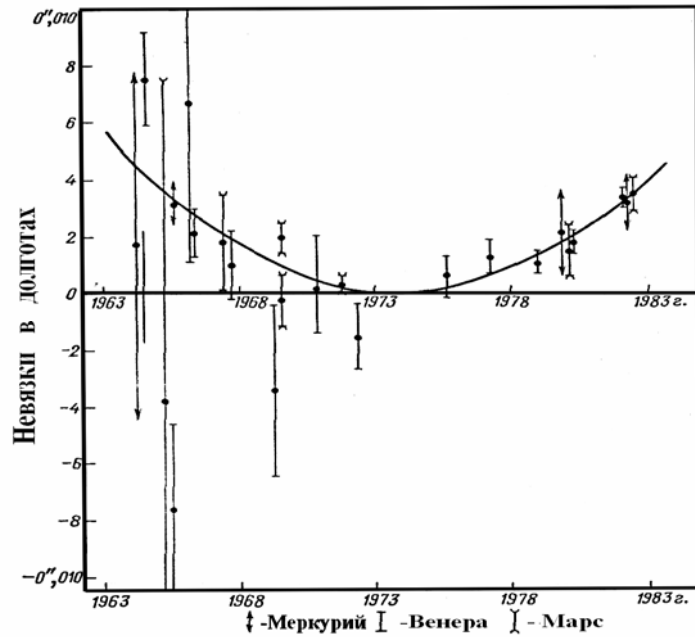
Парабола на рис. 6 соответствует значению  $G/G = 3,7 \cdot 10^{-11}/год$ . Параболический тренд в невязках усматривается довольно уверенно. В результате сопоставления полученных результатов с анализом лунных лазерных наблюдений, авторы работы [7] получают следующую величину:

$$G/G = (-0,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-11}/год, \quad (2.9)$$

что прекрасно согласуется со значениями полученными Дираком и Дикке.

В то же время, в 1973 г. Г.Хилл со своими сотрудниками установил, что разность радиусов солнечного диска составляет всего лишь 1/5 величины, полученной Дикке, т.е. она слишком мала, чтобы вызвать эффекты, предсказанные Брансом-Дикке.

Сотрудник Вашингтонской военно-морской обсерватории Ж. Ван Фдандерн, проанализировал более 8000 наблюдений времени лунных покрытий звезд за период с 1955 по 1980 гг., полученных в Японии и США, а также результаты лазерной локации Луны.



**Рис. 6. Наблюденные невязки в долготах планет вследствие вековых вариаций гравитационной постоянной  $G$  [7].**

Для векового ускорения Луны, он получил величину:

$$n_a = (-23,2 \pm 1,2) \text{ угл.с / (столетие)}^2 \quad (2.10)$$

Вычисляя «чистую» вариацию ускорения, которая может быть объяснена изменением  $G$ , и, интерпретируя этот результат в рамках соответствующей модели, Ж. Ван Фландерн получил [159]:

$$\Delta G_a / G_a = (3,2 \pm 1,1) \cdot 10^{-11} \text{ за год.} \quad (2.11)$$

Другая попытка проверки возможных вариаций  $G$  была сделана группой ученых из Калифорнийского технологического института и Национального управления по авиации и исследованию космического пространства США (НАСА). Исследователи проанализировали 1136 измерений расстояний между станцией дальней космической связи, расположенной на Земле, и спускаемым аппаратом «Викинг» на поверхности Марса.

Наблюдениями был охвачен период с июля 1976 г. по июль 1982 г. Измерения расстояний проводились с точностью 2 м, однако неточности, связанные с задержкой времени при распространении радиосигналов в межпланетной плазме, а также в самой станции слежения и в орбитальном аппарате «Викинг», увеличивают ошибку измерений до 9 м.

Кроме данных «Викинга», были использованы результаты измерений расстояний до космического аппарата «Маринер – 9», находящегося на орбите вокруг Марса (с 1971 по 1973 гг.), а также радиолокационных измерений расстояний до поверхностей Меркурия и Венеры (с 1964 по 1977 гг.), лазерных измерений расстояний до Луны (с 1969 по 1970 гг.), оптических измерений положений Солнца и планет (с 1911 по 1979 гг.).

На основе этих данных была построена модель Солнечной системы, которая учитывала движение не только планет, но и астероидов. Были рассмотрены варианты этой модели с изменяющимися  $G$  и  $M/159$ .

На основе решения данной задачи для Солнечной системы вычислялись: начальные значения элементов орбит Луны и планет; массы планет; массы трех астероидов, которые оказывают наибольшее влияние на орбиту Марса; средние плотности остальных астероидов; параметры  $\Delta G_a/G_a$ ,  $\Delta (GM)_a / (GM)_a$  и некоторые другие величины.

Было получено, что:

$$\Delta G_a/G_a = (0,2 \pm 0,4) \cdot 10^{-11} \text{ за год}, \quad (2.12)$$

$$\Delta (GM)_a / (GM)_a = (0,1 \pm 0,8) \cdot 10^{-11} \text{ за год}. \quad (2.13)$$

Таким образом, по мнению В.К.Милюкова, комплекс доступных астрономических наблюдений Солнечной системы, дает ограничения вариаций величин  $G_a$  и  $(GM)_a$  более жесткие, чем предсказанные П.Дираком ( $\Delta G/G \sim 5 \cdot 10^{-11}$  за год) /44/.

В 1964 году Ф.Хойлом и Дж.В.Нарликарсом /165, 256/ была высказана теория, основанная на принципе Маха, модифицированная затем в 1971 году. Согласно этой теории, масса частицы определяется воздействием удаленных частиц. Впоследствии они дополнили эту идею тем, что удаленные частицы могут давать как положительный, так и отрицательный вклад в массу отдельной частицы. Если бы Вселенная состояла из

различных областей, составляющих как положительный, так и отрицательный вклад в массу, то на границе, где положительный и отрицательный вклады взаимно компенсировались бы, массы частиц должны были бы равняться нулю.

В соответствии с рассуждениями Хойла, в процессе расширения Вселенной мировые линии частиц (галактик) уходили бы в сторону от этой границы (с нулевым значением масс частиц), в результате чего, взаимная компенсация положительного и отрицательного вкладов нарушилась бы, и массы частиц начали бы возрастать. Учитывая, что радиус атома определяется массами его составных частей, то увеличение массы привело бы к уменьшению размеров атомов. Следовательно, если бы фундаментальная единица масштаба длин - атом сократилась, то увеличение расстояний между галактиками было бы только кажущимся, а на самом деле они оставались бы неизменными.

Теория Хойла-Нарликара объясняет наблюдаемое красное смещение далеких галактик, как следствие изменения массы атомов. Чем меньше масса атома данного вида, тем больше должна быть длина волны испускаемого им излучения. Иными словами, чем дальше расположены атомы, тем больше красное смещение испускаемого ими излучения /256/.

В соответствии с теорией Хойла-Нарликара, мы не можем принимать прямое излучение от галактик, которые, возможно, существуют за границей, где масса частицы равна нулю, поскольку такие частицы с нулевыми массами будут интенсивно поглощать это излучение.

К числу работ, требующих необходимости модификации ОТО можно отнести исследования А.Д.Линде /142/, в которых показано, что учет взаимодействия гравитационного поля с материей приводит к сильной модификации гравитационной постоянной в ранней Вселенной, вплоть до изменения ее знака. В случае, когда плотность фотонов во Вселенной, больше плотности нейтрино (по мнению автора гипотезы, такая возможность представляется наиболее вероятной), основной вклад в зависимость эффективной гравитационной постоянной от времени будут давать температурные поправки.

В своей работе, посвященной калибровочной теории и переменности гравитационной постоянной в ранней Вселенной, А.Д.Линде показывает, что учет взаимодействия гравитационного поля с материей приводит к сильной модификации гравитационной



постоянной в ранней Вселенной, вплоть до изменения ее знака (А.Д.Линде, 1979).

В последние годы интерес к повышению точности гравитационной постоянной существенно возрос.

Как известно, в квантовой электродинамике существует так называемый эффект поляризации вакуума, из-за которого на малых расстояниях  $r \ll h/m_e c$  ( $m_e$  – масса электрона) в законе Кулона возникает добавочный логарифмический член. Американский физик Д.Лонг предположил, что аналогичный механизм поляризации вакуума действует и в гравитации: вблизи некоторого локализованного источника массы изменяется плотность «массы вакуума», что вызывает искажение ньютоновской силы гравитационного взаимодействия. Лонг описывает это искажение на обычных лабораторных расстояниях эффективной гравитационной константой:

$$G(r) = G_0 [1 + \lambda \ln(r / 1\text{см})] \quad (2.14)$$

где  $G_0$  – гравитационная постоянная на очень малых расстояниях,  $\lambda$  – некоторый постоянный коэффициент (коэффициент Лонга).

Д.Лонг проанализировал результаты лабораторных экспериментов по определению абсолютного значения гравитационной постоянной, сделанных с 1894 по 1969 гг. и пришел к выводу о недостаточности точности этих экспериментов для исключения или подтверждения возможности зависимости  $G$  от расстояния между взаимодействующими массами /335/.

В 1976 году Лонг /335/ провел уникальный эксперимент. С помощью крутильных весов он определял момент силы притяжения между пробной танталовой массой, подвешенной на одном плече коромысла весов, и притягивающей массой, выполненной в виде цилиндрического кольца (поле на оси кольца более равномерно, чем у шара или цилиндра). При этом, две притягивающие массы поочередно помещались на разных расстояниях от пробного тела – малое кольцо на расстоянии 4,5 см, а большое – 30 см. В результате эксперимента Лонг установил, что коэффициент  $\lambda$  в предложенной им эмпирической формуле равен  $(200 \pm 40) \cdot 10^{-5}$ . Так появилось сообщение об экспериментальном обнаружении зависимости гравитационной

постоянной  $G$  от расстояния между взаимодействующими массами /44/.

Впоследствии многие ученые (Р.Сперо, М.Ньюман, В.Панова, В.Фронтава, А.Кук, И.Чен, А.Мезерелла и др.) пытались повторить эксперимент Лонга с использованием традиционных крутильных весов. Но, учитывая низкую точность измерений, многие авторы не смогли обнаружить величину наблюдаемого Лонгом эффекта.

Между тем, эксперименты проведенные Кавендишской лабораторией, позволили обнаружить определенный эффект Лонга, однако, в диапазоне лабораторных расстояний зависимость  $G(r)$  ими не выявлена.

Так, в работах Лонга (Long, 1974, 1976) предсказывается увеличение гравитационной постоянной при увеличении расстояния между взаимодействующими массами, а в работах Фюжи (Fujii, 1971) - ее значение падает с расстоянием /335/.

Существуют также две точки зрения относительно зависимости  $G$  от места измерения. Согласно одной из них, основанной на подземных измерениях силы тяжести (Stacey, 1981, 1984) гравитационная постоянная возрастает на 1% на глубине 1 км по сравнению с ее значением на поверхности Земли. В соответствии с другой точкой зрения (Ляховец В.Д., 1983 /144/) величина гравитационной постоянной должна уменьшаться с глубиной. Прямые измерения гравитационной постоянной на глубине 30 м (Карагиоз О.В. и др., 1981 /109/) привели к заниженному, приблизительно на 1%, значению гравитационной постоянной, относительно наиболее точных ее измерений на поверхности Земли. Между тем, на наш взгляд, проблема переменности  $G$  лежит вне плоскости повышения точности измерений или местоположения измерений, а в принципиальном пересмотре самих попыток интерпретации отклонений  $G$ .

В.Кануто в своей теории обобщил идею Дирака о неэквивалентности атомных и гравитационных часов и переменности  $G$ . Он считал, что в каждой теории, в том числе и в ОТО, фундаментальную единицу (например, единицу длины) получают в результате некоторой измерительной процедуры. Любой измерительный инструмент, являясь физической системой, подчиняется определенным физическим законам. Например, если в качестве эталона берется расстояние между небесными телами, мы будем иметь гравитационную (или эйнштейновскую) единицу длины. Если мы используем атомные инструменты, которые подчиняются законам квантовой электродинамики, мы получим

атомную единицу длины. Не из чего не вытекает, что эти единицы будут кратны друг другу. Следовательно, если  $G$  является константой в одной системе единиц, это не означает ее постоянство в другой /159/.

В соответствии с теорией В.Кануто, уравнения ОТО Эйнштейна, должны быть справедливы только в гравитационных единицах. Для получения уравнений движения в атомных единицах, все размерные величины, входящие в уравнения Эйнштейна, должны быть соответствующим образом преобразованы.

Весьма интересными представляются идеи К.П.Станюковича об изменении гравитационной постоянной во времени, но в противоположность теории Дирака, Дикке и других, речь идет не об уменьшении  $G$  с возрастом Вселенной, а об увеличении /209/.

По мнению Станюковича, процесс «творения» и гравитационные взаимодействия всех частиц, может описывать общая теория относительности, но с учетом лишь того, что гравитационная постоянная возрастает во времени. «Наша Вселенная» может представлять собой некоторое сильно нестационарное неевклидово, по метрике, образование в бесконечной Вселенной, метрика которой, в целом, может быть более близкой к евклидовой.

Дальнейшее развитие теории Станюковича привели его к следующему основополагающему выводу, что связь между энергиями и числом частиц различных классов носит характер соотношений для флуктуаций, что позволяет говорить о термодинамическом оправдании иерархии частиц. На основании двух гипотез, одна из которых связана с идеологией ОТО, а другая - с квантовой теорией, и, вводя два определения, можно логично получить соотношения, позволяющие вычислить все основные характеристики микро- и макромира /210/.

Эволюция взглядов на метрологические аспекты регистрации  $G$  привела к весьма неожиданным результатам. Так, в работе /211/ К.П.Станюкович отмечает следующее: «В разработке проблемы вариаций констант в последние годы достигнут большой прогресс. Прежде всего, в наших работах и работах ряда зарубежных авторов предложена концепция о том, что вариации безразмерных констант не носят абсолютного характера, а зависят от способа измерения – использования эталонов, систем единиц и приборов, принцип действия которых основан на определенном типе взаимодействия.

В настоящее время нет единой теории всех четырех известных типов взаимодействия. Есть теория электрослабых взаимодействий и отдельные модели с учетом сильных. Гравитационные взаимодействия можно подключать лишь на классическом уровне, когда в правую часть уравнений Эйнштейна вводят тензор энергии-импульса других полей и их взаимодействие. Поэтому современные высокоточные измерения строятся на каком-то отдельном типе взаимодействия, например электромагнитном, - на основе наиболее полно разработанной квантовой электродинамики. В принципе, можно определить эталоны, ввести систему единиц, связанную с другими взаимодействиями, например с гравитационными. При этом возникают разные эталоны, основанные на динамике данного взаимодействия, например атомный эталон времени-частоты – атомная (электродинамическая) секунда, определяемая по частоте перехода в атоме  $Cs$ , и гравитационная секунда, вычисляемая по периоду движения Земли вокруг Солнца. Ниоткуда не следует, что эти единицы, определенные через различные взаимодействия, а потому и через характерные для них константы, синхронизированы во времени и в пространстве. Поэтому, возникает принципиальная возможность их рассогласования и эволюции относительно друг друга, в частности, с темпом, задаваемым эволюцией Вселенной. Вот почему при измерениях в атомной системе возможны вариации гравитационной постоянной в соответствии с ГБЧ Дирака, а при измерениях, осуществляемых в гравитационной системе, мы могли бы получить эволюцию масс всех частиц» /212/.

Проблема постоянства  $G$  тесно переплетена с возможными вариациями других фундаментальных констант, таких как отношение массы электрона к массе протона. Так, Домнин Ю.С. и другие (Домнин, 1986) обнаружили изменение частот квантовых стандартов оптического и радиодиапазонов за период времени 4,7 года, связав это изменение с возможным изменением со временем фундаментальных физических констант, в частности, с непостоянством отношения массы электрона к массе протона,  
 $\mu = m_e/m_p$ .

Между тем, в работе /149/ на основе анализа длин волн линий водорода, наблюдаемого в спектре квазара  $PKS\ 0528-250$ , получена оценка верхнего предела гипотетического изменения отношения масс электрона и протона  $\mu = m_e/m_p$  на космологической шкале времени. Показано, что верхний предел скорости изменения:

$\mu$  равен  $|\mu/\mu| \leq 3 \cdot 10^{-13} \text{год}^{-1}$ . Это на два порядка ниже значения:

$\mu/\mu = (2,3 \pm 0,3) \cdot 10^{-11} \text{год}^{-1}$ , соответствующего результатам лабораторных измерений, проведенных Домнином Ю.С. и др. в 1986 г.

На существующую взаимосвязь между различными фундаментальными постоянными указывает в своей работе и И.Л.Розенталь /191/. Им рассматривается взаимосвязь между безразмерными константами четырех известных взаимодействий:

- электромагнитное взаимодействие:  $\alpha_e = e^2 / hc;$  (2.15)

- гравитационное взаимодействие:  $\alpha_g = Gm^2 / hc;$  (2.16)

- слабое взаимодействие:

$$g_F = 10^{-49} \text{эрг} \cdot \text{см}^3 \text{ - константа Ферми;} \quad (2.17)$$

- сильное взаимодействие:  $\alpha_s = g_s^2 / hc;$  (2.18)

Проведя интересные исследования устойчивости микросистем и численных значений фундаментальных постоянных, И.Р.Розенталь приходит к интересным заключениям и предлагает несколько необычную, но, на наш взгляд, красивую, гипотезу о возможности существования множества Вселенных /192/. Он отмечает: «Таким образом, фундаментальные постоянные сохраняют постоянные значения с большой точностью. Поэтому гипотеза Дирака не согласуется с экспериментальными данными. Тогда, по-видимому, остается последняя альтернатива: либо существует множество Вселенных со своими физическими законами и сочетаниями фундаментальных постоянных, либо наша Вселенная, прошла через множество циклов, в начале которых сочетание фундаментальных постоянных меняется. В нынешнем цикле осуществляется комбинация констант, благоприятная для существования основных состояний». Гипотеза о существовании многих Вселенных, была независимо выдвинута на основе соображений, изложенных выше, а также некоторых космологических аргументов.

Хотя эта гипотеза кажется неожиданной, она не противоречит современному представлению о мире. Сейчас

отсутствуют физические аргументы в пользу единственности нашей Вселенной. Это утверждение верно, с одной оговоркой. Если Вселенные не взаимодействуют между собой, то нет никаких физических проблем. Если взаимодействие, возможно, то тогда возникает вопрос об их сосуществовании при различных наборах фундаментальных постоянных. Чтобы пояснить возникающую проблему, мы разобьем фундаментальные постоянные на три класса: безразмерные константы  $\alpha$ , квантовые числа элементарных частиц:  $e$ ,  $mp$ ,  $me$  и т.д. и размерные фундаментальные константы:  $G$ ,  $h$  и  $c$ .

Представление о взаимодействии объектов с одинаковыми физическими законами, но с различными фундаментальными постоянными двух первых классов – тривиально. Однако, контакт объектов с двумя различными значениями  $c$  противоречит теории относительности, с двумя различными значениями  $G$  – противоречит ОТО. Нелегко (а может быть и невозможно) построить непротиворечивую квантовую механику с двумя различными значениями  $h$ . По-видимому, эта проблема (на уровне современных знаний) теряет свою остроту, если идет речь об изменении констант при прохождении Вселенной через сингулярность» /191/.

И.Р.Розенталь чрезвычайно осторожно излагает свою гипотезу о возможности существования множества Вселенных, при этом делая целый ряд различных оговорок: «Хотя гипотеза о существовании многих Вселенных кажется естественной, она противоречит укоренившемуся со времени Ньютона девизу: гипотез не измышлять. А если и нарушать это правило, то принято предлагать метод непосредственной проверки гипотезы. Мы не знаем (и, возможно, никогда не узнаем), как связаться с другими Вселенными. Все же можно в пользу этой гипотезы выдвинуть некоторые косвенные аргументы, основанные на принципе целесообразности» /191/.

В своей работе /59/ Гейзенберг сформулировал нелинейное уравнение, содержащее единственную константу, имеющую размерность длины. Ученый надеялся, что это уравнение, станет основой для создания единой теории и позволит установить связи, между различными фундаментальными постоянными. В рамках этой теории было получено соотношение:

$$\alpha_e \sim 0,4 (m_\pi/m_p)^2 \sim 1/120, \quad (2.19)$$

незначительно отличающееся от константы  $\alpha_e$ . Это соотношение является характерным примером зависимости между фундаментальными постоянными, не связанной с принципом целесообразности. Хотя теория Гейзенберга сыграла выдающуюся роль в стимулировании создания единой теории, развитие последней пошло по иному пути /59/. Нам хотелось бы привести дословно чрезвычайно интересные, на наш взгляд, заключения И.Л.Розенталя, касающиеся проблемы множественности Вселенных /192/: «По существу, сейчас можно определенно утверждать, что, изменяя одну из фундаментальных постоянных при неизменности остальных, мы нарушим условия существования основных состояний. Особенно критично существование основных состояний к значению констант  $\alpha_e, \alpha_g, \alpha_s$ .

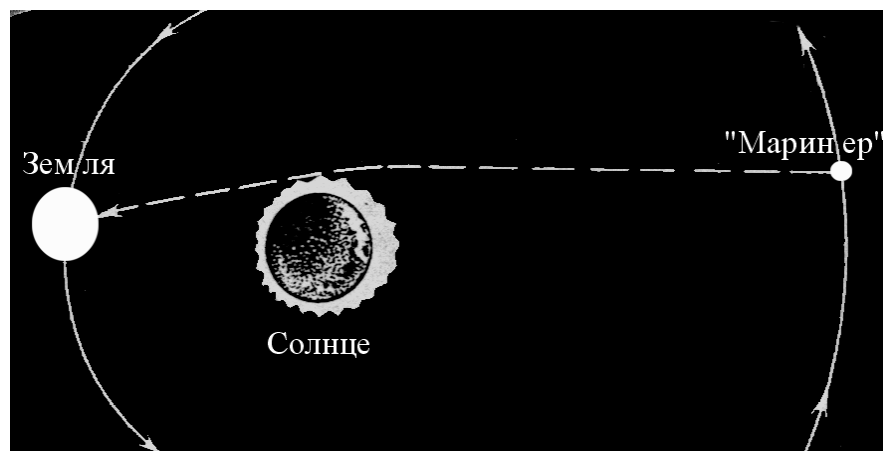
Далее, возникает вопрос: нельзя ли, изменяя одновременно две константы, снова получить оптимальные условия для существования основных состояний? Такое допущение кажется маловероятным, поскольку константы входят во многие соотношения, определяющие существование основных состояний, - соотношения, которые будут нарушены при изменении второй константы. Едва ли сейчас можно показать, что одновременное «удачное» изменение всех констант в пределах 1-2 порядков не сможет обеспечить существование основных состояний, имеющих, впрочем, иные свойства, чем в нашей Вселенной.

Отметим, что создание физической картины Вселенных с набором фундаментальных постоянных, существенно отличающимся от совокупности фундаментальных постоянных в нашей Вселенной, является довольно увлекательной задачей.

Необходимость (в указанном смысле) набора фундаментальных постоянных ставит исключительно серьезный вопрос: почему природа выбрала именно этот набор? Пока наиболее вероятен ответ: существует множество Вселенных, и этот выбор имеет «случайный» характер. Является ли этот ответ окончательным, покажет дальнейшее развитие единой теории поля. Опровергнуть его можно путем полного осуществления конечной цели программы Гейзенберга: связать все фундаментальные постоянные между собой на основе одного параметра.

Другой возможной альтернативой принципу целесообразности явилась бы теория, в рамках которой численные значения всех фундаментальных постоянных определялись бы исключительно размерными константами  $G, h, c$ . Однако, эта идея, сформулированная еще Планком, не нашла конкретного

воплощения» /59/. По мнению авторов работы /192/, гравитационная постоянная все же остается константой, по меньшей мере, ее вариации существенно ниже прогнозируемых. В качестве аргумента они приводят результаты исследований межпланетных космических станций «Маринер-6» и «Маринер-7», которые, пройдя мимо Марса, превратились в искусственные спутники Солнца. Когда весной 1970 г. станции оказались с другой стороны Солнца по отношению к Земле, их направленное на Землю излучение проходило в непосредственной близости от Солнца (на расстоянии  $< 1$  млн км от его центра), где силы тяготения достаточно велики (радиус Солнца 700 тыс.км). Согласно общей теории относительности, в присутствии гравитационного поля Солнца, пространство-время негалилеево и пространство неевклидово. Соответственно этому, радиолуч, проходящий вблизи края солнечного диска (рис.7.), для наблюдателя на Земле должен испытывать релятивистскую задержку во времени, являющуюся результатом замедления времени и удлинения расстояний. Время прохождения сигнала от спутника Солнца до Земли увеличивается, в этом случае, по общей теории относительности на 200 мксек. Современные методы радиоастрономии позволяют зарегистрировать этот релятивистский избыток /64/.



**Рис. 7.** Радиолуч (пунктир), испущенный искусственным спутником Солнца («Маринер») и проходящий вблизи края солнечного диска, для наблюдателя на Земле испытывает не только искривление, но и дополнительную релятивистскую задержку во времени, связанную с замедлением времени и с удлинением расстояния в гравитационном поле Солнца /64/.



«Приборы, расположенные на зондах «Маринер-6» и «Маринер-7», запускались по команде с Земли, положение приборов в пространстве определялось с очень высокой точностью – до 30 м на расстоянии 400 млн. км. Анализ по времени и частоте радиосигналов, испускаемых «Маринером-6» и «Маринером-7», проведенный радиоастрономами станции Голдстоун, позволил измерить релятивистский избыток с точностью до 2-3 %. С этой точностью измеренная величина релятивистской задержки совпала с эйнштейновским значением (200 мксек). Теория Бранса-Дикке, в которой предполагается слабое непостоянство гравитационной постоянной, предсказывает для релятивистской задержки величину, на 7% меньшую – 185 мксек. Таким образом, результаты этого эксперимента позволяют либо отвергнуть теорию Бранса-Дикке, либо уменьшить допустимую величину возможных эффектов, связанных с этой теорией» /65/.

Несмотря, на столь категоричное заключение авторов работы /65/ в пользу постоянства  $G$ , продолжают публиковаться результаты научных исследований и экспериментальных данных, свидетельствующие о существенных вариациях измеренных значений гравитационной постоянной, значительно превышающих погрешность измерений. Так, в 1999 году группа российских ученых: Измайлов В.П., Карагиоз О.В. и Пархомов А.Г., опубликовали свои исследования вариаций результатов измерений гравитационной постоянной /103,110/, несколько модернизировав классический опыт Кавендиша.

Определения  $G$  проводилось по величине периода крутильных колебаний коромысла с закрепленными на его концах пробными массами. Коромысло подвешивалось на тонкой нити в вакуумной камере, а специальная система подавляла колебания, отличные от крутильных. Вне вакуумной камеры располагались эталонные массы - шары весом около 4 кг. Эталонные массы перемещались электроприводом по заданной программе и фиксировались в определенных положениях с погрешностью около 1 мкм.

Для снижения возможных ошибок, связанных с магнитным полем, установка была изготовлена из немагнитных материалов (бериллиевая бронза, алюминий, нержавеющая сталь, медь); вокруг вакуумной камеры размещался магнитный экран из пермаллоя. Определение амплитуды и периода колебаний производилось при помощи оптоэлектронной системы.

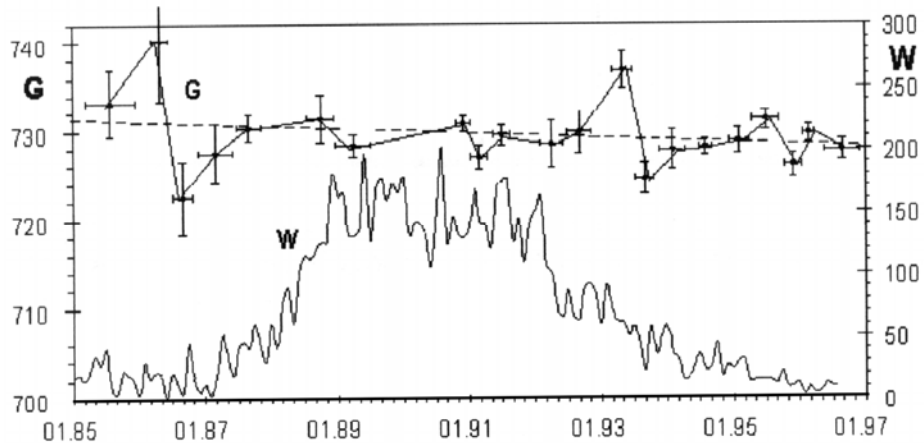
С 1985 по 1997 гг. авторами /103,109,110/ было выполнено около 40 тысяч измерений. Указанные ученые получили усредненное значение по всем измерениям  $6,6729 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}$ . Однако, по мнению самих же авторов, судить о том, насколько точно это значение соответствует «истинной» величине гравитационной постоянной нельзя, поскольку усреднения по фрагментам массива полученных значений  $G$  дают достоверно различающиеся значения.

Так, измерения с 19.10.95 по 25.01.96 дали:

$G = (6,67263 \pm 0,00013) \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}$ , тогда как с 21.03.93 по 13.07.93 было получено значение:

$G = (6,67369 \pm 0,00020) \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}$  (указано стандартное отклонение среднего значения).

Полученные вариации  $G$  авторы /109-112/ сравнивают с фазами роста и спада солнечной активности (чисел Вольфа), рис.8.

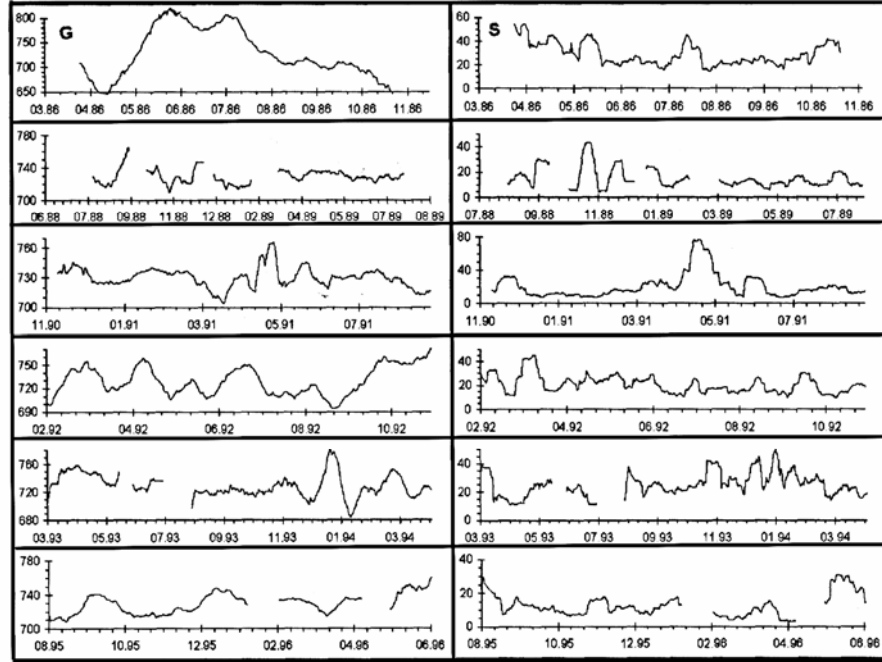


**Рис. 8.** Результаты измерений гравитационной постоянной  $G$ , усредненные по отдельным массивам и средне-месячные значения чисел Вольфа  $W$ /103/.

Представленные на рис. 8 данные разбиты на 21 массив близких по времени измерений. Показаны значения  $G$ , усредненные по каждому из этих массивов.

Горизонтальная черта соответствует продолжительности массива, вертикальная — стандартному отклонению среднесуточных значений.

Ось  $G$  – значения  $G$ , начиная со второй цифры после запятой, так как первые две цифры остаются неизменными.



**Рис. 9.** Показано скользящее 15-суточное усреднение, полученное для отдельных фрагментов, а также стандартное отклонение  $S$  пятнадцати соседних среднесуточных значений  $G/103,109/$ .

По мнению авторов /103,109-112/, обращает на себя внимание совпадение периодов наибольшей нестабильности полученных значений  $G$  (87-88 и 92-93 годы) с фазами роста и спада солнечной активности. В максимумах и минимумах солнечной активности (89-91 и 94-96 годы) результаты более стабильны. Повышенный разброс результатов в 85-86 годах связан с несовершенством ранних измерений.

Более детальная информация о результатах  $G$  представлена на рис.9.

На некоторых участках изображенных кривых можно заметить отчетливую ритмичность. Взаимосвязь  $G$  и  $S$  очевидностью не проявляется.

Анализ ритмичности в вариациях  $G$  привел вышеуказанных исследователей к заключению о существовании достаточно отчетливых ритмов в вариациях гравитационной постоянной с периодами 85, 53, 39, 23, 21, 17 и 9 суток.

Эти же вариации (за исключением 39-суточного) авторами /103,112/ обнаружены в вариациях солнечной и геомагнитной активности. Таким образом, анализ цикличности  $G$  приводит авторов к предположению о весьма высокой вероятности связи вариаций измерений гравитационной постоянной с солнечной и геомагнитной активностью.

По мнению авторов /102,103,109-112/, наличие ритмов с периодами 28-30 и 14-15 суток, близкими к сидерическому и синодическому лунным месяцам (27,3 и 29,5 суток) и их половине, указывает на то, что результаты измерений  $G$  связаны с положением Луны относительно звезд и/или с лунными фазами (взаимным положением Луны, Земли и Солнца).

Между тем, подводя итоги своих исследований, вышеуказанные ученые пришли к следующему заключению: «Анализ вариаций результатов измерений гравитационной постоянной показывает, что они связаны с целым рядом космических и геофизических явлений. Разумно предположить, что этот анализ выявляет не изменение величины физической константы - гравитационной постоянной, а действие каких-то не учитываемых исследователями факторов, прямо или косвенно влияющих на результаты измерений. Многолетние поиски этих факторов не привели к успеху /76/. Проведенные исследования показали, что изменения геомагнитного поля, нестабильность температуры и атмосферного давления, потоки остаточного газа в вакуумной камере, изменения наклона установки не могут привести к наблюдаемым эффектам. Вариации гравитационного поля, связанные с изменением взаимного положения Земли, Луны и Солнца слишком малы для непосредственного ощутимого влияния на результаты измерений, но можно предположить их косвенное проявление, например через микросейсмы. Исследование эффектов, связанных с микросейсмами, является весьма сложной задачей. Теоретически выяснена принципиальная возможность их влияния на результаты измерений величины  $G$ , однако вопрос о том, является ли именно этот фактор главным, остается пока открытым» /112/. Вышеприведенное заключение, в какой-то степени отражает растерянность авторов слишком большими отклонениями  $G$ , существенно превышающими погрешность измерений. Несмотря

на попытку связать наблюдаемые временные вариации  $G$  с различными космическими факторами, авторы приходят к заключению, что они не могут являться причиной столь значительных отклонений.

Ниже приводится *таблица 2.3* экспериментальных значений гравитационной постоянной  $G$ , полученной в различные годы разными авторами, начиная с опытов Генри Кавендиша в 1798 г. и по 1999 г. (Мировой Центр Данных по физике твердой Земли /Карагиоз О.В., Измайлов В.П./109/).

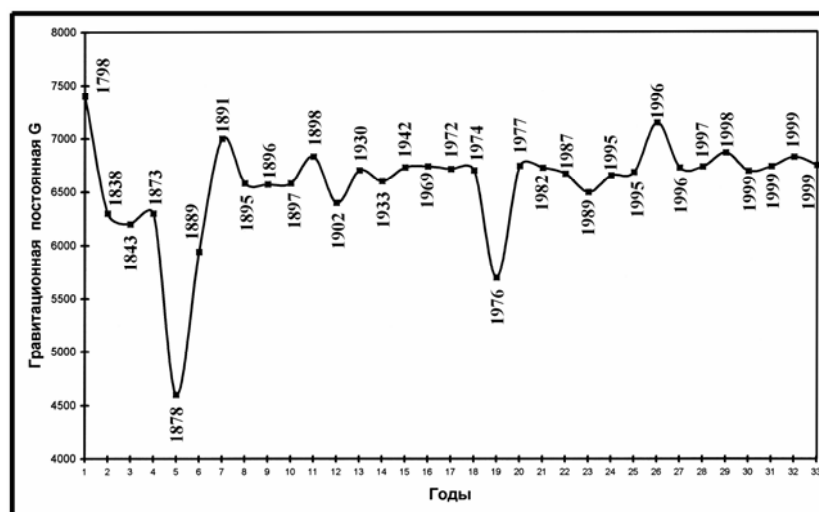
*Таблица № 2.3*

Авторы	Год	Страна	Значение $G$ , $10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{ м}^2 \text{ кг}^{-2}$	Поряд- ковый номер
Cavendish H.	1798	Англия	$6,74 \pm 0,05$	1
Reich F.	1838	Германия	$6,63 \pm 0,06$	2
Baily F.	1843	Англия	$6,62 \pm 0,07$	3
Cornu A., Baille J.	1873	Франция	$6,63 \pm 0,017$	4
Jolly Ph.	1878	Германия	$6,46 \pm 0,11$	5
Wilsing J.	1889	Германия	$6,594 \pm 0,015$	6
Poynting J.H.	1891	Англия	$6,70 \pm 0,04$	7
Boys C.V.	1895	Англия	$6,658 \pm 0,007$	8
Eotvos R.	1896	Венгрия	$6,657 \pm 0,013$	9
Brayn C.A.	1897	Австрия	$6,658 \pm 0,002$	10
Richarz F. & Krigar-Menzel C	1898	Германия	$6,683 \pm 0,011$	11
Burgess G.K.	1902	Франция	$6,64 \pm 0,04$	12
Heyl P.R.	1930	США	$6,670 \pm 0,005$	13

Zaradniecek J.	1933	Чехослов.	$6,66 \pm 0,04$	14
Heyl P., Chrzanowski P.	1942	США	$6,673 \pm 0,003$	15
Rose R.D. et al.	1969	США	$6,674 \pm 0,004$	16
Facy L., Pontiki C.	1972	Франция	$6,6714 \pm 0,0006$	17
Renner Ya.	1974	Венгрия	$6,670 \pm 0,008$	18
Koldewyn W., Faller J.	1976	США	$6,57 \pm 0,17$	19
Сагитов М.У. и др.	1977	СССР	$6,6745 \pm 0,0008$	20
Luther. G., Towle W.	1982	США	$6,6726 \pm 0,0005$	21
Boer H., Haars H Michaelis W.	1987	Германия	$6,667 \pm 0,0007$	22
Saulnier M.S., Frisch D.	1989	США	$6,65 \pm 0,09$	23
Fitzgerald M.P., Armstrong T.R.	1995	Новая Зеландия	$6,6656 \pm 0,0009$	24
Walesch H., Meyer H., Piel H Schur J.	1995	Германия	$6,6685 \pm 0,0011$	25
Michaelis W., Haars H., Augustin R.	1996	Германия	$6,7154 \pm 0,0008$	26
Карагиоз О.В., Измайлов В.П.	1996	Россия	$6,6729 \pm 0,0005$	27
Bagley C.H., Luther G.G.	1997	США	$6,6740 \pm 0,0007$	28

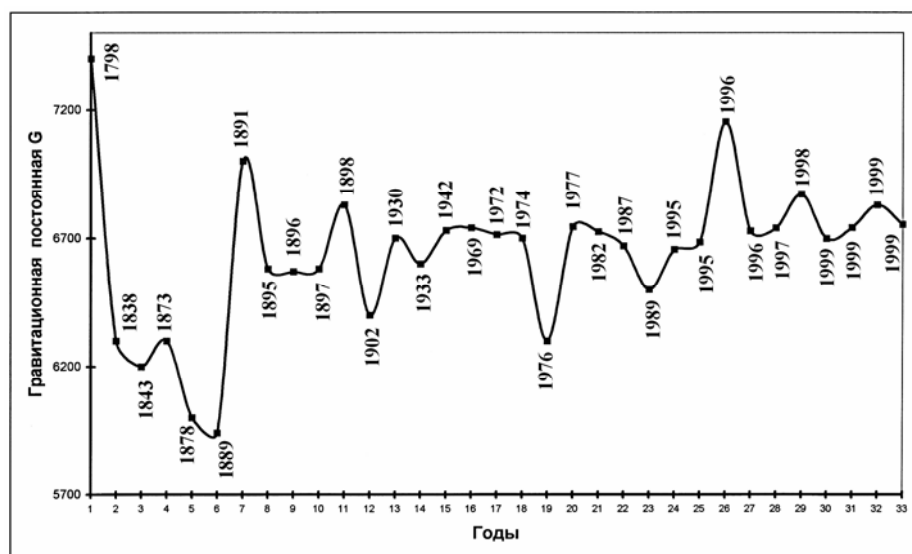
Schwarz W., et al.	1998	США	$6,6873 \pm 0,0094$	29
Luo J., Hu Z.K., Fu X.H, Fan S.H Tang M.X.	1999	Китай	$6,6699 \pm 0,0007$	30
Fitzgerald M.P., Armstrong T.R.	1999	Новая Зеландия	$6,6742 \pm 0,0007$	31
Richman S.J., Qunn T.J., Speak C.C., Davis R.S.	1999	Англия	$6,6830 \pm 0,0011$	32
Nolting F., Schu J., Schlamminger S., Kundig W.	1999	Швейцария	$6,6754 \pm 0,0015$	33

Для наглядности разброса значений  $G$  приведенных в таблице 2.3 и полученных разными авторами в разные годы нами был построен график (рис.10.)



**Рис. 10. График разброса значений  $G$  приведенных в таблице 2.3 и измеренных разными авторами в разные годы. По оси  $Y$  указаны значения  $G$ , начиная с первого знака после запятой; По оси  $X$  указаны порядковые номера измеренных значений  $G$ , приведенных в таблице 2.3.**

Приведенный график отчетливо показывает существующий разброс в значениях  $G$ , полученных разными исследователями, начиная с Генри Кавендиша. Между тем, корректность значений  $G$  измеренных в 1878 г. и в 1976 г. вызывает сомнение, в связи с чрезвычайно высоким отклонением. Исходя из вышеизложенного, нами эти два значения были аппроксимированы и им были присвоены, на наш взгляд, более реальные величины. После отбраковки этих двух точек, был повторно построен график разброса значений  $G$  (рис.11.).



**Рис. 11. График разброса значений  $G$  приведенных в таблице 2.3 и измеренных разными авторами в разные годы (после отбраковки значений  $G$ , измеренных в 1878 и 1976 гг.).**

Как видно из данного графика, вряд ли вызывает сомнение достоверность вариаций гравитационной постоянной. Между тем, данный график следует рассматривать исключительно как демонстрационный, и он, к сожалению, не может быть использован для серьезного последующего анализа, в связи с недостаточной представительностью данных.



Для детальных и глубоких исследований вариаций  $G$  необходим массив информации, полученной с определенной установленной периодичностью, с помощью одного и того же или, по меньшей мере, идентичного измерительного прибора. При этом, результаты измерений должны быть статистически достоверными, с учетом погрешностей приборов и возможного влияния внешних факторов.

Указанным условиям, на наш взгляд, полностью соответствует массив экспериментально измеренных значений  $G$  с 1985 по 2000 годы, созданный О.В.Карагиозом и В.П.Измайловым и помещенный в Мировом Центре Данных по физике твердой Земли.

Ниже приводится таблица 2.4, в которой приведены усредненные за год значения  $G$  с 1985 по 2000 годы.

Таблица № 2.4

№№	Годы	Количество измерений	$G, 10^{-11}$ $H \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$
1	1985	2140	6,6730
2	1986	5050	6,6730
3	1987	2496	6,6729
4	1988	2643	6,6728
5	1989	3531	6,6730
6	1990	4287	6,6728
7	1991	4559	6,6732
8	1992	6694	6,6728
9	1993	8046	6,6729
10	1994	2362	6,6727
11	1995	5927	6,6729
12	1996	4996	6,6729
13	1997	5015	6,6730
14	1998	6726	6,6729
15	1999	3673	6,6729
16	2000	4413	6,6729

На основании значений  $G$  приведенных в таблице 2.4 нами был построен график вариаций  $G$  с 1985 по 2000 годы, приведенный на рис.12.

Как отчетливо видно из приведенного графика (рис.12.), в течение 16 лет, за период с 1985 по 2000 годы гравитационная

постоянная  $G$  испытывала существенные вариации, значительно превышающие погрешность измерительного прибора. Данная кривая является статистически достоверной и корректной и, на наш взгляд, отображает реальные изменения измеренных значений  $G$ .

В настоящем разделе мы не будем останавливаться на детальном анализе наблюдаемых вариаций, а только лишь отметим, что, как отчетливо наблюдается на графике, кривая вариаций  $G$  имеет ярко выраженный волновой характер изменений на фоне прямолинейного тренда.

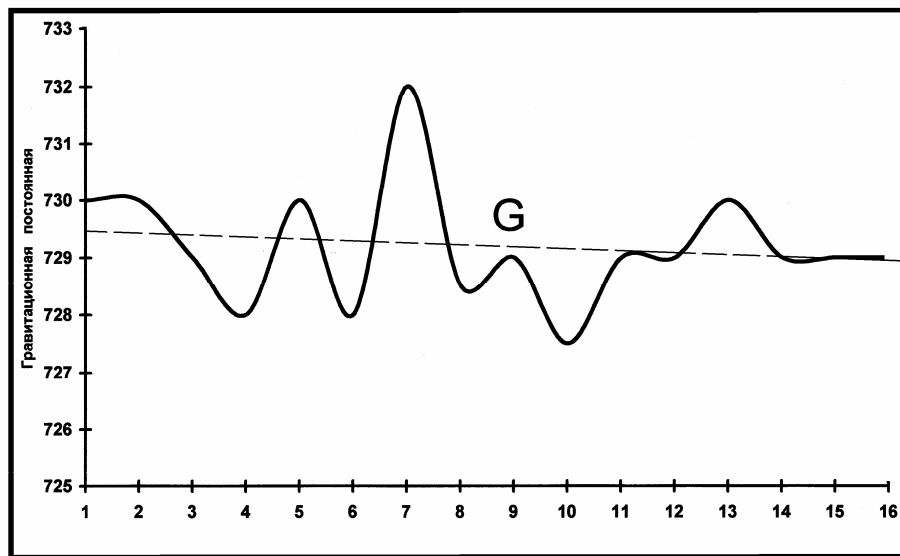


Рис. 12. График вариаций  $G$  с 1985 по 2000 годы по усредненным значениям за год (по данным таблицы 2.2). По оси  $Y$  указаны значения  $G$  со второго знака, после запятой (с целью удобства отображения); По оси  $X$  указаны порядковые номера значений  $G$  в таблице 2.2, соответствующие годам (с 1985 по 2000); Прямой пунктирной линией изображен прямолинейный тренд.

Описанные в разделе 2.1. результаты исследований показывают, что по мере повышения точности измерений значений  $G$ , странным образом увеличиваются различия между ними. Так, до настоящего времени два наиболее точных измерения  $G$  были получены группами ученых в Вашингтонском Университете в Сиэтле и Международном бюро мер и весов под Парижем,

причем в обоих случаях ошибки эксперимента составляли 1/10000, однако разница полученных значений превышает возможные погрешности в 10 раз.

Попытка Жан-Поль Мбелека (Jean-Paul Mbelek) и Марка Лашьез-Рая (Marc Lachieze-Ray) из французской комиссии по атомной энергии, объяснить причину таких расхождений между экспериментальными данными, влиянием магнитного поля Земли, которое отличается в зависимости от географического положения лаборатории, где проводились измерения, не встретили понимания у их коллег.

В частности, руководитель группы швейцарских физиков из Университета Цюриха Стефан Шламингер, считает результат измерений французских ученых неверным.

Растерянность и споры ведущих ученых мира вполне можно понять, если принять во внимание описанные выше сверхточные космологические и наземные эксперименты по возможности вариаций  $G$ , в течение миллиардов лет, которые приводят к выводу о неизменности гравитационной постоянной, а в случае допуска таких вариаций, они оцениваются /142/ в пределах:

$$G/G = (-0,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-11}/год$$

Между тем, отклонения  $G$  полученные авторами /102/ и французскими учеными, исчисляются не годами, а часами, сутками и месяцами, и даже, зависимостью от пространственного расположения измерительных приборов.

Можно было бы говорить об ошибках, связанных с погрешностью измерений или неучтенными помехами, если бы это были единичные случаи. Между тем, разноразной в измеренных значениях  $G$  наблюдается широкомасштабно, на протяжении последних десятилетий, увеличиваясь пропорционально повышению прецизионности измерений.

С одной стороны, основные положения ОТО прекрасно подтверждаются как наземными наблюдениями, так и астрономическими. С другой - наблюдаемые вариации значений  $G$ , безусловно, не могли бы остаться незамеченными астрономическими измерениями. Между тем,  $G$  «никак не хочет стабилизироваться» в земных условиях.

Возможно, причина кроется не в вариациях  $G$ , а в некотором глобальном факторе, влияющем на взаимодействие масс в земных условиях. Как нами уже было отмечено в работе /236/, таким фактором может являться гравитационная волна (Э.Н.Халилов, 1989 г.).

В частности, в работе /236/ указывалось: «Одним из таких факторов являются сверхдлиннопериодные гравитационные волны, обладающие гигантской длиной волны и без конца пронизывающие космическое пространство, излучаемые черными дырами и взрывами во Вселенной. Как известно из общей теории относительности А.Эйнштейна, гравитационная волна, проходя через тела, вызывает квадрупольное изменение их формы. Следовательно, при прохождении через Землю, гравитационная волна сначала несколько вытянет Землю по направлению своего движения, одновременно сузив перпендикулярно ему. Затем, наоборот, сожмет по направлению движения и расширит перпендикулярно ему. Естественно, что точно также будет происходить влияние на взаимодействие масс на поверхности Земли, включая крутильные весы и другие типы установок для измерения гравитационной постоянной» /236/.

## **ГЛАВА 3. ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ И ИХ РЕГИСТРАЦИЯ**

### **3.1. СКОРОСТЬ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН**

Учитывая особую сложность и ответственность рассматриваемых вопросов, в настоящем разделе, сделана попытка, пройти вместе с читателем путь логического развития хода мысли автора, что потребовало последовательного изложения ряда положений общей и частной теории относительности и некоторых имеющих отношение к данной проблеме физических законов и принципов.

Впервые существование гравитационных волн было предсказано А.Эйнштейном в 1916 году в работах по общей теории относительности /296/.

Если подойти к проблеме упрощенно, то можно прибегнуть к некоторой аналогии природы гравитационных волн с электромагнитными волнами. Как, в свое время предсказал Максвелл и экспериментально подтвердил Герц, электрический заряд, совершая колебания в пространстве, испускает электромагнитные волны. А поскольку общая теория относительности является теорией поля, логично было бы предположить, что колеблющаяся масса должна вызывать волновые

возмущения гравитационного поля, т.е. излучать гравитационные волны.

В соответствии с общей теорией относительности, свойства гравитационных волн по целому ряду характеристик отличаются от свойств электромагнитных волн. К примеру, гравитационные волны обладают значительно меньшей энергией, чем электромагнитные, принимая во внимание, что гравитационное взаимодействие существенно слабее электромагнитного.

Несмотря на то, что приоритет предсказания А.Эйнштейном гравитационных волн принято датировать 1916 годом, когда была опубликована первая его статья, описывающая гравитационные волны /296/, в последующих его работах /297/ отмечается о некоторых допущенных ошибках при расчетах, которые исправляются в последующих работах.

Так, в работе /297/ А.Эйнштейн пишет: « Важный вопрос о том, как распространяются гравитационные волны, был рассмотрен мной уже полтора года назад в одной из моих работ /296/. Однако, поскольку изложение этого вопроса было недостаточно ясным и, кроме того, искажено досадной расчетной ошибкой, мы должны здесь вновь вернуться к его рассмотрению». Таким образом, только к 1918 году представления А.Эйнштейна о гравитационных волнах можно считать окончательно сложившимися. Основополагающим является вывод А.Эйнштейна о скорости распространения гравитационных волн, приведенный в данной статье: **«...Из последних уравнений видно, что гравитационные волны распространяются со скоростью света».**

Говоря о равенстве скорости света и гравитационных волн и учитывая, что этим понятиям и принципам их измерения в последующих разделах будет уделено большое внимание, мы хотели бы несколько подробнее остановиться на этих вопросах.

Первая экспериментальная работа по определению скорости света в земных условиях была осуществлена Физо в 1849 г. В опытах Физо, вычисленное значение скорости света составляло  $314\,858\,000$  м/сек /222/.

Согласно опытам Вебера и Кольрауша  $c = 310\,740\,000$  м/сек. В последующем, определение скорости света различными учеными постоянно уточняло это значение. Так, более точные опыты Фуко позволили получить значение скорости света  $c = 298\,000\,000$  м/сек. Скорость света в пространстве, окружающем Землю, выведенная из коэффициента аберрации и из величины радиуса земной орбиты

равна  $c = 308\,000\,000$  м/сек. /222/. Между тем не все оказалось столь просто, как этого хотелось бы.

В 1888 году Генрих Герц экспериментально доказал существование электромагнитных волн. После этих работ исследователей заинтересовал вопрос - одинакова ли скорость электромагнитных волн для различных диапазонов их длин волн. Юнг и Фобс, пытаясь усовершенствовать метод Физо, натолкнулись на ряд интересных фактов, которые навели их на мысль исследовать скорость распространения света разных длин волн. Проанализировав результаты опытов, они пришли к выводу, что синий свет распространяется в воздухе быстрее красного.

Рэлей в своем письме в журнал «Nature» писал по этому поводу /223/: «Опубликованный Юнгом и Фобсом результат, состоящий в том, что синий свет распространяется в вакууме со скоростью приблизительно на 1,8 % большей, чем красный свет, поднимает интересный вопрос о том, что в действительности определяется такого рода наблюдениями».

Между тем, объяснение этому явлению было дано в 1839 году ирландским физиком У.Р.Гамильтоном, а впоследствии и английским ученым Дж.Стоксом. Проблема сводится к тому, что при рассмотрении скорости света, необходимо различать фазовую скорость света, которая отражает скорость перемещения фаз волны и групповую скорость света, отражающая скорость движения максимума огибающей групп волн.

Форма огибающей групп волн дает общее представление о распределении электромагнитных волн в пространстве, а групповая скорость характеризует быстроту переноса энергии. Учитывая, что свет представляет собой группу волн различной длины, то становится очевидным, что при экспериментальном измерении скорости света всегда определяется групповая скорость, что впервые в своих работах отметил Рэлей /223/.

По теории Максвелла скорость распространения электромагнитных волн в среде равна:

$$V = c\sqrt{\xi\mu} \quad (3.1)$$

Где  $\xi$  - диэлектрическая проницаемость среды;  $\mu$  - магнитная проницаемость среды;  $c$  – скорость света в вакууме.

Как видно из формулы, скорость электромагнитных волн в различных средах может меняться в зависимости от их

электромагнитных свойств и только в вакууме скорость света является константой.

В 1943 году Л.И.Мандельштамом и Н.Д.Папалекси было получено уточненное значение скорости света в вакууме, равное:  $c = 299\,500\,000 \pm 80$  м/с.

Самые последние достижения в области определения скорости распространения гравитационных волн получены в начале 2003 года.

Так, в начале января 2003 года мировому научному сообществу были представлены результаты первого эксперимента по определению скорости распространения гравитационного взаимодействия, осуществленного в сентябре 2002 года. Авторы уникального исследования – Эд Фомалон (Ed Fomalont) из Национальной радиоастрономической обсерватории США в г.Шарлоттсвилль (штат Вирджиния) и Сергей Копейкин из университета Миссури. Одно из наиболее важных последствий полученного результата - ограничение возможного числа измерений, которыми обладает наше пространство (в ряде комологических теорий предполагается, что их число может превышать три). Кроме того, в очередной раз подтверждена теория относительности Эйнштейна.

Эксперимент был поставлен следующим образом. Поскольку непосредственно измерить скорость распространения гравитационных волн на сегодня считается невозможным, С.Копейкин, с помощью математического аппарата теории относительности, получил выражение, описывающее гравитационное поле движущегося тела через его массу, скорость движения и скорость распространения гравитационных волн. В результате оказалось возможным определить скорость гравитации, измеряя гравитационное поле массивного небесного тела (планеты Юпитер), скорость орбитального движения которого и масса известны.

Возможность провести прямые измерения гравитационного поля планеты-гиганта представилась в сентябре 2002 года, когда состоялось покрытие Юпитером яркого квазара, являющегося источником радиоизлучения. Обработав результаты наблюдений покрытия, проводившихся с помощью нескольких радиотелескопов, Фомалон и Копейкин смогли измерить наблюдаемое смещение видимого положения источника под действием гравитационного поля Юпитера. Отсюда удалось определить скорость распространения гравитационного излучения. В данном

эксперименте она оказалась равной  $0,95$  скорости света (возможная ошибка -  $\pm 0,25$  скорости света).

Нам хотелось бы завершить данный раздел результатами этого прекрасно поставленного эксперимента, но история науки показывает, что результаты исследований подобного масштаба редко принимаются научным сообществом без «боя».

Ряд коллег Фомалонта и Копейкина поставили полученные результаты под сомнение. Так, по мнению Клиффорда Уилла из Университета им. Джорджа Вашингтона в Сент-Луисе, Миссури, в своих расчетах Копейкин не принял во внимание дополнительные гравитационные эффекты, производимые движущимся небесным телом, таким как Юпитер. Если учитывать эти параметры, то результат будет иным.

Сомнение в выбранной методике выразил и японский астрофизик Хидеки Асада. В 2002 году он опубликовал в *Astrophysical Journal Letters* статью, в которой показал, что метод, избранный Копейкиным и Фомалонтом, позволяет измерить скорость света, а не гравитации.

Во всяком случае, только время может рассудить спор ученых.

### **3.2.ПРИРОДА ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН**

Разобравшись со скоростью света, нельзя не остановиться на его природе, ибо в дальнейшем нам придется рассуждать о природе гравитационных волн и их отличии от электромагнитных излучений.

Ньютон показал, что белый свет является составным и содержит «чистые цвета», каждый из которых обладает своей преломляемостью. Ньютон объяснял преломляемость света различием в массе корпускул. По его мнению, корпускулы фиолетового цвета, обладая наименьшей массой, сильнее втягиваются в среду, летят в ней с большей скоростью и сильнее преломляются, по сравнению с корпускулами красного цвета, обладающими большей массой. Для промежуточных цветов массы корпускул имеют промежуточные значения, в результате чего при преломлении они располагаются между красным и фиолетовым цветами.

Наряду с корпускулярной концепцией Декарта-Ньютона в XVII веке возникла и развивалась противоположная, волновая теория Гука-Гюйгенса. В «Трактате о свете», представленном



Парижской Академии в 1678 г. и опубликованном в 1690 г., Гюйгенс исходит из представления о том, что свет есть процесс распространения продольных деформаций в некоторой материальной среде, пронизывающей все тела, - мировом эфире. Развитие корпускулярной и волновой теории света происходило с переменным успехом то одной, то другой. Так, в 1662 г. Бартолину обнаруживает двойное лучепреломление. Изучая это явление, Гюйгенс открывает поляризацию света, но не может дать правильного ее объяснения с волновой точки зрения. В то же время, в 1717 г. Ньютон показывает, что поляризация света может быть объяснена при предположении поперечности световых волн, что послужило, для того времени, аргументом против волновой теории. Таким образом, огромный авторитет Ньютона привел к тому, что весь VIII век признавалась только корпускулярная теория света.

В 1801 году Юнг устанавливает принцип интерференции, на основании чего объясняет окраску тонких пленок вещества. С этой работы начинается триумф волновой теории света. М.Планк выдвинул гипотезу, что энергия испускается и поглощается не непрерывно, а отдельными квантами. Энергия каждого кванта равна:

$$\varepsilon = h\nu, \text{ где } h - \text{постоянная Планка, } \nu - \text{частота.}$$

Исходя из гипотезы Планка, масса покоя фотона равна нулю. Квант электромагнитного излучения существует только, распространяясь со скоростью света.

Таким образом, изучая свойства света, исследователи сначала пришли к выводу, что свет представляет собой корпускулы, а затем – волны. Электромагнитная (волновая) теория света хорошо объясняет интерференцию, дифракцию, поляризацию и ряд других явлений. В то же время, волновая теория света не могла объяснить фотоэффект и эффект Комптона. Поэтому было высказано предположение, что световые фотоны, наряду с волновыми, обладают еще и корпускулярными свойствами, хотя масса покоя фотонов равна нулю. Каждый фотон ведет себя одновременно, как частица (корпускула) и как волна. Дальнейшее развитие обоих направлений привело к формированию взглядов о корпускулярно-волновой природе света или корпускулярно-волнового дуализма.

Таким образом, говоря об одном из параметров гравитационных волн – их скорости, которая по А.Эйнштейну равна скорости света, а также о природе гравитационных волн, мы

коротко остановились на проблеме определения скорости света и изучении его природы.

Возвращаясь к понятию гравитационных волн, нам хотелось бы еще раз обратить внимание на их некоторую аналогию с электромагнитными волнами. В электродинамике Максвелла, как уже отмечалось, переменное движение электрического заряда приводит к излучению электромагнитной волны. Тот же результат содержится в одном из решений уравнений Эйнштейна: переменное движение массы приводит к излучению гравитационной волны. В обоих случаях мощность излучения пропорциональна квадрату заряда (массы). Учитывая, что по сравнению с электромагнитным, гравитационное взаимодействие значительно слабее, что обусловлено ничтожно малым значением коэффициента пропорциональности (гравитационной постоянной  $G$ ), стоящего перед квадратом массы, эффективность гравитационного излучения чрезвычайно мала.

Внося существенные коррективы в свои предыдущие работы по гравитационным волнам, в работе /298/ А.Эйнштейн отмечает: *«Этот результат, в противоположность результату прежней работы, содержащей ошибку в вычислениях, показывает, что механическая система, постоянно сохраняющая сферическую симметрию, не может излучать. Из формулы видно, что интенсивность излучения ни в одном направлении не может стать отрицательной, тем более не может быть отрицательной и полная интенсивность излучения. Уже в прежней работе подчеркивалось, что окончательный результат, согласно которому должна происходить потеря энергии телами вследствие теплового возбуждения, вызывает сомнение во всеобщей справедливости теории. Нам кажется, что построение усовершенствованной квантовой теории должно повлечь за собой и видоизменение теории тяготения».*

В настоящей работе мы не будем останавливаться на изложении основных положений общей теории относительности, прекрасно описанной, как в работах самого автора, так и в многочисленных изданиях. Нам представляется наиболее важным акцентировать внимание на отдельных аспектах вытекающих из этой теории и ряда других работ, имеющих прямое или косвенное отношение к рассматриваемым проблемам.

В своей работе «Единая теория гравитации и электричества» /300/, опубликованной совместно с В.Майером в 1931 г. А.Эйнштейн отмечает следующее:

«До сих пор общая теория относительности была, в первую очередь, рациональной теорией гравитации и метрических свойств пространства. При рассмотрении же электромагнитных явлений она должна довольствоваться лишь формальным присоединением максвелловской теории к релятивной схеме».

В своей следующей статье, посвященной единой теории гравитации и электричества А.Эйнштейн и В.Майер отмечают следующее:

«Благодаря введению 5-векторов в четырехмерном пространстве возникает пространственная структура, естественно ведущая к единой теории гравитации и электричества. Получаемые при этом уравнения электромагнитного поля совпадают с записанными в релятивистской форме уравнениями Максвелла для пустого пространства. Эти уравнения не допускают отличных от нуля плотностей электрического заряда и тока; поэтому они не пригодны внутри электрических корпускул. В такой теории электрические корпускулы, могут фигурировать, только как сингулярности поля. Однако, по-нашему мнению, удовлетворительная теория поля, должна избегать введения сингулярностей при описании полного поля, т.е. должна включать в себя и поля внутри корпускул.

Поэтому мы поставили вопрос, не допускает ли рассмотренная нами пространственная структура обобщения, приводящего к уравнениям электромагнитного поля с отличной от нуля плотностью электрического заряда.

Единственное изменение по сравнению с ранее рассмотренной пространственной структурой состоит в том, что отпадает гипотеза (II). Оказывается, что установление совместных уравнений поля для пространственной структуры связано с четырехмерностью континуума» /300/.

Нам хотелось бы более детально остановиться на единстве и различиях электромагнитных и гравитационных взаимодействий при попытках создать единую теорию поля.

Необходимо отметить, что кроме количественной причины сравнительно малой эффективности гравитационных волн, существует еще один важный отличительный фактор – это качественное различие электромагнитного и гравитационного взаимодействий. Так, если в электродинамике имеются электрические заряды двух знаков (электроны и протоны) и отношение электрического заряда к массе может быть различным даже в случае, когда тела заряжены одноименно (разница может быть в избытке или недостатке электронов), то в гравитации все

заряды (гравитационные массы) имеют одинаковый знак (притяжение) и одинаково отношение гравитационных зарядов к инертным массам. Последнее утверждение является принципом эквивалентности общей теории относительности (ОТО).

Таким образом, чтобы приблизиться к пониманию природы гравитационных волн, как становится ясно, необходимо воспользоваться единой теорией поля, основа которой была заложена в работах А.Эйнштейна и В. Майера. Как известно, слабое и сильное ядерные и электромагнитные взаимодействия – по отдельности или на основе общей теории, описываются с помощью квантовых уравнений поля, объединяющих в себе принципы частной теории относительности и квантовой механики. В частной теории относительности устанавливается эквивалентность массы и энергии, а в квантовой механике концепция дискретности энергии и принцип неопределенности. В современных квантовых теориях поля, силы рассматриваются, как результат обмена некими частицами между взаимодействующими частицами. Обменные частицы называют «виртуальными», так как их невозможно наблюдать и их существование слишком кратковременно. Например, в электромагнитном взаимодействии, если сближаются два электрона, то они обмениваются частицей – фотоном, в результате чего происходит их отталкивание. Процессы такого рода прекрасно описываются с помощью диаграмм Фейнмана [220]. Виртуальный, обменный, фотон существует в соответствии с принципом неопределенности, согласно которому неопределенность энергии микросистемы обратно пропорциональна интересующему нас интервалу времени (в данном случае времени взаимодействия). Следовательно, квантовая механика допускает, что на очень короткое время, частица данной энергии может материализоваться, и чем больше энергия такой виртуальной частицы, тем короче время ее существования. При этом дальнедействующие силы, например электромагнитные, передаются только с помощью не имеющих масс виртуальных частиц, так как только такие частицы могут существовать достаточно долго, чтобы обеспечивать взаимодействие на больших расстояниях. В то же время, короткодействующие силы (слабое и сильное ядерное взаимодействия) передаются путем обмена виртуальными частицами с ненулевой массой покоя. Обладая высокими энергиями, они имеют очень короткое время жизни, в силу чего не могут участвовать во взаимодействиях на больших расстояниях. Таким образом, силу электромагнитного взаимодействия переносит

фотон. Что касается слабого взаимодействия, то оно переносится промежуточным векторным **бозоном**. Считается, что существуют три типа таких частиц: положительно заряженная, отрицательно заряженная и нейтральная. Бозон подобен фотону, но имеет конечную массу покоя. Сильное взаимодействие между ядерными частицами осуществляется посредством **мезонов**. Однако это взаимодействие считается проявлением более фундаментальной силы, которая удерживает вместе группы **кварков**, образующих такие частицы, как протоны, нейтроны и мезоны; носителем взаимодействия в этом последнем случае является **глюон**.

Предполагается, что подобным же образом осуществляются гравитационные взаимодействия, при этом гравитационные силы передаются посредством особых частиц, не имеющих массы – **гравитонов** /26/.

Основной различительной характеристикой элементарных частиц различных семейств является спин, который можно представить как результат вращения частиц вокруг своей оси. У электронов, протонов и нейтронов спин равен  $\frac{1}{2}$ , а у частиц, не имеющих массы, как, например фотон, спин равен 1. Следовательно, все обменные частицы слабого, сильного и электромагнитного взаимодействия имеют спин, равный 1, поэтому одинаковые частицы отталкиваются (например, два электрона), а частицы с противоположными зарядами - притягиваются (например, электрон и протон). Считается, что гравитон имеет спин, равный 2, так как все взаимодействия с обменом частицами, имеющими спин, равный 2, характеризуются только притяжением.

В 1976 году Д.А.Фридманом, П.Ван Нивенхейзенем и С.Феррарой, а также независимо от них С.Дезером и Б.Зумино, была разработана теория супергравитации. В этой теории рассматривается единственный вид частицы – суперчастицы. Эта частица может выступать, как любая частица, переносящая взаимодействие, в том числе, как кварк или лептон («легкая» частица, например электрон), связывая, таким образом, гравитацию со всеми остальными взаимодействиями и частицами. Используя данный подход, появляется возможность построить теорию гравитации, основываясь на понятии гравитона, обладающего спином 2, при этом частицы вещества взаимодействуют, обмениваясь гравитонами, в соответствии с уравнениями общей теории относительности Эйнштейна.

В этом случае, дальнедействующая сила тяготения является результатом обмена гравитонами. Теория супергравитации

предполагает существование, также массивных частиц со спином  $3/2$  – *гравитино*.

Между тем, теория супергравитации пока не способна объяснить все многообразие реально существующих частиц, как и разнообразие их масс, и, скорее всего, она не в силах справиться с этой задачей.

Как известно из общей теории относительности А.Эйнштейна, гравитационная волна, проходя через тела, вызывает квадрупольное изменение их формы. Следовательно, при прохождении через любое тело, гравитационная волна сначала несколько вытянет его по направлению своего движения, одновременно сузив перпендикулярно ему. Затем, наоборот, сожмет по направлению движения и расширит перпендикулярно ему. Это одно из специфических свойств гравитационного излучения, отличающее его от электромагнитного, акустического и сейсмического.

### **3.3. ПРОБЛЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН**

#### **3.3.1. ИСТОЧНИКИ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН**

Гравитационные волны излучаются при неравномерном движении масс и были впервые предсказаны А.Эйнштейном в 1916 г, а в 1918 г. он рассчитал их интенсивность.

В 1935 г. советский физик М.П.Бронштейн ввел понятие квантов гравитационного поля - гравитонов и разработал квантовую теорию гравитации.

Академик В.А.Фок был первым, кто обратил внимание на возможность использования астрофизических катастроф, как источника мощного гравитационного излучения (1948). Согласно современным расчетам, при слиянии двух нейтронных звезд излучается около  $10^{45}$  Дж в виде всплеска гравитационного излучения, то есть около 1% от полной энергии ( $E = mc^2$ ) двух звезд /170/.

В 70-е годы советский астрофизик Л.П.Гришук математически доказал, что гравитационные волны могут существовать и в однородной среде, то есть Вселенную наполняют реликтовые гравитационные волны, рожденные в самом начале образования Вселенной.

Рассел А.Хальс (Hals, p.28.11.1950, США) и Джозеф Х.Тейлор (Taylor, p.29.03.1941) открыли гравитационные волны (длина волны около 300 км), при изучении двойного радиопульсара (открытого ими в 1974 г.) *PSR 1913+16*.

В 1979 г. детальное исследование пульсара с помощью 300-метрового радиотелескопа в Аресибо (Пуэрто-Рико) показало, что орбитальный период системы уменьшается с относительной скоростью порядка  $3 \times 10^{-12}$ . Если основываться на общей теории относительности, то причина этого заключается в излучении гравитационных волн /165/.

Тейлор, Фаулер и Мак-Каллог провели наблюдения радиопульсара *PSR 1913+16* в радиодиапазоне и не только зарегистрировали уменьшение его орбитального периода, но и смогли измерить другие параметры орбит двойной системы. Это позволило количественно оценить потери энергии на гравитационное излучение и вычислить, с какой скоростью должен уменьшаться орбитальный период. Последняя оценка очень хорошо согласуется с наблюдаемым значением. Несмотря на то, что проведенные наблюдения не позволили прямо и окончательно установить существование гравитационных волн, тем не менее, аргументы в пользу этого довольно убедительны. Во всяком случае, до сих пор не удалось предложить какое-либо другое удовлетворительное объяснение периода пульсара. Если интерпретация результатов наблюдений, предложенная Тейлором и его коллегами, верна, то это можно считать первой косвенной регистрацией гравитационного излучения /165/. У пульсара в двойной системе проявляются два других специфических эффекта, объясняемые общей теорией относительности. Один из них – прецессия перигелия орбиты. Наблюдаемая прецессия орбиты пульсара *PSR 1913+16* составляет 4,23 угловых градуса в год, что в 36 000 раз превышает эффект для Меркурия! В рассматриваемом случае прецессия не может быть вызвана приливным влиянием одной звезды на другую, так как, по-видимому, обе звезды представляют собой компактные нейтронные звезды, для которых приливный эффект пренебрежимо мал. Пренебрегая приливным взаимодействием, удастся объяснить прецессию целиком в рамках общей теории относительности, если верно, что масса каждой из звезд равна  $1,4 M_{\odot}$ .

Второй эффект связан с прецессией оси вращения пульсара, которая вызвана так называемым спинорбитальным взаимодействием. Спинорбитальное взаимодействие проявляется в

том, что на вращающееся тело, которое, кроме того, движется как целое по замкнутой орбите вокруг другого тела, действуют силы, вызывающие прецессию собственной оси вращения (если не было орбитального движения, то не было бы и прецессии собственной оси вращения). Если вращающееся тело – пульсар, то из-за прецессии форма принимаемого от него импульса излучения должна меняться. Оценки показывают, что скорость прецессии должна составлять порядка  $1^0$  в год, и это должно проявиться в медленном изменении среднего профиля импульса пульсара, входящего в двойную систему.

Сверхновые, по-видимому, могут излучать гравитационные волны, если только при взрыве заметны отклонения от сферической симметрии. При типичном взрыве мощность в импульсе длительностью в доли секунды, может составить около  $10^{47}$  Вт. Гравитационные волны могут возникнуть при аккреции вещества на черную дыру и при столкновении черных дыр.

Таблица № 3.1

Источник	Типичная частота, Гц	Возможная частота события
Звездный коллапс: сверхновая, образование черной дыры (в нашей Галактике).	$10^2 - 10^5$	1 в 30 лет
В скоплении галактик созвездии Девы.	$10^2 - 10^5$	Примерно 10 в год
Процессы, связанные черными дырами: Черные дыры с массами $10^2 - 10^4 M_{\odot}$ в шаровых скоплениях.	$1 - 10^2$	До 1 в месяц
Ядра галактик: Черные дыры с массами $10^6 - 10^{10} M_{\odot}$	$10^{-6} - 10^{-2}$	До 50 в год
Двойные звезды: в нашей Галактике	$10^{-5} - 10^{-2}$	Непрерывно
Особый пример, Йота Волопаса	$8,6 \cdot 10^{-5}$	Непрерывно



Но, чтобы создать детектор, способный непосредственно зарегистрировать гравитационные волны такой мощности, необходим резкий скачок в развитии техники измерений. Гравитационная волна, проходя в пространстве, на мгновение искривляет его. В детекторах гравитационных волн необходимо зарегистрировать влияние этого эффекта на движение механических систем чувствительного датчика детектора. Трудность состоит в создании сверхчувствительных систем, способных фиксировать столь малые изменения /346/.

Ниже приводится таблица 3.1 с указанием характеристик гравитационного излучения от возможных источников /346, 202/.

В работе /97/ рассмотрено гравитационное излучение, возникающее при образовании протонейтронной звезды. При этом внутри звезды развиваются, в основном, крупномасштабные неоднородности. Профиль энтропии и плотности таких неоднородностей формирует фигуру, похожую на «гриб» ядерного взрыва. Пузырь горячей нейтронной материи всплывает к поверхности звезды, подобно «грибу» взрыва в земной атмосфере. Количество таких пузырей, всплывающих одновременно, меняется от шести до двух, в зависимости от симметрии рассматриваемой картины. Характерные массы таких пузырей составляют  $0,01 M_{\odot}$ , а скорости радиального движения достигают  $\sim 0,1 c$ . При одном цикле всплывания пузырей, излучаемая в виде гравитационных волн, энергия составляет  $\sim 10^{-2} M_{\odot} c^2 - 10^{-10} M_{\odot} c^2$ . Такие циклы во время остывания нейтронной звезды повторяются неоднократно. Эта фаза может длиться вплоть до секунды. Полная энергия, высвечивающаяся в виде гравитационного излучения, может достигать  $10^{-1} M_{\odot} c^2$ .

Теоретические разработки и расчеты возможных излучений гравитационных волн различными объектами и методами и наблюдения различных волновых эффектов и физических свойств, приводят исследователей, порой, к противоречивым результатам. Как указывает в своей работе Р.Сакс /200/: «В настоящее время мы понимаем три основные особенности гравитационного излучения. Во-первых, мы можем описать излучение на больших расстояниях от источников в асимптотической плоской Вселенной; это описание геометрически изящно и достаточно детально для того, чтобы проанализировать все мысленные эксперименты, касающиеся поведения пробных частиц или пробных поглотителей в асимптотическом поле (волновой зоне).

Во-вторых, мы понимаем в принципе, более или менее, как в точной теории связаны поля на больших расстояниях от источников с полями на близких расстояниях и с самими источниками или полями негравитационного происхождения. В-третьих, мы имеем приближенные методы, позволяющие получать фактические численные количества излучения, испускаемого в той или иной конкретной ситуации, или сечения рассеяния и т.д. Эти приближенные методы антигеометричны, или в лучшем случае негеометричны, и поэтому довольно непопулярны; у них, конечно, есть довольно уродливые черты, но, быть может, стоит не забывать, что если какой-нибудь упрямый экспериментатор возьмется и получит определенный результат, то нам, несомненно, придется обратиться к приближенным методам, чтобы сравнить его с теорией».

Брагинский составил интересный обзор /37/ возможностей обнаружения гравитационных волн от внеземных источников (двойные звезды, тормозное гравитационное излучение при кулоновском рассеянии электронов) и от земных источников (вращающиеся стержни, механические колебания, ядерные взрывы и т.д.). Для ряда двойных звезд, относительно близко расположенных к солнечной системе, имеются интересные данные о потерях энергии на гравитационное излучение. Особый интерес представляет звезда *WZ* созвездия Стрелы. Эта звезда имеет большую частоту обращения. Интегральный поток мощности в таком случае может превосходить мощность видимого излучения. Земные приемники гравитационного излучения двойных звезд должны регистрировать потоки порядка  $10^{-3} - 10^{-10}$  эрг  $\times$  сек $^{-1}$ .

Довольно многозначительным образом выясняется, что среди двойных звезд нет объектов с относительно большими массами (в несколько раз больше солнечной) и с малыми периодами обращения. По мнению Иваненко Д. /99/ это может свидетельствовать о том, что сравнительно интенсивное гравитационное излучение подобных звезд сделало невозможным их длительное существование. При коллапсе двойной нейтронной звезды энергия гравитационных волн может достигнуть  $10^{50}$  эрг /200/.

Общий вывод Д.Иваненко говорит в пользу желательности исследования, прежде всего, внеземных источников гравитационных волн, однако запретов для конструирования земных генераторов излучения также нет. Существенный прогресс, может быть, достигнут благодаря статистическим методам выделения слабых

сигналов на фоне шумов за большие промежутки времени. Конечно, сейчас пока невозможно говорить о регистрации квантовых процессов, связанных с гравитонами /99,100/.

В работе /403/ рассчитана частота образования и эволюция двойных черных дыр в различных моделях образования черных дыр. Показано, что небольшая добавочная скорость (30-50 км/с) при образовании черной дыры в ходе коллапса делает орбиту сильно вытянутой, при этом время до слияния из-за гравитационного излучения сильно сокращается. С учетом этого эффекта темп регистрации слияний двойных черных дыр гравитационно-волновыми интерферометрами первого поколения оказывается 10-30 событий в год, несмотря на редкость образования двойных черных дыр в Галактике. Авторами работы /355/ обсуждается новый алгоритм обработки гравитационных данных при поиске «астрогравитационной» корреляции. В качестве проверки эффективности нового алгоритма, проводится реанализ данных, относящийся к эффекту «гравитационно-нейтринной» корреляции в период вспышки сверхновой *SN 1987A*.

В работе Захарова и Сажина /403/ рассматривается действие гравитационных линз, как природных усилителей гравитационного излучения, которые демонстрируют существенное усиление для VIRGO (LIGO) и LISA детекторов соответственно. Оценена вероятность большого усиления гравитационных волн двойными гравитационными линзами.

Удивительно красивое описание гравитационным волнам, дал выдающийся американский физик Кип Торн, во время вручения ему диплома иностранного члена Российской Академии Наук в декабре 2000 года (Кип Торн является крупнейшим ученым в области релятивистской астрофизики, теории гравитационных антенн, квантовых измерений и т.д.): «Гравитационные волны – это рябь на поверхности кривизны, на ткани пространства-времени, которая распространяется со скоростью света...».

Гравитационная волна растягивает и сжимает пространство. Если в ее поле есть две разнесенные системы координат, то волна вызывает их относительное колебательное движение. У гравитационной волны возможны две поляризации. В первой волна в течение полупериода сжимается по вертикали и растягивается по горизонтали, в следующий полупериод – наоборот. Вторая возможная поляризация сдвинута на  $45^{\circ}$  по отношению к первой. Во времени гравитационная волна – это длинный или

короткий волновой пакет. В его форме заключена информация об источнике /119/.

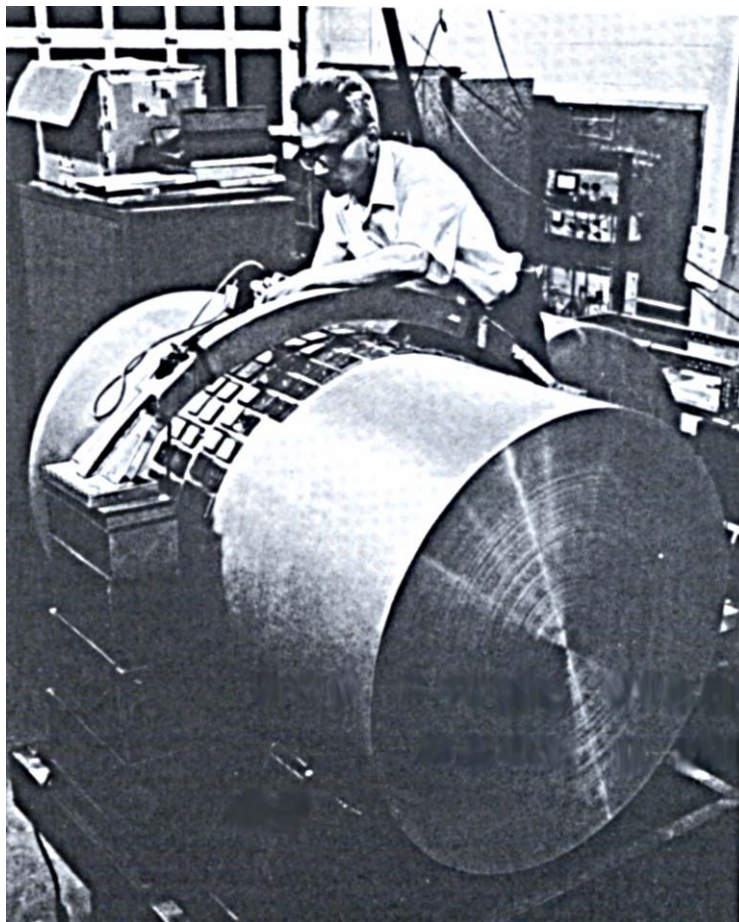
### **3.3.2. ДЕТЕКТОРЫ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН**

До 1918 года вопроса о существовании гравитационных волн не поднималось. Он возник в связи с созданием ОТО. Примерно, к 50-м годам XX века бытовало мнение о том, что гравитационные волны, скорее выступают, как математический объект, ни на что физически не влияющий во Вселенной, и многие высказывались отрицательно по поводу возможности их существования. Однако, П.Дирак высказал предположение о возможности их регистрации. Г.Бонди (Англия) в 1950 году теоретически рассчитал эту возможность. Последовал ряд экспериментов по осуществлению физической регистрации гравитационных волн (*ГВ*). Но основной трудностью проблемы считалась их чрезвычайно малая интенсивность.

Впервые дерзкая попытка детектирования гравитационных волн была предпринята Дж.Вебером из Мерилендского университета. Вместе со своими студентами Дж.Вебер сконструировал детектор гравитационных волн. Детектор представлял собой сплошной алюминиевый цилиндр длиной около 1,5 м весом в несколько тонн. На цилиндре устанавливались чувствительные датчики, регистрирующие возникающие в металле деформационные напряжения (рис.13.).

При этом на датчики действовало множество помех искусственного происхождения, даже шаги прохожих. С целью исключения влияния искусственных помех, Вебер построил второй детектор в Аргоннской национальной лаборатории. Расчет был простым: если два различных и удаленных друг от друга детектора зарегистрируют одинаковые сигналы, то это будет не что иное, как гравитационные волны.

В 1970 г. Вебер сделал сенсационное сообщение – гравитационные волны обнаружены, а их источник находится в направлении на центр Галактики. Впоследствии детекторы Вебера были построены и другими исследователями в ряде стран мира, однако ни в одном случае не удалось зарегистрировать гравитационные волны. Что же на самом деле зарегистрировал Дж.Вебер? Этот вопрос так и остается открытым.



**Рис. 13. Детектор гравитационных волн, сконструированный Дж.Вебером (он запечатлен на этой фотографии) из Мэрилендского Университета США. Перепечатано из [170].**

Детекторы аналогичного типа были построены другими исследователями в ряде стран мира, причем многие из этих детекторов были значительно чувствительнее первых образцов. Однако, никому так и не удалось с их помощью зарегистрировать гравитационные волны. Этот факт поставил под сомнение результаты регистрации гравитационных волн, полученные Дж.Вебером.

Детектор Вебера был рассчитан на регистрацию гравитационных волн с частотой  $10^{-3}$ - $10^5$  Гц и, соответственно, длиной волны  $3 \cdot 10^{-11}$  - 3000 м.

Предполагалось, что для детектирования ГВ потребуется чувствительность аппаратуры порядка  $10^{-20}$ , для чего стали применять в МГУ лейкосапфир, в Университете Западной Австралии – ниобий, в США – новые сплавы из алюминия.

После ряда неудач, исследования приобрели два основных направления: одно – по двум разнесенным на значительные расстояния массам, например, Земли и спутника, а другое – по применению чувствительных лазерных систем. К началу 90-х годов, по мнению Кип Торна (члена Национальной Академии Наук США, профессора Калифорнийского Университета), системы веберовского типа имеют чувствительность выше лазерных, но есть надежда, что с началом действия больших лазерных систем с квантовой чувствительностью  $10^{-21}$  –  $10^{-22}$ , удастся зарегистрировать гравитационные волны.

Как указано в работе /99/, гравитационные антенны на свободных пробных массах, в сравнении с резонансными антеннами веберовского типа, помимо их широкополосности, привлекают внимание экспериментаторов, своей чувствительностью. В резонансных антеннах достижение чувствительности по амплитуде гравитационной волны  $h \sim 10^{-19}$  лучше связано с преодолением квантовых ограничений. В антеннах на свободных массах с лазерно-интерферометрической системой индикации, квантовый предел можно сместить на уровень, не выше  $h \sim 10^{-23}$ , в частности, увеличением линейных размеров антенны от одного километра и больше. В тех гравитационно-волновых программах, которые в настоящее время реализуются, квантовые ограничения не играют существенной роли.

Брагинский В.Б. и Назаренко В.С. указывают, что максимум мощности гравитационного излучения двойных звезд приходится на моменты времени, близкие к коллапсу. При этом, частота излучения меняется настолько быстро, что при регистрации этого излучения узкополосным резонансным детектором, в его полосу пропускания попадают лишь несколько циклов колебаний. Поэтому, желательно было бы использовать либо широкополосный детектор с перестраиваемым узкополосным фильтром на выходе, либо узкополосный детектор с перестраиваемой резонансной частотой. Детектор гетеродинного типа принципиально может удовлетворить этому требованию /32/.

Одной из проблем обнаружения гравитационных волн является отделение полезного сигнала от шумов. На решение этой

проблемы направлена немецкая программа “Lazarus”. В ходе проекта “Lazarus” были разработаны новые алгоритмы моделирования взаимодействия черных дыр. Предыдущие попытки компьютерного моделирования процессов оканчивались неудачей. Непреодолимым препятствием являлась необходимость воссоздания волн, не только с внешней стороны черной дыры, но и внутри ее.

Для решения этой проблемы, немецкие физики, принимающие участие в проекте “Lazarus”, пошли своим путем. Они скомбинировали два способа: полную численную имитацию столкновения в режиме сильных полей и метод аппроксимации, теорию пертурбации, для расчета результирующего излучения единичной черной дыры. Там, где полное моделирование начинало заходить в тупик, оно отключалось, и в работу вступали алгоритмы, принимавшие во внимание гравитационные волны лишь с внешней стороны соединившейся черной дыры.

Самый важный результат программы “Lazarus” – это получение «шаблонов», на основании которых наблюдающие за гравитационными волнами астрономы, могли бы отделить полезные сигналы от шума, принимаемого их детекторами. В настоящее время это единственный способ обнаружения черных дыр, которые поглощают весь видимый свет, делая бесполезными попытки их наблюдения в обычные телескопы (К.Зайцев, 2001).

В настоящее время ведутся поиски гравитационных волн длиной от размера Вселенной до нескольких метров, иными словами, в диапазоне частот от  $10^{-16}$  до  $10^8$  гц, то есть частотный диапазон поисков перекрывает более чем 20 порядков. Хорошая чувствительность уже достигнута или планируется в интервале частот от  $10$  до  $10^4$  Гц, или на длинах волн от 30 тыс. км до 30 км. На этот диапазон рассчитаны проекты LIGO и VIRGO. На более низкие частоты – от 0,1 до 0,0001 Гц гравитационного излучения – нацелен проект LISA – лазерная космическая антенна /119/. В настоящее время разработка гравитационно-волновых детекторов осуществляется в следующих направлениях: лазерные интерферометры, космические лазерные интерферометры, сферические детекторы, резонансные детекторы, торсионные детекторы. Последний тип детектора – торсионный, разработан автором настоящей монографии и по своей конструкции не имеет аналогов в мире.

Ниже приводится перечень различных типов детекторов, разработанных и введенных в действие в различных странах:

**А. Лазерные интерферометры**

LIGO (США)

VIRGO (Франция/Италия)

GEO-600 (Германия)

AIGO (Австралия)

ДУЛКЫН (Россия)

TAMA-300 - Стержневая антенна (Япония)

**Б. Космические лазерные интерферометры**

LISA (США)

**В. Сферические детекторы**

MiniGRAIL (Нидерланды)

ELSA (Италия)

GRAVITON (Бразилия)

**Г. Резонансно-массовые детекторы.**

**а) Система IGEC**

NAUTILUS (Италия)

EXPLORER (Швейцария)

AURIGA (Италия)

NIOBE (Австралия)

ALLEGRO (США)

**Д. Торсионный детектор**

ATROPATENA-1 (Азербайджан)

**А. ДЕТЕКТОРЫ LIGO, VIRGO, TAMA 300, GEO-600, AIGO,  
ДУЛКЫН**

Проект LIGO (Laser Interferometer Gravitational wave Observatory) – лазерная интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория – изначально национальный проект США. Проект VIRGO носит латинское название скопления галактик в созвездии Девы, изначально итальяно-французский.

LIGO будет искать гравитационные волны, порожденные процессами коллапса звездных ядер в нейтронные звезды и черные дыры, слиянием черных дыр или нейтронных звезд, вращением нейтронных звезд с деформированной корой, а также остатки гравитационного излучения, оставшегося с момента рождения Вселенной.

LIGO – это объединенный проект Калифорнийского Технологического института (Caltech) и Массачусетского



Технологического Института (MIT), спонсируемый американским национальным научным фондом (NSF).



**Рис. 14. Здание обсерватории LIGO в Ливингстоне.**



**Рис. 15. Детектор гравитационных волн VIRGO (Италия) /399/**

Здание обсерватории LIGO (рис.14.) включает в себя лазерный интерферометр, состоящий из зеркал, подвешенных на концах гигантской L – образной вакуумной системы (длина каждого плеча – 4 км). Лазерные лучи помогут обнаружить малые движения зеркал, вызванные гравитационной волной.

Проекты LIGO и VIRGO по существу представляют собой сеть антенн, относительно высокочастотного диапазона. В сеть включены две антенны: LIGO – одна в Хэнфорде, другая в Ливингстоне (обе в США) и антенна VIRGO - недалеко от Пизы (Италия).

К сети примыкают и значительно меньшие по размерам и по чувствительности антенна в Японии (ТАМА300) /386/ и в северной части Германии (GEO-600) /304/.

Будет использована вся информация, которая регистрируется этими антеннами, чтобы получить максимум информации о свойствах гравитационных волн и их источников.

В высокоточном диапазоне (*от 10 до 10000 Гц*, длина волны от 300 до 30000 км) регистрация гравитационных волн осуществляется сетью наземных лазерных интерферометрических гравитационных антенн, в которую входят проекты LIGO и VIRGO.

В третьем диапазоне (длина волны от 1 до 1000 световых лет) в настоящее время уже действует антенна на основе распределенных по земному шару радиотелескопов, в том числе размещенных в России (ФИАН-ОКБ МЭИ), с высокой точностью регистрирующих время прихода на Землю радиоимпульсов от миллисекундных пульсаров.

Планируются продолжить поиски гравитационных волн в четвертом диапазоне (длина волны *от  $10^8$  до  $10^{10}$  световых лет*), основанные на высокоточном измерении анизотропии интенсивности космического радиоизлучения с помощью наземных и космических радиотелескопов /119/.

Британо–Германский эксперимент GEO-600 под Ганновером находится на стадии инженерного монтажа. Задача эксперимента состоит в том, чтобы зафиксировать с помощью лазерного интерферометра, длина плеча которого составляет 600 метров, колебания в расстоянии между двумя зеркалами, которые теоретически могут быть вызваны гравитационной волной. Для того, чтобы эксперимент удался, необходима точность измерения расстояния  $10^{-18}$  м.



**Рис. 16. Детектор гравитационных волн GEO-600 (Германия) /304/.**



**Рис. 17. Детектор гравитационных волн GEO-600**



**Рис. 18. Один из тоннелей лазерного интерферометра детектора ГВ GEO-600**



**Рис. 19. Детектор гравитационных волн AIGO (Австралия) /273/.**

Эта точность настолько велика, что любые самые незначительные помехи могут помешать реализации эксперимента. С целью сокращения до минимума возможных помех, авторам проекта пришлось отказаться от металлических проводов, которые могли вызвать случайные тепловые воздействия, заменив их кремниевыми.

Проект ТАМА 300 был начат в 1995 году. В результате эксперимента ТАМА 300, проведенного в Японии, уже получены первые оценочные результаты. Японцы используют в своем эксперименте так называемую гравитационную антенну - 300 метровую балку, погруженную в сосуд, охлажденный до температуры, близкой к абсолютному нулю. При прохождении гравитационной волны, балка должна испытать сокращения и растяжения. Максимальная точность измерений, которой добились японцы –  $10^{-16}$  м /11/.

Интересные исследования проведены Институтом Общей Физики Российской Академии Наук по генерации гравитационного поля во время торможения электронов в веществе /11/.

В ходе этих экспериментов были проверены предсказания о возможности генерации гравитационного поля при торможении заряженных массивных частиц в веществе. В качестве источника заряженных частиц был использован ускоритель электронов. Узкий пучок релятивистских электронов (средняя мощность пучка 450 Вт, энергия электронов около 30 МэВ) направлялся на тормозную мишень, изготовленную из вольфрама, где происходило торможение ускоренных электронов. Измерения показали появление статистически достоверного отклонения крутильного маятника, один из массивных грузов которого находился рядом с тормозной мишенью, в момент торможения пучка релятивистских электронов. Было также зафиксировано изменение направления закручивания маятника при сдвиге тормозной мишени от одного конца маятника к другому /11/.

Наконец, хотелось бы остановиться на интересном проекте Казанского научного центра гравитационно-волновых исследований «Дулкын» при Академии Наук Республики Татарстан /104/. Проект осуществляется под руководством З.Мурзаханова и основан на использовании пентагонального двухконтурного интерферометра с внешним периметром полтора метра, на котором экспериментально отработаны: система стабилизации разности фаз оптических излучений во внешнем и внутреннем контурах, система



корреляционной автокомпенсации помех и система оптимальной обработки сигналов.

В работах /3,19-22/ рассматривались различные типы детекторов гравитационно-волновых сигналов, последним, наиболее совершенным из которых, является пентагональный двухконтурный кольцевой интерферометр /3,21/. По мнению авторов проекта, одним из основных отличий пентагонального детектора является высокая помехоустойчивость по отношению к механическим шумам, которые вычтываются в процессе корреляционной обработки.

Это позволяет обнаружить гравитационные излучения миллигерцового диапазона от источников гравитационных излучений типа *PSR 0021-72A*, не поддающихся детектированию обычными методами из-за шумов геофизической природы.

Одним из наиболее масштабных проектов по детектированию гравитационных волн, на сегодня является LIGO.

Детектор антенны LIGO представляет собой четыре массивных зеркала, сделанных либо из плавленого кварца, либо из сапфира, которые подвешены на тонких кварцевых нитях длиной около 1 м. Все зеркала размещены в вакуумных камерах, соединенных вакуумными трубами. Расстояние между зеркалами в каждой паре – 4 км. Когда гравитационная волна проходит, она сначала сдвигает одну пару зеркал и раздвигает другую, в следующий период - наоборот. Лазерный интерферометр регистрирует эти смещения /38, 119/.

Принцип использования пары свободных масс-зеркал и лазерного интерферометра для регистрации их малых колебаний, вызванных гравитационной волной, предложен член-корреспондентом РАН В.И.Пустовойтом и профессором М.Е.Герценштейном в 1962 г.

При расстоянии 4 км между зеркалами и амплитуде волны  $10^{-21}$ , величина амплитуды относительных колебаний зеркал составит  $4 \times 10^{-16}$  см при оптимальной ориентации плеч антенны относительно источника. Достижение такой чувствительности представляет собой очень серьезную технологическую задачу, так как величина амплитуды колебаний в 10 тыс. раз меньше размера атомного ядра. Для этого потребовалось значительно усовершенствовать технологию высокочувствительных измерений, повысить стабильность лазеров, увеличить отражающую способность оптических зеркал, существенно развить квантовую теорию измерений и создать соответствующие технологии.

## **Б.КОСМИЧЕСКИЕ ЛАЗЕРНЫЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРЫ. ДЕТЕКТОР ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН LISA**

Другим уникальным проектом, как было отмечено выше, является проект LISA /336/. LISA (Laser Interferometer Space Antenna) – лазерно-интерферометрическая антенна в космосе – совместный проект Европейского космического агентства и Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства США (НАСА).

Евро-американская спутниковая система LISA будет фиксировать низкочастотный диапазон (от 1 до 0,0001 Гц, длина волны от 0,1 до 10 радиусов земной орбиты).

Основной задачей LISA является обнаружение и детальное изучение гравитационных волн от массивных черных дыр. Сюда входят, как кратковременные сигналы конечных стадий слияния двух объектов, так и излучение, продолжающееся во время всего наблюдательного периода от двойных черных дыр.

Результаты таких наблюдений дадут ценную информацию, как для астрофизики, так и для проверки теории гравитационных волн. Основными вопросами, решаемыми при этом являются:

- Выяснение: происходят ли взрывы достаточно часто, чтобы быть зафиксированными на протяжении работы миссии?
- Выяснение: можно ли зафиксировать более слабые, но продолжительные сигналы над уровнем шумов?
- Наблюдение сигналов от тысяч двойных систем, содержащих компактные звезды и определение их количества и распределения в нашей Галактике. Направление на источники может определяться по амплитуде и изменению фазы сигналов в течение года. На частотах ниже 3 мГц количество галактических двойных систем должно быть достаточно большим, чтобы создавать помехи наблюдениям некоторых важных внегалактических источников. Возможно, также будут обнаружены сигналы от некоторых неизвестных двойных систем.
- Будет проведен поиск непрерывного спектра гравитационного излучения, появившегося еще на ранних стадиях формирования Вселенной в момент Большого Взрыва.

Для проекта LISA вместе будут запущены три идентичных космических корабля, которые самостоятельно выйдут на постоянные орбиты вокруг Солнца. Корабли будут располагаться на вершинах квази-равностороннего треугольника на расстоянии 5 млн. км. друг от друга. Их орбиты будут близки к Земной и космические корабли, будут следовать за нашей планетой на расстоянии около 50 млн. км или 20 градусов по орбите (рис.17.).

Этот треугольник из космических кораблей будет обращен плоскостью к Солнцу и наклонен на  $60^{\circ}$  к плоскости земной орбиты. Он будет двигаться за Землей вокруг Солнца. Для лазерной интерферометрии необходимо, чтобы расстояния между кораблями были, примерно, одинаковыми. Поэтому орбиты выбраны таким образом, чтобы минимизировать изменения расстояний между космическими кораблями. Каждый космический корабль находится на околосолнечной орбите, близкой к земной. Орбиты немного эллиптические и их плоскости несколько наклонены друг к другу и к плоскости земной орбиты (эклиптики). Направления больших полуосей орбит будут отличаться на  $120^{\circ}$  по плоскости эклиптики. Это создаст необходимые условия существования такого треугольника. Тщательно установив наклонения орбит, три космических корабля станут поддерживать треугольную конфигурацию даже, несмотря на то, что каждый движется независимо по своей собственной орбите вокруг Солнца.

При этом измениться и направление плоскости этого треугольника в пространстве, что позволит определить точное направление на постоянные источники гравитационных волн и выяснить их происхождение.

Конструктивно, LISA будет представлять собой гигантский интерферометр Майкельсона, который станет получать информацию о направлении поляризации гравитационных волн. Расстояние между космическими кораблями будет определять рабочий диапазон частот гравитационной антенны, что позволит наблюдать большинство интересных источников гравитационных волн.

Гравитационные волны, проходящие между космическими кораблями, будут создавать небольшие изменения расстояний между ними, которые могут измеряться с очень высокой точностью с помощью лазерной интерферометрии. Это позволит



зафиксировать изменения с точностью до малых долей длины волны.

Чтобы на орбиты космических кораблей не действовали более мощные возмущения, создаваемые солнечным потоком света и солнечным ветром, на них используется «пробная масса» - тело, защищенное от внешних воздействий. При этом, лазерный интерферометр станет измерять расстояния именно между этими пробными массами. И если какие-либо внешние воздействия сместят космические корабли относительно пробных масс, то включатся микродвигатели, которые вернут корабль на место (рис.20.). Таким образом, обеспечиться, как высокая точность измерений, так и движение кораблей строго по их орбитам, т.е. орбитам свободным от сноса /336/.



**Рис. 20.** Схема расположения телескопов, лазеров и пробной массы на космических кораблях проекта LISA /336/.

Для измерения расстояния используются неодимовые лазеры непрерывного действия с выходной мощностью  $1 \text{ Вт}$  в инфракрасном диапазоне спектра ( $1 \text{ мкм}$ ) и  $30\text{-ти}$  сантиметровые телескопы. Это даст возможность измерять расстояние с точностью около  $10 \text{ пикометров}$  каждую секунду (примерно в 10 раз меньше размера атома). Амплитуда гравитационной волны характеризуется относительным изменением расстояния.

Новый подход к обнаружению гравитационных волн предложил Раймонд Чао из Калифорнийского университета Беркли (“Scientific American”, may, 2002).

Новая гипотеза Р.Чао предполагает, что сверхпроводник способен преобразовать радиоволны в гравитационное излучение, которое затем можно снова конвертировать с помощью сверхпроводника в исходную форму.

В своих рассуждениях Р.Чао проводит аналогию между электромагнитным и гравитационным излучениями. Из его работы следует, что входящая в сверхпроводник электромагнитная волна частично отражена как гравитационная, которую другой сверхпроводник превратит снова в электромагнитную. Пока идея широко обсуждается в научных кругах, ее автор готовится к постановке эксперимента.

Как видно из приведенного выше обзора, несмотря на привлечения высоких наукоемких технологий, пока так и не удалось зарегистрировать гравитационные волны с помощью различных конструкций детекторов. Надежды многих ученых возлагаются на уникальные проекты LIGO/VIRGO и LISA.

## **В. СФЕРИЧЕСКИЕ ДЕТЕКТОРЫ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН. ДЕТЕКТОРЫ ГВ TIGA, MiniGRAIL И GRAVITON /380/**

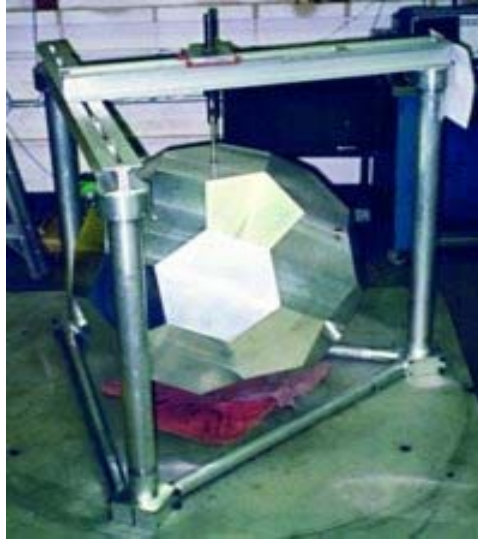
Имеется много путей улучшения резонансных массовых антенн, которые не зависят от температурных помех. Одним из способов является увеличение поперечного сечения антенны. Другим – является создание ряда антенн, каждая из которых ориентирована в различном направлении.

Поэтому, в зависимости от направления распространения гравитационной волны от конкретного источника, наибольшая чувствительность к данному направлению волны, будет проявляться, по меньшей мере, в одной из частей антенны.

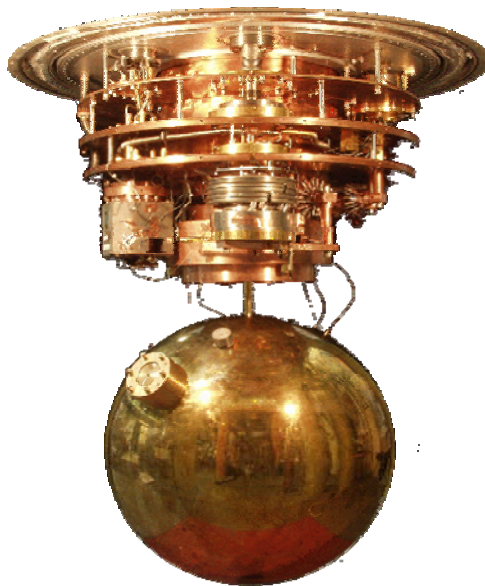
Этот метод повышает эффективность способности антенны наиболее точно определить направление и поляризацию источника излучения. Этот класс антенн называют сферическими.

Прототипом сферических антенн являются квазисферические, примером которых может служить детектор TIGA, разработанный в США, рис.21. Детектор TIGA представляет собой усеченную двадцатигранную антенну гравитационных волн. Расчеты показали, что TIGA, будет по чувствительности к энергии гравитационных волн, примерно, в 56 раз превосходить

эквивалентную антенну стержневого типа с одинаковым значением температурной шумовой помехи.



**Рис. 21. Прототип сферического детектора ГВ TIGA (США) /380/.**

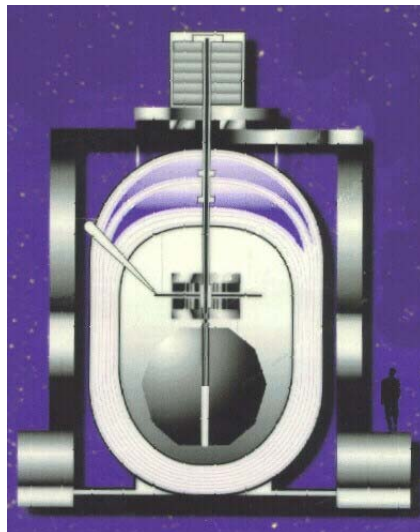


**Рис. 22. Детектор ГВ MiniGRAIL (Нидерланды) /341/.**

Безусловно, полностью сферическая форма, для данного типа детекторов, является идеальной, так как позволяет с высокой точностью определить направление и поляризацию источника излучения гравитационных волн. Примером такой антенны может служить сферическая антенна MiniGRAIL, разработанная в Нидерландах, в лаборатории Kamerlingh Onnes университета Leiden, рис.22.

MiniGRAIL – криогенная сферическая антенна гравитационных волн с диаметром 65 см, сделанная из сплава меди с алюминием и весом около 1150 кг, обладающая резонансной частотой 230 Гц и более. Чувствительность антенны  $\Delta L/L$  составляет  $\sim 4 \cdot 10^{-21}$ . Две аналогичные антенны планируется также построить в Риме и Сан-Паоло, что существенно увеличит шансы обнаружения гравитационных волн при совпадении сигналов.

В настоящее время начато сотрудничество между группой MiniGRAIL в Лейдене и Отделением низкой температуры в университете г. Твенте. Целью является повышение эффективности и чувствительности детектора путем разработки специального квази-квантового устройства *SQUID*. Усиление сигнала исходящего от сферы будет выполняться в три этапа.



**Рис. 23. Детектор ГВ GRAVITON (Бразилия) /380/.**

Первые два являются механическими и реализуются серией из двух резонаторов с уменьшающимися массами, связанными со сферой и колеблющимися на той же частоте  $3,1$  кГц.

Последний этап – электрический: смещение последнего резонатора регулирует магнитное поле, производимое сверхпроводящей катушкой. Модуляция будет выявлена принимающим электродом, связанным с *SQUID*.

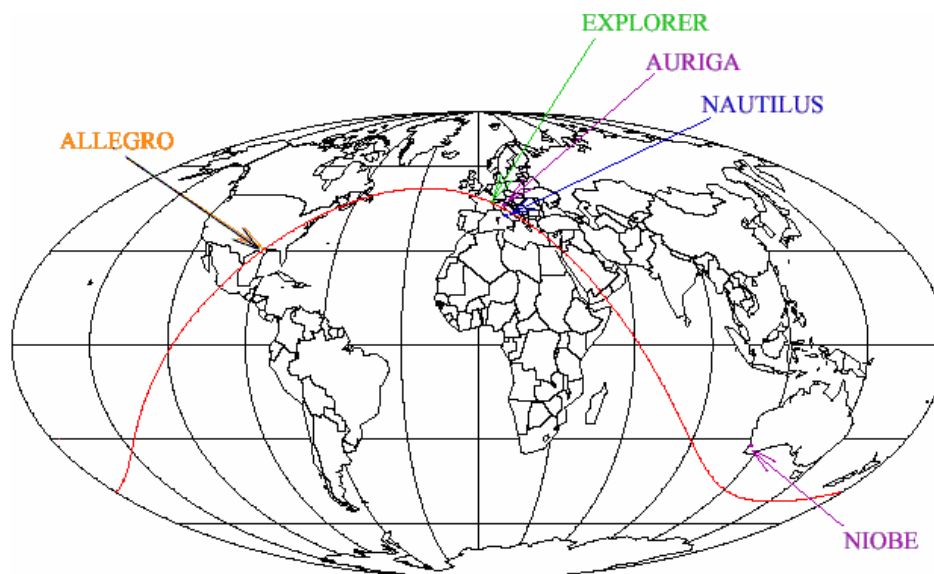
Разработка в Сао-Паоло (Бразилия) сферического гравитационно-волнового детектора осуществляется в соответствии с проектом GRAVITON. Данный детектор, показанный на рис.23. будет входить в систему аналогичных детекторов, разрабатываемых и размещенных в различных частях мира. Общий принцип работы практически не отличается от описанных выше.

## **Г. РЕЗОНАНСНО-МАССОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН**

Впервые конструкция резонансно-массового детектора была предложена Джозефом Вебером (1919-2000 гг.) в 60-х годах прошлого столетия. Он предложил использовать большой пьезокристалл для детектирования осциллирующего напряжения, созданного переменным гравитационным полем. В 1966 году Вебер сконструировал свою первую резонансно-массовую гравитационно-волновую антенну, описание принципа действия которой было приведено выше.

## **МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО ПО ИЗУЧЕНИЮ ГРАВИТАЦИОННЫХ СОБЫТИЙ INTERNATIONAL GRAVITATIONAL EVENT COLLABORATION (IGEC) /319/**

В настоящее время в мире функционирует пять резонансно-массовых детекторов гравитационных волн: NAUTILUS, EXPLORER, AURIGA, NIOBE, ALLEGRO. По мнению разработчиков, они обладают чувствительностью, позволяющей зарегистрировать любые источники гравитационных волн в нашей Галлактике. Начиная с 1997 года все вышеуказанные детекторы, составили ядро Международного сотрудничества по изучению гравитационных событий (IGEC).



**Рис. 24. Схема размещения резонансно-массовых детекторов гравитационных волн, составляющих ядро системы IGEC /319/.**

#### **ДЕТЕКТОР ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН NAUTILUS /395/**

Гравитационно-волновая антенна NAUTILUS представляет собой цилиндр весом 2300 кг, длиной 3 м и диаметром 60 см. Он охлаждается до температуры 0,1 К. Его резонансная частота составляет 908 и 924 Гц, соответственно для двух рабочих режимов /395/. Данная лаборатория размещена в лаборатории Национального Института Ядерной Физики Нидерландов (Laboratori Nazionali Di Frascati – I.N.F.N.).

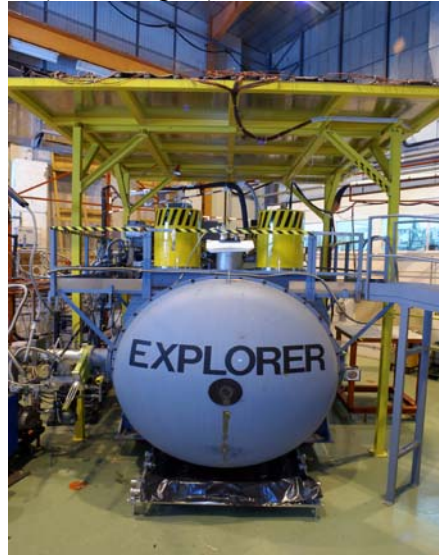
#### **ДЕТЕКТОР ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН EXPLORER /393/**

EXPLORER является криогенным резонансно-массовым детектором гравитационных волн.

Антенна EXPLORER представляет собой сплошной металлический цилиндр весом 2300 кг и длиной 3 м. Его диаметр составляет 60 см. Он охлаждается при температуре жидкого гелия (4,2 К) и работает при температуре 2 К, которая достигается путем

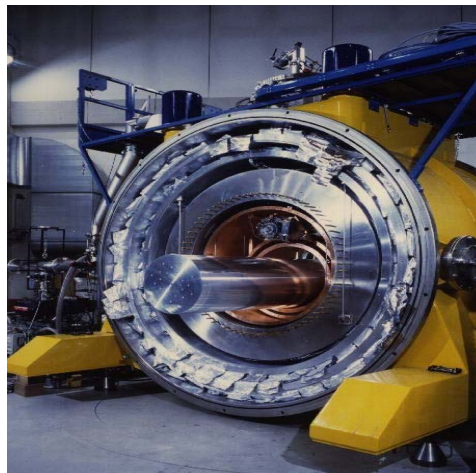
уменьшения давления в резервуаре жидкого гелия. Его резонансные частоты равны 906 и 923 Гц.

Этот детектор находится в непрерывной работе и расположен в CERN (Швейцария).



**Рис. 25. Детектор ГВ EXPLORER (Швейцария) /393/**

**ДЕТЕКТОР ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН AURIGA /400/**



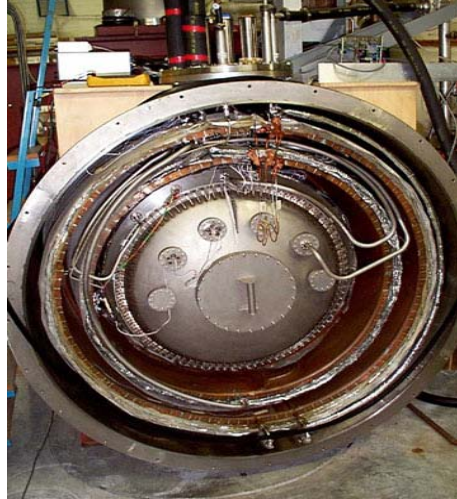
**Рис. 26. Детектор AURIGA (Италия) /400/**

Гравитационно-волновая антенна AURIGA представляет собой криогенный резонансно-массовый детектор, принцип



действия которого, во многом, аналогичен описанным выше. Основой детектора является сплошной металлический цилиндр, охлаждаемый до низких температур.

**ДЕТЕКТОР ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН NIOBE /315/**



**Рис. 27. Детектор ГВ NIOBE (Австралия) /315/**



**Рис. 28. Детектор ГВ ALLEGRO (США) /338/**



NIOBE является высокочувствительным детектором гравитационных волн, в котором используются особые акустические свойства ниобия. Ниобий – металл с самыми низкими, известными на сегодня, акустическими потерями и при комнатных и при криогенных температурах.

Детектор NIOBE состоит из 1,5 тонного монолитного бруска ниобия, находящегося в температурной и вибрационной изоляции, при этом используется бесконтактная система считывания. Считывание производится с помощью микроволнового излучателя, излучение которого модулируется колебаниями в антенне. NIOBE был введен в действие в 2001 году и обладает чувствительностью  $\sim 10^{-19}$ . Этой чувствительности достаточно, чтобы обнаружить излучения от сверхновых до рождения нейтральных звезд, слияния черных дыр в нашей Галактике.

#### **ДЕТЕКТОР ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН ALLEGRO /338/**

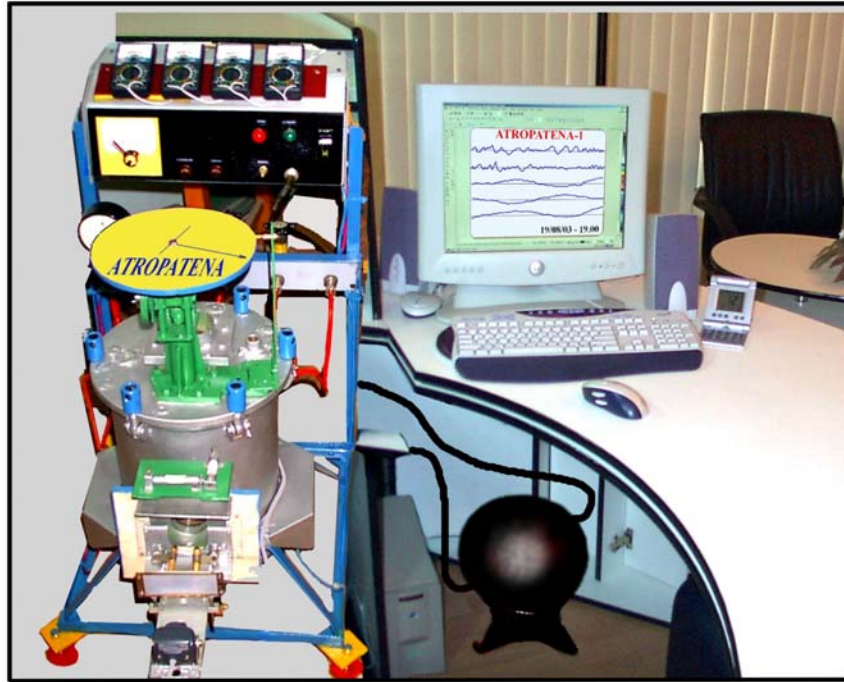
Детектор ALLEGRO – это криогенный резонансно-массовый детектор со сверхпроводящим индуктивным преобразователем и усилителем SQUID. Основной резонансный диапазон ALLEGRO составляет около 900 Гц. Данные ALLEGRO записываются постоянно, начиная с 1991 года. Никаких совпадающих событий с другими детекторами пока не было обнаружено.

#### **3.3.3. НОВЫЙ КЛАСС ДЕТЕКТОРОВ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН. ТОРСИОННЫЙ ДЕТЕКТОР АТРОПАТЕНА-1**

Принципиально новым классом гравитационно-волновых детекторов являются торсионные детекторы сверхдлинных гравитационных волн (СГВ), разработанные автором настоящей монографии Э.Н.Халиловым (заявка на получение патента на изобретение № РСТ/AZ03/00001, приоритет от 24 июля 2003 г.).

Первый торсионный детектор АТРОПАТЕНА-1 был сконструирован и изготовлен в Научно-исследовательском институте по прогнозированию и изучению землетрясений Азербайджанской Секции Международной Академии Наук совместно с Научным Центром Фундаментальных и прикладных исследований.

На рис.29 показан торсионный детектор АТРОПАТЕНА-1.



**Рис. 29.** Торсионный детектор сверхдлинных гравитационных волн АТРОПАТЕНА-1 (Баку, 2003 г.).



**Рис. 30.** Система грузов детектора СВГ АТРОПАТЕНА-1.

Детектор АТРОПАТЕНА полностью автоматизирован и способен работать, как под управлением оператора, так и полностью в автономном режиме. Гравитационно-волновые сигналы записываются в непрерывном режиме на жесткий диск компьютера, а затем анализируются с помощью специально разработанных программ.

Детектор АТРОПАТЕНА-1 рассчитан на регистрацию гравитационных волн с частотой от 0,1 гц до  $10^{-20}$  гц. В рабочей камере детектора СГВ размещается система регистрации и создается глубокий вакуум с помощью вакуумного насоса. Информация о микроперемещениях чувствительных элементов детектора снимается с помощью двух лазерных излучателей и приемника связанного с компьютером.

Приемник передает информацию о микро- перемещениях чувствительных элементов детектора на вход компьютера, записывающего информацию в цифровом виде, результаты измерений могут просматриваться на компьютере, как в реальном масштабе времени, так и после записи, помещенной в архив.

Регистрирующая система включает в себя помещенные в рабочую камеру грузы, выполненные в виде хромированных цилиндрических емкостей из латуни, заполненных ртутью. Вес каждого груза составляет 13 кг. Грузы имеют возможность перемещаться вокруг центральной оси чувствительной системы с точностью до 0,1 мм, что достигается с помощью сложной механической системы.

В рабочей камере, также размещаются чувствительные элементы с зеркалами, отражающими лазерные лучи. На рис.30 показана фотография системы грузов детектора СГВ.

### 3.3.4. ГРАДАЦИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

На наш взгляд, было бы справедливо разделить гравитационные волны, имеющие различную по масштабам и характеру происхождения, природу излучения на три основных класса: **астрогравитационные волны (Astro Gravity Waves «AG»)**, связанные с гигантскими астрофизическими процессами и имеющие огромную длину волны, исчисляемую  $>3 \cdot 10^5$  м, **геогравитационные волны (Geo Gravity Waves «GG»)**, излучаемые в пределах Земли при крупномасштабных импульсных

геодинамических событиях - землетрясениях, извержениях вулканов, а также искусственных - мощных ядерных взрывах в земной коре, водных акваториях и атмосфере, и имеющих длину волны от  $3 \cdot 10^5$  м до 0,01 м и **микрोगравитационные волны (Micro Gravity Waves "MG")**, образующиеся при взаимодействиях элементарных частиц с длиной волны меньше 0,01 м.

В то же время, в зависимости от длины волны, гравитационные волны, нами предлагается разделить на основные типы: **сверхдлинные гравитационные волны (Super Long Gravity Waves "SLG")**; **инфразавитационные волн (Infra Gravity Waves "IG")**; **гравитационные волны (Gravity Waves "GW")**; **ультразавитационные волны (Ultra Gravity Waves "UG")** и **гипергравитационные волны (Hyper Gravity Waves "HG")**,  
Таблица 3.2.

Таблица № 3.2

Назва-ни типа гравита- цион-ных волн	Супер- длинные гравита- цион- ные волны "SGL"	Инфразра- гравита- онные волны "IG"	Грави- тацион-ные волны "G"	Ультра- грави- тацион- ные "UG"	Гипер- грави- таци- онные волны «HG»
Длина волны	$> 3 \cdot 10^5$ м	от $3 \cdot 10^5$ м до $3 \cdot 10^3$ м	от $3 \cdot 10^3$ м до 10 м	от 10 м до 0,01 м	$< 0,01$ м

### **3.4. ЛОГИЧЕСКАЯ ОШИБКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДЕТЕКТОРОВ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН И СПОСОБ ЕЕ УСТРАНЕНИЯ**

В чем причина того, что прошло уже более 30 лет со времени изобретения Дж. Вебером первого детектора гравитационных волн, но с тех пор, попытки зарегистрировать гравитационные волны так и не увенчались успехом.

Несмотря на огромные финансовые средства, выделяемые на решение проблемы регистрации гравитационных волн, цель пока что, так и не достигнута. Возникает естественный вопрос: в чем причина? Единственным ответом создателей функционирующих сегодня детекторов, является недостаточная чувствительность существующих гравитационно-волновых антенн. Но так ли это на самом деле?

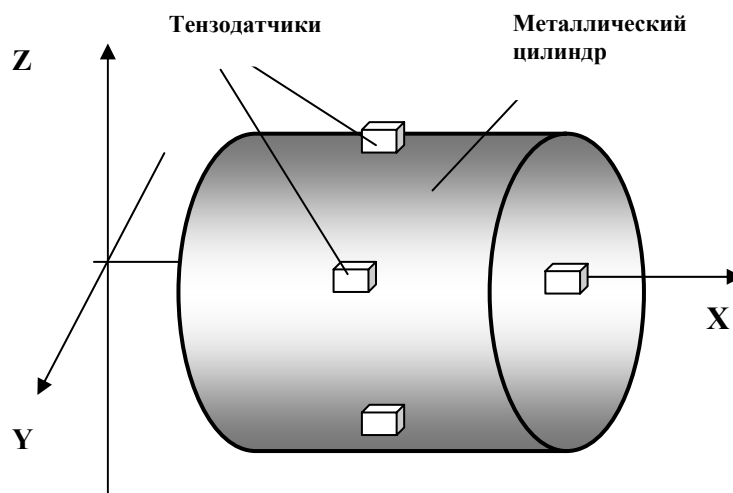
Единственной целью настоящего раздела, является стремление выяснить возможную причину сопутствующих этим исследованиям неудач и попытаться, по возможности, помочь своим коллегам, в решении данной проблемы. На наш взгляд, эта проблема связана не столько с низкой чувствительностью детекторов, сколько с логической ошибкой, закравшейся при их проектировании. Попробуем разобраться в этой ошибке и начнем с резонансных типов детекторов, например, с детектора Дж. Вебера.

Детектор Вебера представляет собой устройство для регистрации гравитационных волн, содержащее сплошной металлический цилиндр и специальные тензодатчики, регистрирующие деформацию цилиндра при прохождении гравитационных волн, на резонансной частоте цилиндра.

Сущность данного устройства заключается в том, что размеры сплошного металлического цилиндра соизмеримы с длиной регистрируемой гравитационной волны ( $\leq \lambda/2$ ), в связи с чем, при прохождении первого полупериода гравитационной волны, она вытягивает цилиндр по направлению распространения и сжимает поперек. При прохождении второго полупериода, цилиндр сжимается по направлению распространения волны и расширяется перпендикулярно ему. Деформации цилиндра, в результате прохождения гравитационных волн, должны, по задумке разработчиков, регистрироваться с помощью специальных тензодатчиков (например: пьезодатчиков), и по результатам этих измерений, судят о прохождении гравитационной волны. На рис.31. показана принципиальная схема конструкции детектора Вебера.

Недостатком этого устройства является то, что его физическая основа противоречит принципу относительности специальной теории относительности, в связи, с чем оно не может быть использовано для регистрации гравитационных волн.

Согласно общей теории относительности, тяготение трактуется, как искривление пространственно-временного континуума массами, т.е. любые массы искривляют вокруг себя пространство. Именно это искривление пространства и является основной причиной гравитационного взаимодействия масс.

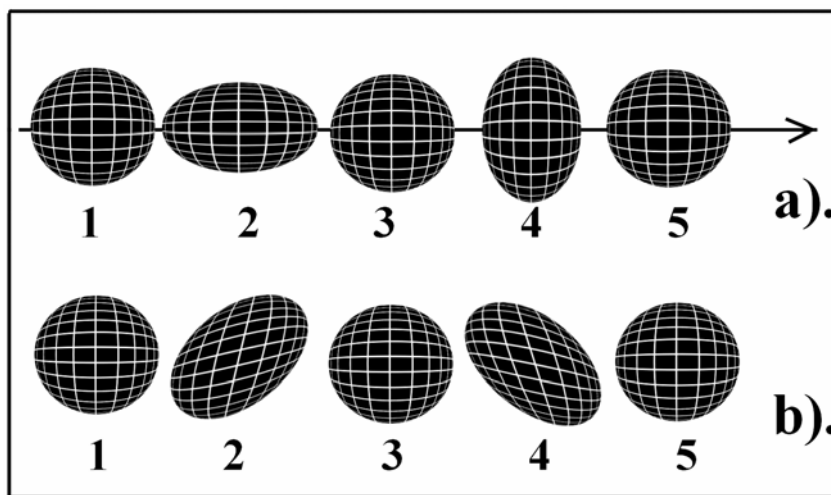


**Рис. 31. Схематическое изображение принципа действия детектора Вебера.**

Гравитационная волна представляет собой переменное гравитационное поле, свободно распространяющееся в пространстве со скоростью света и проявляющееся в возникновении относительных ускорений тел. Распространяясь в пространстве, гравитационная волна квадрупольно искривляет пространство и все тела, находящиеся в нем так, как это показано на рис.32.

Так, на рис.32.а, схематически показана деформация сферического тела в поле проходящей гравитационной волны, направление распространения которой показано стрелкой. Позиция 1 до прохождения волны, позиция 2 в момент прохождения первой полуволны, позиция 3 соответствует моменту смены первой полуволны на вторую, позиция 4 отражает прохождение второй полуволны и позиция 5 – момент смены полуволн. На рис.32.б,

отображены те же позиции, однако в этом случае волна направлена перпендикулярно к плоскости изображения.



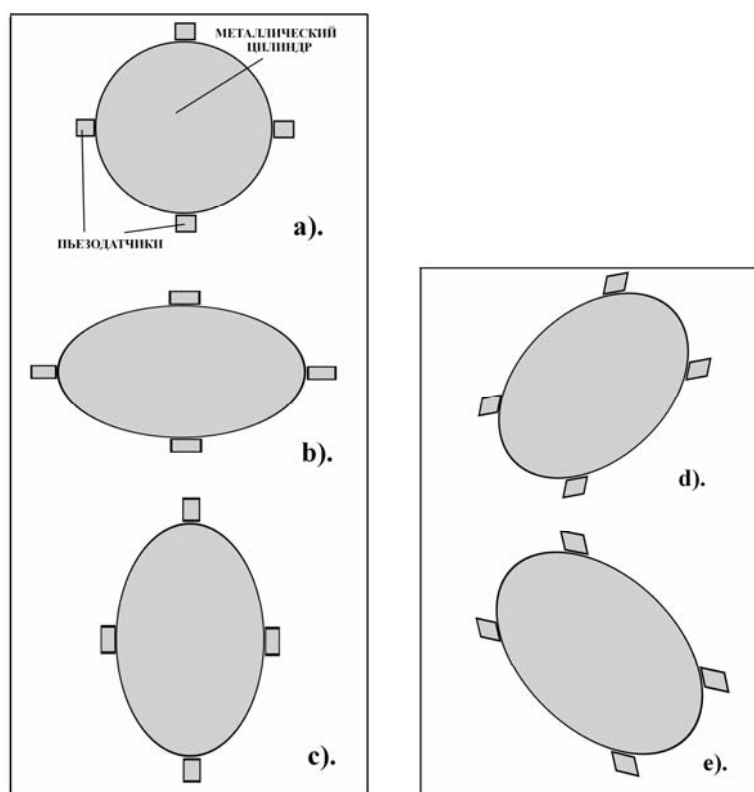
**Рис. 32. Изображение деформации сферического тела при прохождении через него гравитационной волны.**

Учитывая, что при прохождении гравитационных волн, длина которых  $\lambda$ , как минимум вдвое, превышает линейные размеры цилиндра, происходит деформация цилиндра и окружающего его пространства, причем изменение кривизны пространства охватывает не только цилиндр, но и датчики, которые должны измерять эти деформации. Таким образом, согласно основным положениям теории относительности, регистрация гравитационных волн с помощью датчика Вебера, в принципе, невозможна.

Принцип относительности гласит, что все законы инвариантны по отношению к переходу от одной инерциальной системы отсчета к другой. Это означает, что если каким-либо образом изменяется система координат, то все процессы и законы природы в этой системе координат изменяются инвариантно по отношению друг к другу.

При рассмотрении проблемы регистрации гравитационных волн, необходимо определить критерий, который определяет параметры системы координат. Единственным критерием в этом случае является длина гравитационной волны, которую мы хотим зарегистрировать. Таким образом, длина координат  $X, Y, Z$  системы, в которой должен изменять свои линейные размеры

чувствительный элемент, должна быть  $< \lambda/2$ , где  $\lambda$  - длина гравитационной волны. Исходя из принципа относительности Эйнштейна, при изменении этой системы координат, никакими способами невозможно измерить любые физические изменения процессов или размеров тел и расстояний между ними с помощью приборов или физических принципов работающих в этой системе координат. Однако принцип действия датчика Вебера противоречит принципу относительности Эйнштейна. Продемонстрируем это на конкретном примере.



**Рис. 33. Схема влияния прохождения гравитационной волны на металлический цилиндр и тензодатчики в детекторе Вебера.**

Влияние гравитационной волны на металлический цилиндр (резонатор) и регистрирующие тензодатчики в детекторе Вебера показано на рис.33. При этом на рис.33. *a,b,c* показаны



деформации цилиндра при направлении гравитационной волны перпендикулярно его оси (параллельно торцу), а на рис.33. d) и e) - при направлении волны параллельно его оси (перпендикулярно торцу).

Т.е. наряду с измеряемой величиной (линейными размерами цилиндра), соразмерно меняются размеры и форма измерительных датчиков, в результате чего, датчики не могут зарегистрировать деформацию цилиндра, связанную с прохождением гравитационной волны. В то же время, эти датчики регистрируют любые вибрации и шумы, не относящиеся к гравитационным волнам, например микросейсмы, вибрации от работающих механизмов т.д.

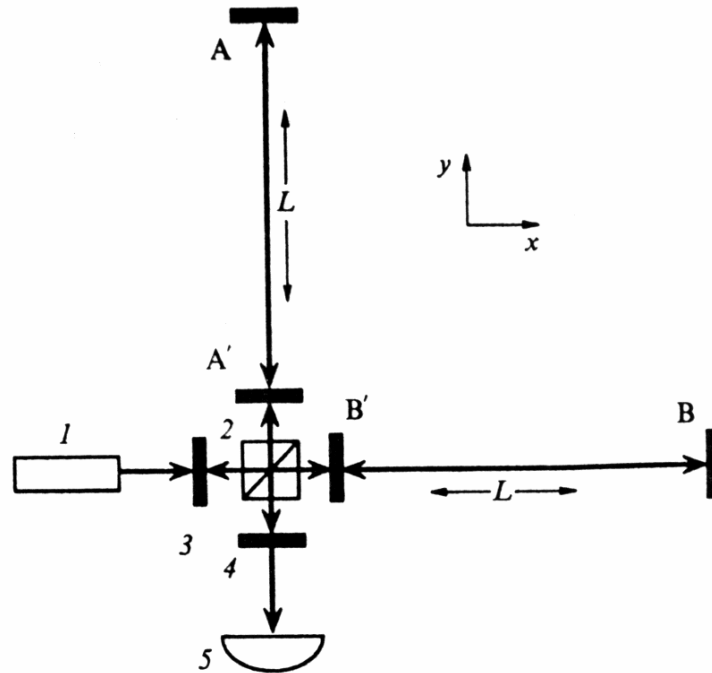
Более совершенным и эффективным принято считать устройство для регистрации гравитационных волн, в основе которого используется принцип лазерного интерферометра. В качестве примера можно рассмотреть принцип действия гравитационно-волновой антенны LIGO (США).

На рис.34. приведена схема принципа действия детектора LIGO.

LIGO, представляет собой, лазерный интерферометр, состоящий из двух  $L$  – образно соединенных вакуумных тоннелей, внутри которых распространяются лазерные лучи.

Основными элементами детектора являются два оптических резонатора Фабри-Перо, состоящих из двух пар зеркал  $AA'$  и  $BB'$ . Расстояние между зеркалами в каждой паре  $L = 4 \times 10^5$  см. Лазерный луч, исходящий от излучателя 1 проходит через оптический делитель 2, который вместе с дополнительными зеркалами 3 и 4 обеспечивает связь между резонаторами. У зеркал  $A$  и  $B$  коэффициент отражения равен единице.

Отражаясь от этих зеркал  $A$  и  $B$ , лазерные лучи возвращаются обратно и попадая на вторую пару зеркал  $A'$  и  $B'$  отражаются от них, возвращаясь на зеркала в конце тоннелей. После кратного отражения от обеих пар зеркал, лазерные лучи возвращаются в зону пересечения тоннелей, где накладываются друг на друга создавая интерференционную картину, фиксируемую регистратором интерференции.



**Рис. 34. Схема принципа действия детектора LIGO /38/.**

При очень малых смещениях зеркал, сопоставимых с длиной волны лазера, интерференционная картина должна измениться и это изменение регистрируется с помощью специального регистратора.

Основным недостатком этого устройства, по нашему мнению, также, как и в случае, с датчиком Вебера, является невозможность с его помощью регистрировать гравитационные волны из-за нарушения основного принципа общей теории относительности - принципа относительности.

Как и в случае с детектором Вебера, гравитационная волна, длина которой  $\lambda$  соизмерима с размерами регистрирующей системы, в данном случае, с длиной  $L$ -образной системы тоннелей, в которых распространяются лазерные лучи, изменяет геометрические параметры этой системы и пространства, в целом, так, как это показано на рис.35.

Между тем, система  $L$ -образных тоннелей, представляет собой идеальную систему координат  $X, Y$ , как часть трехмерного пространства  $X, Y, Z$ , изменяющего свою кривизну под действием

переменного гравитационного поля, порождаемого прохождением гравитационной волны.

Естественно, что при прохождении гравитационной волны периодически меняются линейные размеры всей системы и, зеркала, подвешенные на тонких нитях в начале и конце тоннеля, будут то приближаться, то удаляться относительно друг друга. Казалось бы, является вполне логичной возможность зарегистрировать эти перемещения дистанционно, с помощью лазерного луча, который должен фиксировать эти перемещения зеркал.

Такое техническое решение является ошибочным из-за нарушения принципа относительности специальной теории относительности. Лазерный луч, проходящий внутри тоннеля, является частью регистрирующей системы, параметры которой характеризуются системой координат  $X, Y, Z$ .

Следовательно, изменение кривизны пространства, приводящее к линейным изменениям не только регистрирующей системы, но и всего пространства, приведет и к соответствующему линейному изменению всех элементов системы, в том числе параметров самого луча, что следует из принципа относительности. На самом деле, согласно принципу относительности, параметры лазерного луча не изменятся относительно самой, измененной вместе с ним, системы координат, так как линейные параметры луча, будут меняться инвариантно линейным изменениям всей системы координат и данный луч, не изменит интерференционной картины при приближении или удалении зеркал, так как длина его волны будет соразмерно этим изменениям уменьшаться или увеличиваться.

То есть, будет сохранена инвариантность всех процессов внутри измененной, гравитационной волной, системы координат. Однако, относительно другой системы координат, которая не была подвергнута воздействию гравитационной волны, длина волны лазерного луча будет изменяться на величину соответствующую линейным изменениям искривленного гравитационной волной пространства.

На рис.35, для наглядности, схематически показан пример изменения параметров луча при изменении кривизны пространства, под действием гравитационной волны и, как следствие, всех параметров регистрирующей системы вместе с системой координат.

На рис.35. а) схематически показано распространение лазерного луча внутри тоннелей параллельных осям  $X$  и  $Y$  до прохождения гравитационной волны.

$R_{Y1}$  и  $R_{X1}$  - зеркала установленные на тонких нитях в конце тоннелей, размещенных вдоль осей  $X$  и  $Y$ . В то же время,  $X_1$  и  $Y_1$  расстояния от зеркал  $R_Y$  и  $R_X$ , находящегося в точке пересечения 0 тоннелей до зеркал  $R_{Y1}$  и  $R_{X1}$ .

Как видно, зеркала не меняют своего положения относительно осей, также как и остаются неизменными длины волн лазерных лучей.

На рис.35. в) показано изменение линейных размеров всей системы при прохождении первой гравитационной полуволны, длина которой превышает длину регистрирующей системы (длину тоннелей). Как видно, расстояние  $X_2$  до зеркала  $R_{X1}$  по оси  $X$  увеличилось, а по оси  $Y$  расстояние  $Y_2$  уменьшилось. Соответственно, длина волны  $L_{B2}$  лазера по оси  $X$  увеличилась, а длина волны  $L_{B1}$  лазера по оси  $Y$  – уменьшилась.

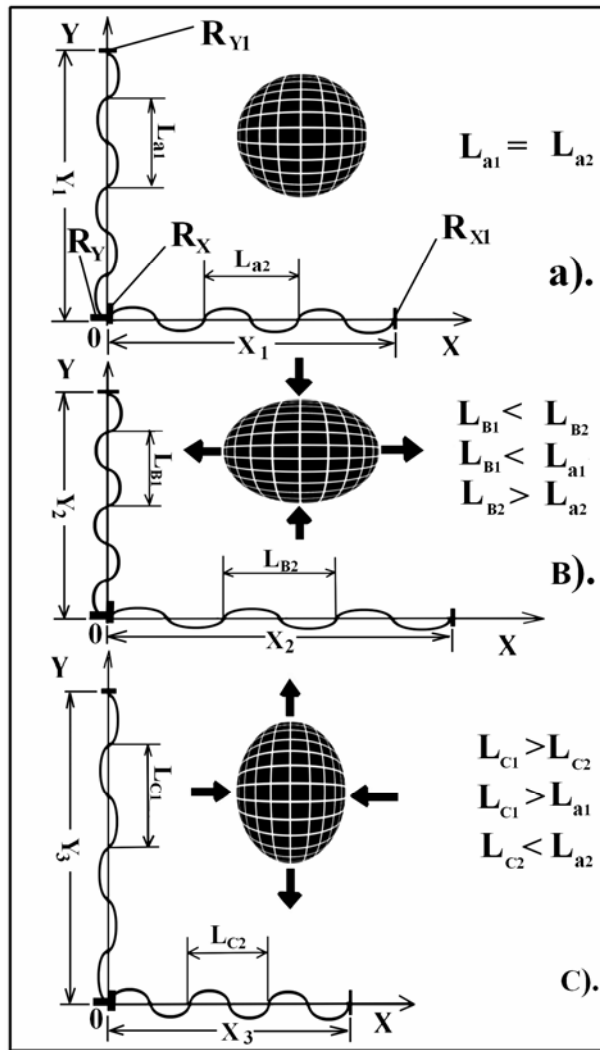
На рис.35. с) показано изменение линейных размеров системы координат при прохождении второй гравитационной полуволны. Как видно, расстояние  $X_3$  до зеркала  $R_{X1}$  по оси  $X$  уменьшилось, а по оси  $Y$  расстояние  $Y_3$  увеличилось. Соответственно, длина волны  $L_{C2}$  лазера по оси  $X$  уменьшилась, а длина волны лазера  $L_{C1}$  по оси  $Y$  – увеличилась.

Длина волны лазерного луча  $L$  в измененной системе координат, рис.35 в)., деформируемой первой гравитационной полуволной, изменится на величину  $\Delta L_{ex,y}$  по-разному, вдоль осей  $X$  и  $Y$  относительно неизменной системы координат:

$$\Delta L_{BX} = (X_1 - X_2) \cdot L \cdot X_1^{-1} \quad (3.1.)$$

$$\Delta L_{BY} = (Y_1 - Y_2) \cdot L \cdot Y_1^{-1} \quad (3.2.)$$

где  $L$  – длина волны лазера в неизменной системе координат (до прохождения гравитационной волны);  $X_1$  и  $X_2$  расстояние от лазерного излучателя до зеркала  $R_{X1}$  соответственно до прохождения гравитационной волны и при прохождении первой гравитационной полуволны;  $Y_1$  и  $Y_2$  - расстояние от лазерного излучателя до зеркала  $R_{Y1}$  соответственно до прохождения гравитационной волны и при прохождении первой гравитационной полуволны;



**Рис. 35. Схематическое изображение изменений длины волны лазера при прохождении гравитационной волны через лазерный интерферометр.**

Между тем, при прохождении второй гравитационной полуволны, длина волны лазерного луча вдоль осей  $X$  и  $Y$ , также изменится на величину  $\Delta L_{cx,y}$ :

$$\Delta L_{cx} = (X_1 - X_3) \cdot L \cdot X_1^{-1} \quad (3.3)$$

$$\Delta L_{cy} = (Y_1 - Y_3) \cdot L \cdot Y_1^{-1} \quad (3.4)$$

где  $L$  – длина волны лазера в неизменной системе координат (до прохождения гравитационной волны);  $X_1$  и  $X_3$  расстояние от лазерного излучателя до зеркала  $R_{X1}$  соответственно до прохождения гравитационной волны и при прохождении второй гравитационной полуволны;  $Y_1$  и  $Y_3$  – расстояние от лазерного излучателя до зеркала  $R_{Y1}$  соответственно до прохождения гравитационной волны и при прохождении второй гравитационной полуволны;

Таким образом, как видно из выражений (3.3) и (3.4) длина волны лазера  $L$  в обоих тоннелях гравитационно-волнового лазерно-интерферометрического детектора будет увеличиваться и уменьшаться инвариантно линейным изменениям всей системы регистрации (системы координат). Единственным выходом из создавшейся ситуации является разделение систем координат, в которой размещен чувствительный элемент (датчик) с изменяющимися линейными размерами при прохождении гравитационной волны и системы регистрации, с помощью которой производятся измерения деформаций датчика.

*Однако, наблюдатель, находящийся вне измененной системы координат, смог бы зафиксировать изменения этих параметров.*

*Между тем, конструкция и метрические параметры самой регистрирующей системы должна быть такой, чтобы результаты ее измерений не подвергались воздействию гравитационной волны, искривляющей пространственно-временной континуум. И такая конструкция нами рассматривается ниже.*

Для устранения вышеописанного недостатка резонансно-массовых детекторов и лазерных интерферометрических гравитационно-волновых антенн, нами была предложена новая конструкция детектора гравитационных волн с разделенными системами координат чувствительного элемента и регистрирующей системы. При этом, усовершенствованный детектор представляет собой совокупность двух разных типов детекторов – лазерного интерферометра и резонансно-массового детектора. То есть, в качестве чувствительного элемента использована резонирующая масса, а в качестве регистрирующей системы – лазерный интерферометр. Сущность предлагаемой конструкции заключается в том, что резонатор и регистрирующая система представляют собой две независимые друг от друга системы координат, параметры одной из которых (резонатора) непосредственно связаны с длиной регистрируемой волны, т.е. его линейные размеры должны быть

меньше полупериода длины гравитационной волны ( $< \lambda/2$ ). На координатную систему резонатора, оказывает деформирующее влияние регистрируемая гравитационная волна, и эти деформации резонатора, фиксируются регистрирующей системой. В то же время, вся регистрирующая система (лазерный интерферометр) представляет собой другую систему координат, на которую не оказывает влияния, проходящая через систему, регистрируемая гравитационная волна, так как длина гравитационной волны значительно меньше линейных размеров регистрирующей системы. Таким образом, с помощью независимой от резонатора регистрирующей системы - лазерного интерферометра не подверженного воздействию гравитационной волны, регистрируются незначительные изменения линейных размеров резонатора при прохождении гравитационной волны.

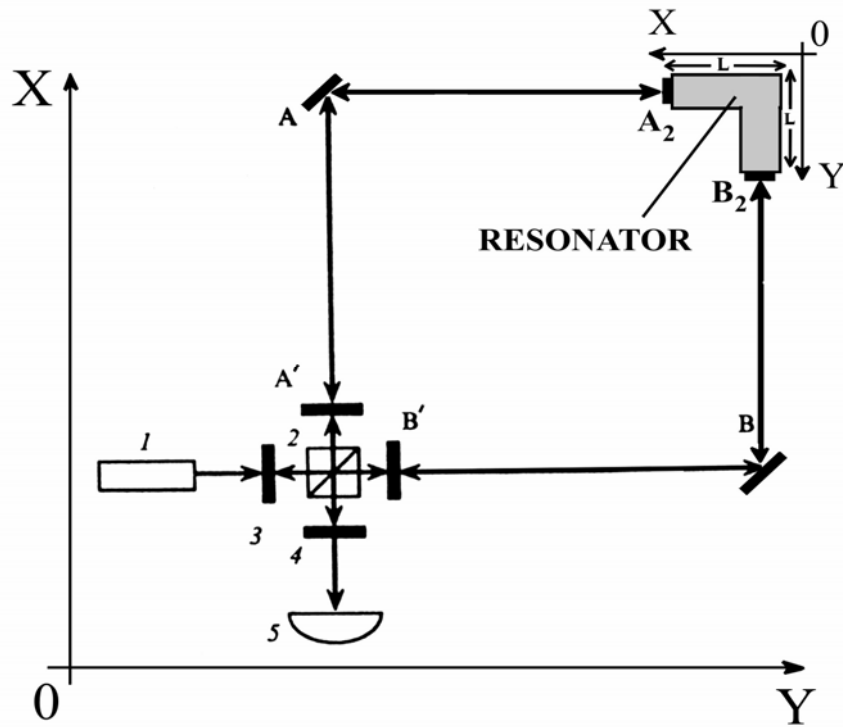
На рис.36 показана принципиальная схема конструкции предлагаемого детектора гравитационных волн.

Устройство работает следующим образом. Когерентные лазерные лучи исходят от излучателя 1 и проходя через оптический делитель 2 попадают на зеркала  $A$  и  $B$ , проходя через дополнительные полупрозрачные зеркала 3 и 4, а также  $A'$  и  $B'$ .

Как видно из схемы, первая часть гравитационного интерферометра в точности повторяет конструкцию известной антенны LIGO. Но вторая часть детектора принципиально отличается предлагаемой нами конструкцией от антенны LIGO. Зеркала  $A$  и  $B$  повернуты на  $45^\circ$ , благодаря чему лазерные лучи отражаются под прямым углом и попадают на зеркала  $A_2$  и  $B_2$ , расположенные на концах  $L$  – образного резонатора, выполненного из сплошного материала, например, металла, длина плеч которого  $< \lambda/2$  гравитационной волны.

Таким образом, при прохождении гравитационной волны, длина которой, более чем в два раза превышает линейные размеры резонатора, она квадрупольно деформирует резонатор, выполненный из сплошного материала.

При этом, учитывая, что длина гравитационной волны, значительно меньше линейных размеров системы регистрации лазерного интерферометра, гравитационная волна не оказывает на регистрирующую систему деформирующего воздействия. Лазерный луч, отраженный от поверхности зеркал  $A_2$  и  $B_2$  зарегистрирует и малые смещения относительно зеркал  $A$  и  $B$ .



**Рис. 36.** Схема изменения конструкции лазерного интерференционного резонансно - массового детектора гравитационных волн LIGO, предложенная Халиловым Э.Н., 2003 г.

Как следует из вышеописанного, если в известных на сегодня, конструкциях детекторов гравитационных волн не соблюден принцип относительности, то в данной конструкции, этот недостаток ликвидирован.

Таким образом, если параметры, одной из систем координат, в которой функционирует резонатор, заданы длиной гравитационной волны, то измерительная система, должна находиться вне поля действия гравитационной волны. Это возможно только в том случае, если метрические параметры регистрирующей системы будут существенно превышать линейные параметры чувствительного элемента и длины регистрируемой волны, но никак ни наоборот. В этом, и только лишь в этом случае, измерительная система (лазерный



интерферометр) не будет подвержена влиянию регистрируемой гравитационной волны.

К сожалению, выявленная нами логическая ошибка содержится в проекте LISA, в котором также используется принцип лазерного интерферометра. Между тем, ошибка в проекте LISA, не может быть устранена так же просто, как в проекте LIGO. По мнению автора, проект LISA должен быть полностью пересмотрен.

## **ГЛАВА 4. ВЫЯВЛЕНИЕ СВЕРХДЛИННЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН**

### **4.1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ**

#### **4.1.1. МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ СКРЫТЫХ ПЕРИОДИЧНОСТЕЙ**

Изучение геологических, геофизических и космологических процессов в пространстве и во времени требует применения специального математического аппарата, включающего элементы теории вероятностей, математической статистики и математического моделирования. Одной из наиболее распространенных черт природных явлений является периодичность. Однако, обычно временные ряды, отражающие изменение во времени того или иного процесса, характеризуются наличием существенного “шума”. В результате этого, выявление скрытой периодичности в геологических, геофизических и космологических процессах является сложной и важной задачей. В ряде случаев, задача выявления скрытой периодичности осложняется тем, что анализируемый временной ряд имеет длину, сравнимую с периодом одной из предполагаемых компонент.

Выявление скрытой периодичности может производиться двумя различными методами – посредством линейного преобразования исходного ряда, например методом усреднения процесса за пробный период или методом скользящей средней, либо корреляционными методами выявления скрытых периодичностей [79,234,235].

При обработке статистической информации об извержениях вулканов и землетрясениях необходимо учитывать, что массив данной информации (генеральная совокупность) представляет собой большую стохастическую систему. Развитие стохастических систем, как

известно, подчиняется вероятностным законам. Это значит, что прослеживаемые тенденции сопровождаются случайными отклонениями в ту или иную сторону от общего тренда. Это объясняется тем, что на рассматриваемые процессы в большей или меньшей степени оказывают влияние огромное множество факторов, как земных, так и космических. К ним относятся: изменение тектонической активности Земли, вызванное внутренними физико-химическими процессами; расположение Земли в различных участках галактической орбиты; расположение планет относительно Земли и Солнца; лунно-солнечные приливы; солнечная активность и т.д. Поэтому, графики изменения во времени реальных чисел рассматриваемых параметров, представляет собой ломаную линию со значительными резкими колебаниями, на фоне которых прослеживается общий тренд.

Как уже было отмечено выше, ошибки в определении исследуемых параметров, например, количества извержений вулканов или землетрясений, носят некоррелированный, стохастический характер. Тогда они, как и всякий шум, могут быть отфильтрованы простым линейным преобразованием исходного ряда.

Преобразованием такого типа является, например, сглаживание исходного ряда последовательно  $\tau$  – летними,  $\varphi$  – летними и т.п. скользящими средними. Под термином “сглаживание  $\tau$  – летними скользящими средними” здесь и далее понимается процедура усреднения членов некоторого ряда  $x(i)$  за пробный период  $\tau = n + 1$  ( $n$  – четное), в результате чего образуется ряд:

$$X_{\tau}(j) = \frac{1}{n+1} \sum_{i=j-n/2}^{j+n/2} (X_i) \quad (4.1.)$$

Частотная характеристика линейного преобразования (4.1) для достаточно большого набора  $x(i)$  имеет вид:

$$R_{\tau}(T) = \frac{T}{\pi r} \sin \frac{\pi r}{T} \quad (4.2.)$$

Линейное преобразование достаточно эффективно подавляет в исходном процессе все гармоники с периодом  $T \leq \tau$ .

Полученный ряд  $X\tau(j)$  можно далее сгладить  $\varphi$ -летними скользящими средними ( $\varphi = m + 1$ , где  $m$  – четное), в результате чего образуется ряд:

$$X\tau, r(l) = \frac{1}{m + 1} \sum_{j=l-m/2}^{l+m/2} X\tau(j) \quad (4.3.)$$

Коэффициент ослабления гармонической компоненты с периодом  $T$  в этом случае определяется как произведение  $R_T(T) \cdot R_\varphi(T)$ .

Таким образом, линейное преобразование (4.1) позволяет выделить из рассматриваемого процесса низкочастотную часть спектра.

Так, в работах, для выявления скрытой периодичности в характере извержений различных геодинамических типов вулканов и землетрясений, производилась фильтрация высокочастотного шума, путем линейного преобразования методом скользящих средних, описанным выше. Для этого были использованы различные фильтры с разными интервалами сглаживания и различным числом интервалов в варианте сглаживания.

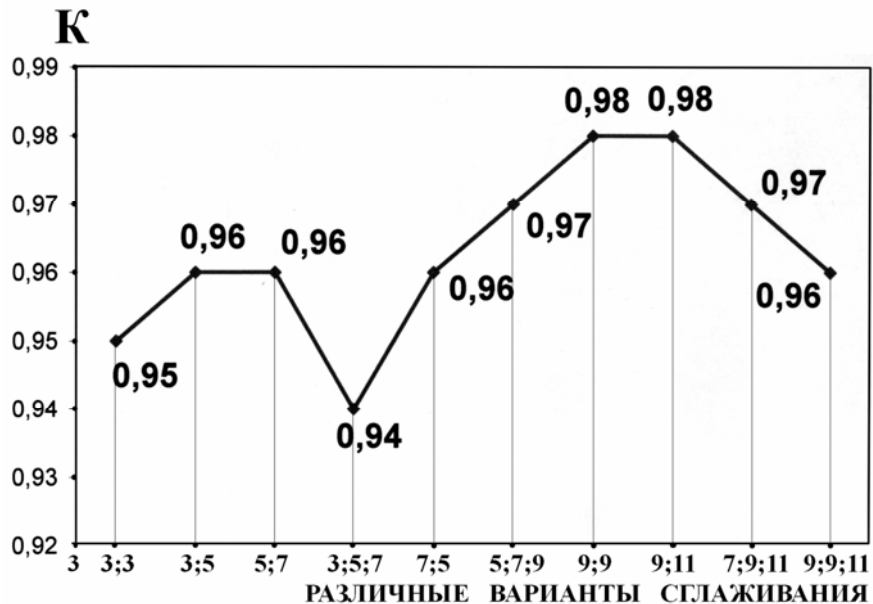
После обработки каждого варианта, производится корреляция между различными сглаженными временными рядами с определением коэффициента корреляции. Затем осуществляется расчет в следующем варианте, с последующим определением коэффициента корреляции между полученными результатами в данном варианте и результатами в предыдущем варианте. Величина окна сглаживания и числа последовательных сглаживаний увеличивается в каждом последующем варианте.

Таким образом, сравнивая результаты сглаживания в каждом последующем варианте с предыдущим, можно судить об эффективности фильтрации «шумов» по увеличению коэффициента корреляции.

Казалось бы, что коэффициент корреляции, по мере возрастания величины окна и числа последовательного сглаживания, должен постоянно увеличиваться.

Однако, как показали исследования, по достижении определенного значения, коэффициент корреляции становится практически неизменным, а при дальнейшем увеличении величины окна сглаживания и числа последовательных сглаживаний, коэффициент корреляции начинает уменьшаться. Это свидетельствует о том, что тот вариант сглаживания, при котором коэффициент

корреляции имеет максимальные значения, является наиболее оптимальным и позволяющим установить истинный (устойчивый) характер анализируемого процесса (рис.37).



**Рис. 37.** График зависимости величины коэффициента корреляции от величины окна сглаживания и числа последовательных сглаживаний методом скользящей средней.  $K$  – коэффициент корреляции между предыдущим и последующим вариантами сглаживаний; По оси абсцисс указаны варианты последовательных сглаживаний методом скользящей средней.

Необходимо отметить, что в методах вскрытия периодичностей период искомой гармоникой не известен, а определяется в процессе исследования. Более того, процесс представляется в виде не периодической, а скорее всего, почти периодической функции времени. Тем самым методы вскрытия периодичностей, по существу, позволяют решить проблему представления процесса в виде почти периодической функции.

Проблема вскрытия периодичностей, считается решенной только, если найдены параметры периодической компоненты. Поэтому решение задачи выделения периодической функции  $S(t)$  из исходного процесса  $X(t)$  еще не решает полностью задачи. Если же такое

выделение осуществлено достаточно полно, т.е. в преобразованном ряде искомая периодическая компонента выражена очень четко, так что можно считать  $X^{(1)}(t) \approx S(t)$ , то задача определения параметров сводится к обычному гармоническому анализу периодической функции.

С другой стороны, задача определения параметров, может быть решена с помощью так называемого периодограммного анализа, впервые рассмотренного Стоком /382/. Эти же идеи лежат в основе методики, разработанной Ланцошом /362, 364/.

Одновременно с линейным преобразованием исходных временных рядов методом скользящей средней, целесообразно анализировать временные ряды спектральными методами.

Как уже указывалось, анализируемый процесс всегда задается на некотором конечном интервале  $[-L, L]$ , и результат корреляционного преобразования не точно совпадает с корреляционной функцией. Построение преобразования Фурье от  $X^{(1)}(t)$  дает лишь оценку спектральной плотности /203/.

Если анализируемый процесс  $X(t)$  действительно является чисто полигармоническим, т.е:

$$X(t) = \sum_{j=1}^{\nu} A_j \cos w_j t \quad (4.1.)$$

то такая оценка является достаточно хорошей при большой продолжительности интервала обработки.

Рассмотрим вопрос об эффективности выявления скрытых периодичностей указанным методом при наличии “шумовой” компоненты. Построение приемлемых оценок при этом существенно осложняется, в связи с тем, что наличие  $X(t)$  сколь угодно близких гармонических компонент приводит к тому, что условие

$$|w_i - w_j| a \gg 1 \quad (4.2.)$$

при конечном «а» не выполняется и амплитуда любой гармоники в  $X^{(1)}(t)$  является результатом наложения других гармоник. Кроме того, наложение бесконечно малых гармоник, содержащихся в  $n(t)$  может привести к появлению в  $U_1^*(w)$  пиков конечной высоты, трудно отличимых от пиков, даваемых непосредственно выявленными гармониками /203/.

В том случае, когда в силу исходных физических соображений неясно, действительно ли процесс  $X(t)$  содержит чисто гармонические компоненты, появление в  $U_1^*(w)$  пиков конечной высоты, еще не дает достаточных оснований для утверждения о существовании таких гармоник /203/.

Как указано в работе /203/, флуктуационный характер несглаженных оценок спектральной плотности вызывает определенные трудности при выявлении скрытых периодичностей, поскольку «шумовая» компонента с непрерывным спектром может дать флуктуации, неотличимые на первый взгляд, от пиков, вызываемых наличием гармонических компонент. С другой стороны, сглаживание флуктуаций приводит к сглаживанию пиков. Таким образом, появляется необходимость различения пиков, вызываемых наличием только «шумовой» компоненты, от пиков, отражающих наличие гармоник. В то же время, эта проблема может быть решена при определенных и достаточно ограниченных предположениях о характере «шумовой» компоненты.

Проблема различения пиков в периодограмме заключается фактически, в решении вопроса: содержит ли исследуемый процесс действительно гармоническую компоненту с некоторой частотой или же наложение случайных факторов привело к появлению в данном участке реализации компоненты, со свойствами, близкими к такой же гармонической функции.

Не останавливаясь подробно на сущности метода максимальной энтропии *ММЭ*, отметим, что в настоящее время он является наиболее распространенным в различных областях науки и техники при исследованиях полигармонических процессов /79,118/.

Дж. Бург в 1967 году предложил рекурсивный метод решения системы уравнений, входящих в матрицу автокорреляций, используемой в *ММЭ*.

Использование *ММЭ* для анализа временных рядов, как указано в работе /190/, целесообразно по той причине, что он дает возможность выявить скрытые периодичности, оценивая наиболее точно их частоты, и на реализации ограниченной длины разделить, близкие по частоте, пики в спектре, что нельзя получить обычным спектральным методом.

Приведенные в работе /186/ результаты исследований показали, что *ММЭ* во многих случаях обладает большой разрешающей способностью и минимальным смещением по частоте.

В то же время, при использовании *ММЭ* возникают проблемы, связанные со смещением в спектральных линиях, появлением неустойчивости, выбором оптимальной длины фильтра. Изучение этих

вопросов проводилось, как на модельных /186/, так и на геофизических полях /190/. Нахождение параметра авторегрессии  $M$  (длины фильтра) является чрезвычайно важным как для  $ММЭ$ , так и для классических методов вычисления спектральной плотности и в настоящее время этот вопрос остается открытым /396/.

В то же время, модельные расчеты /282/ показывают, что слишком малое  $M$  приводит к пересглаженному, а слишком большое – к неустойчивому спектру. Установлено /397/, что  $M$  не должно быть больше  $N/2$ .

Ряд исследователей считает, что спектр будет корректным, если  $N/5 < M < N/2$ . Автор работы /186/ приходит к выводу, что  $M$  должно быть в пределах  $(0,3-0,5)N$ .

Следующим важным вопросом при спектральном анализе временных рядов является влияние на полученные результаты длины исходного ряда  $N$ . Как отмечено в работе /190/, точнее всего получаются результаты при большей длине ряда и хуже при меньшей.

Обычно, при использовании методов спектрального анализа выделяют тренд, т.к. считается, что его содержание в данных наблюдений вносит в оценки корреляционных функций и спектральных плотностей определенные искажения. В частности, недостоверными могут оказаться оценки спектральных плотностей на больших периодах, сравнимых с длительностью рассматриваемого временного интервала. Кроме того, изучение тренда, само по себе, интересно для оценки амплитуд вариаций на определенных временных периодах, больших рассматриваемого интервала.

Для аппроксимации временных изменений поля в работе /287/ использовался полином первой степени, а в работе /284/ - полином второй степени.

Основную роль играет не аппроксимация гладкой части изменений поля полиномом, а степень полинома. Для ее определения можно воспользоваться методом конечных разностей в работе /117/.

В процессе определения степени полинома, описывающего гладкую часть временного ряда, необходимо исключить возможность искажения оставшейся части, представляющей колебания относительно тренда.

Проведенные нами исследования временных рядов извержений вулканов показали, что удаление линейного тренда оказывает влияние на получаемый результат при применении  $ММЭ$  лишь в том случае, когда выделяемые гармоники сопоставимы с длиной исходного ряда. В случае же, когда длина исходного ряда значительно превышает периоды выделяемых гармоник, удаление тренда практически не

оказывает на получаемые результаты никакого влияния, лишь несколько меняя значения амплитуд спектров. Кроме того, как справедливо указано в работе /118/, при удалении тренда не всегда ясно, что удаляется, а это может привести и к искажению результата.

Как указывалось выше, при выявлении скрытой периодичности в исходном процессе спектральными методами, необходимо хотя бы иметь представление, в каких временных интервалах возможно выделение гармоник. Это важно, прежде всего, для выбора длины исходного временного ряда, т.к. длина ряда должна превышать периоды выделяемых гармоник, а длина фильтра, при расчете спектра методом максимальной энтропии, должна находиться в пределах 20-50% от длины исходного ряда /118/.

Поэтому, методика установления скрытой периодичности заключалась в следующем: сначала производилось сглаживание исходного временного ряда извержений вулканов методом скользящей средней при различных окнах сглаживания и различном числе последовательных сглаживаний. Затем выявлялся устойчивый характер исходного процесса, после чего определялись примерные периоды гармоник, составляющих этот процесс.

Зная примерные ряды гармоник, составляющих исходный процесс, длина ряда устанавливается значительно превышающей периоды этих гармоник (*в 3 - 5 раз*).

Необходимо также отметить, что изменение длины фильтра в пределах от 20% до 50% длины исходного ряда, также оказывает определенную роль на полученные результаты. В связи с этим, в программе оценки спектральной плотности методом максимальной энтропии на основе алгоритма Бурга предусмотрено изменение длины фильтра с заданным шагом. То есть, рассчитывается спектр при длине фильтра 20% от  $N$ , затем 25% от  $N$ , 30% от  $N$  (где  $N$  – длина ряда) и т.д. до 50% от  $N$ , с заданным шагом 5%. Шаг может меняться в зависимости от необходимости. Таким образом, имея рассчитанные спектры при всех возможных вариантах длины фильтра, можно исследовать характер изменения формы спектра и установить его характерные особенности, устойчиво сохраняющиеся при большинстве вариантов длины фильтра.

Как видно, применяемый нами принцип органично связал метод скользящей средней с ММЭ, что позволило повысить эффективность обоих методов.

Кроме того, метод скользящей средней позволяет рассмотреть динамику процесса в реальном масштабе времени, т.е. выделить периоды повышенной и пониженной вулканической (сейсмической)



активности, приуроченные к конкретным датам. Этого не позволяет сделать спектральный метод. Между тем, спектральный метод (ММЭ) позволяет выделить более точно гармоники, составляющие данный процесс, а также те гармоники, которые могут выпасть из поля зрения исследователя или же могут быть сглажены в процессе линейного преобразования методом скользящей средней.

Необходимо иметь в виду также тот важный факт, что ни линейное преобразование МСС, ни спектральный метод ММЭ в отдельности не позволяют однозначно утверждать достоверность установленных гармоник. В то же время, применение обоих методов в совокупности (МСС и ММЭ) позволяет взаимно проверить результаты, полученные каждым из них в отдельности, и в случае идентичности этих результатов можно утверждать, что установленные гармоники достоверны.

#### **4.1.2. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УСТАНОВЛЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ РАЗЛИЧНЫМИ ПЕРИОДИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

К сожалению, во многих случаях применение методов математической статистики и математического анализа временных рядов слишком формализовано, что не позволяет выявлять истинные причинно-следственные связи и, зачастую приводит к ошибкам в оценке степени взаимосвязи тех или иных процессов.

Практически все реальные природные процессы и, прежде всего геологические, космологические и космогеологические при взаимовлиянии, смещены во времени относительно друг друга. Поэтому при выявлении взаимосвязи в реальных природных процессах, первичной задачей является не только выявление уровня корреляции между собой этих процессов, но и определение причинно-следственной связи между ними. Для примера можно привести влияние Солнечной активности на сейсмичность Земли. Прежде всего, необходимо логически установить, что первично в этом взаимодействии: сейсмическая или солнечная активность. Естественно было бы предположить, что солнечная активность первична и именно она может оказывать влияние на сейсмическую активность, а не наоборот. Такая логика продиктована разницей в масштабах энергетического проявления этих двух процессов, в которых выделяющаяся солнечная энергия несопоставимо превышает сейсмическую энергию Земли.

Следовательно, при рассмотрении взаимосвязи этих двух процессов, необходимо учитывать первичность солнечной активности, как в самой системе этого взаимодействия, так и во временном аспекте, т.е. с начало повышается солнечная активность, а затем, спустя некоторое время - сейсмическая активность Земли.

В данном случае, промежуточным процессом между моментом повышения солнечной активности и повышением сейсмической активности, приводящим к запаздыванию сейсмической активности по отношению к солнечной, является увеличение напряженного состояния земной коры.

В качестве другого примера можно привести взаимосвязь активности магматических вулканов рифтовых зон (типа  $R$ ), отражающих геодинамическую активизацию поясов растяжения и, как следствие, увеличение радиуса Земли и графика вариаций длительности земных суток. В работе проведен анализ взаимосвязи этих графиков, показавший запаздывание увеличения длительности суток по отношению к активизации вулканов типа  $R$ .

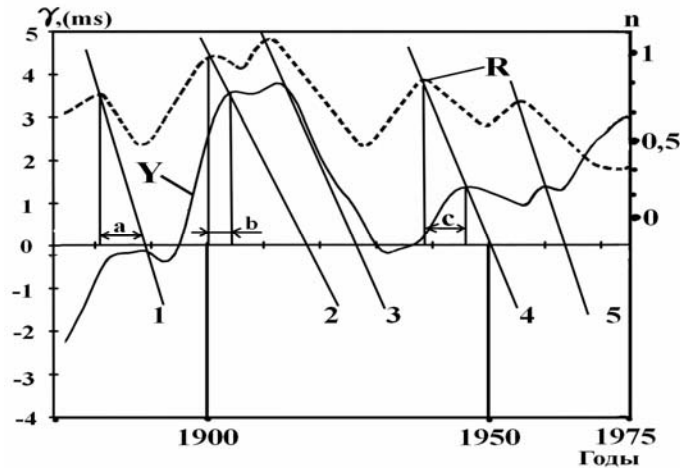
На рис.38 показан фрагмент сопоставления графиков вариаций длительности земных суток и активности магматических вулканов типа  $R$ .

Прямые  $1, 2 \dots n$  наглядно демонстрируют степень запаздывания максимумов циклов вариаций длительности суток, относительно максимумов активности вулканов типа  $R$ . Отрезки, обозначенные  $a, b, c$  показывают время запаздывания максимумов циклов одного процесса относительно другого. Как видно из рис.38 время запаздывания максимумов циклов вариаций длительности суток, относительно максимумов активности вулканов типа  $R$  составляет, в среднем 6-7 лет.

Запаздывание циклов графика вариаций длительности суток по отношению к циклам графика активности вулканов типа  $R$  можно объяснить инертностью событий, т.е. временем, проходящим от момента повышения активизации вулканов до действительного изменения радиуса Земли, влияющего на момент инерции планеты и, как следствие, на длительность земных суток.

Визуальный и графический анализ сопоставления графиков активности вулканов типа  $R$  и вариаций длительности суток, показал их высокое сходство, при учете смещения во времени одного из них относительно другого. Между тем, оценка корреляции между собой рассматриваемых графиков, не позволила выявить удовлетворительной взаимосвязи и показала коэффициент корреляции:  $\kappa = 0,34$ .

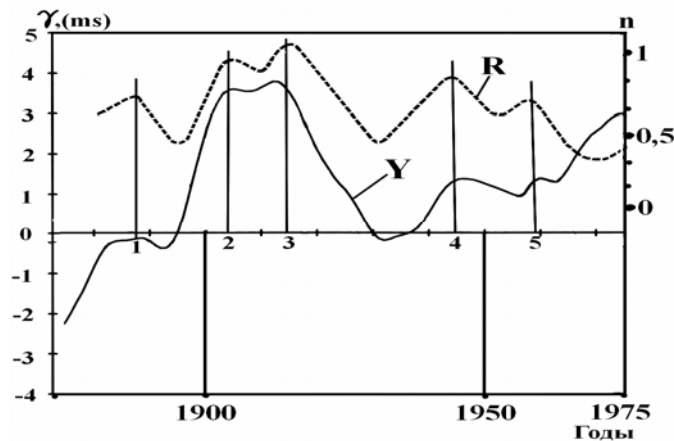
Следовательно, простое корреляционное сопоставление временных рядов, отражающих два различных физических процесса, может не показать высокую корреляцию, из-за смещения во времени этих процессов. В этом случае, предлагается сначала произвести спектральный анализ и убедиться в наличии идентичных гармоник в обоих процессах.



**Рис. 38.** Фрагмент сопоставления графиков вариаций длительности земных суток и активности магматических вулканов типа *R*. *R* – график активности вулканов типа *R*; *Y* – график вариаций длительности земных суток; Ось *n* – число извержений вулканов типа *R*; Ось  $\gamma, (ms)$  – изменения длительности суток в *ms*; 1,2,...*n* - прямые соединяющие максимумы циклов активности магматических вулканов типа *R* и циклов вариаций длительности суток; *a*, *b*, *c* – отрезки времени показывающие разницу во времени между максимумами циклов активности вулканов типа *R* и вариаций длительности суток.

На следующем этапе могут быть применены линейные методы обработки временных рядов, например метод скользящей средней, позволяющие выявить цикличность и исследовать этот процесс в реальном масштабе времени. В этом случае устанавливаются годы (месяцы) максимальных и минимальных значений циклов активности в обоих процессах и оценивается среднее значение разницы во времени между максимумами (минимумами) в циклах обоих процессов, вычисляется среднее значение для всех циклов, которое принимается за время запаздывания одного процесса относительно другого, с учетом

особенностей причинно-следственной связи. После этого, для осуществления корреляционного анализа, временные ряды, путем указанного временного смещения, условно приводятся к единой оси времени. Это осуществляется посредством совмещения экстремальных значений (максимумов или минимумов) одного процесса (причины) с другим (следствием), после чего производится вычисление коэффициента корреляции между ними, как это показано на рис.39.



**Рис. 39.** Фрагмент сопоставления графиков вариаций длительности земных суток и активности магматических вулканов типа *R* (после приведения максимумов циклов на обоих графиках к единым моментам времени). *R* – график активности вулканов типа *R*; *Y* – график вариаций длительности земных суток; Ось *n* – число извержений вулканов типа *R*; Ось  $\gamma, (ms)$  – изменения длительности суток в *ms*; 1,2,...*n* - прямые соединяющие максимумы циклов активности магматических вулканов типа *R* и циклов вариаций длительности суток.

Как видно из рис.39 максимумы циклов активности вулканов типа *R* совмещены по времени с максимумами циклов вариаций длительности суток. Вычисление коэффициента корреляции, произведенное после этой процедуры позволило получить высокую корреляцию с  $\kappa = 0,76$ .

В этом случае, удастся установить реальную степень взаимосвязи процессов, за вычетом временной разницы рассматриваемой причиной и ее следствием. В рассмотренном примере, между моментом повышения активности вулканов типа

$R$  и временем увеличения длительности суток, (повышением угловой скорости вращения Земли) существуют промежуточные процессы. В данном случае, промежуточным процессом является увеличение радиуса Земли, приводящее к изменению момента инерции Земли и, как следствие, замедлению ее вращения.

#### **4.1.3. ПРИНЦИПАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ РАЗЛИЧИЙ ВОЛНОВЫХ И ЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

В принципе, выявление скрытых периодичностей, в определенной степени решает задачу анализа волновых процессов во временных рядах. Между тем, в этом вопросе имеется принципиальная особенность, не позволяющая с помощью одних и тех же математических методов объективно оценивать различные процессы периодического характера. Это связано, прежде всего, с принципиальным отличием физической сути циклических и волновых процессов в природе. Хотя волновые процессы можно, при определенных условиях, рассматривать как циклические, нами будет показана принципиальная разница в физическом механизме волновых и циклических процессов.

Если циклические процессы, обычно отражают повышение и понижение определенных параметров (числа землетрясений, извержений вулканов, солнечных пятен, сейсмической энергии), то волновой процесс, по своей сути, означает смену знака выделяющейся энергии в рассматриваемом процессе с положительного на отрицательный и, наоборот. В отличие от циклических процессов, волновые процессы несут равную по величине, но противоположную по знаку энергию. Например, электромагнитные, акустические или гравитационные волны.

Таким образом, оба полупериода волны, как положительный, так и отрицательный, несут в себе равную энергию, вызывающую соответствующую реакцию среды на эти процессы. Между тем, в циклических процессах, максимум цикла, означает максимальное количество приносимой в систему энергии, а минимум циклов – минимальное. В циклических процессах мы имеем дело с процессами, обладающими только положительной составляющей. Естественно, что не может быть выделено отрицательное количество сейсмической энергии, также как и произойти отрицательное число землетрясений и извержений вулканов. Поэтому, рассматривая и анализируя, порой волновые процессы, в

качестве циклических, исследователи неверно трактуют полученные результаты и упускают из вида физический смысл механизма того или иного процесса.

Если гравитационную волну, рассматривать как циклический процесс, то мы будем заведомо считать, что максимум энергии выделяется в максимальных значениях циклов, а минимум, соответственно, в минимальных. Между тем, как известно, гравитационная волна, даже физически оказывает на тела противоположные по знаку квадрупольные воздействия. При этом, проходя через тело, она вытягивает его вдоль направления своего распространения и сжимает в перпендикулярном направлении, затем, наоборот, укорачивает его по направлению движения и, расширяет перпендикулярно ему. Следовательно, оба полупериода гравитационной волны несут равную энергию.

Если при анализе циклических процессов нет необходимости построения трендов, позволяющих выделять средние значения процесса, то в волновых процессах, построение тренда просто необходимо, чтобы выделить положительные и отрицательные фазы волны.

Физический механизм воздействия волновых процессов совершенно иной. Так, если в циклических процессах говоря о наличии их взаимовлияния, обычно опираются на степень их корреляции (положительной или отрицательной), и при высоком коэффициенте корреляции делают вывод о возможной взаимосвязи этих процессов, то в волновых процессах, все обстоит иначе. При волновом процессе, наличие корреляции между волновым и циклическим процессом, не может быть оценено во всех случаях путем определения коэффициента корреляции, так как при воздействии волнового процесса на циклический, в циклическом процессе, может наблюдаться удвоение частоты. Это связано с тем, что оба полупериода волны несут равную энергию. Например, если рассматривать воздействие гравитационной волны на сейсмическую активность, то можно говорить об удвоении частоты сейсмической активности, так как изменение формы Земли в противоположных направлениях, вызванное разными полупериодами гравитационной волны, приведет в обоих случаях к повышению напряжений в земной коре и, соответственно, к повышению сейсмической активности.

Нами дается следующая трактовка физической сути волнового и циклического процессов с точки зрения их основных отличительных особенностей.

Волновым является физический процесс, сопровождающийся знакопеременными отклонениями физической величины от условно нулевого (среднего) значения, в котором равные по амплитуде положительные и отрицательные отклонения являются равнозначными по энергии, но противоположными по знаку.

Циклическим является физический процесс, сопровождаемый периодическим сменяющимся повышением и понижением физической величины одного знака относительно нулевого (минимального) значения. Ниже приводится таблица 4.1 с приведенными примерами природных процессов волнового и циклического характеров.

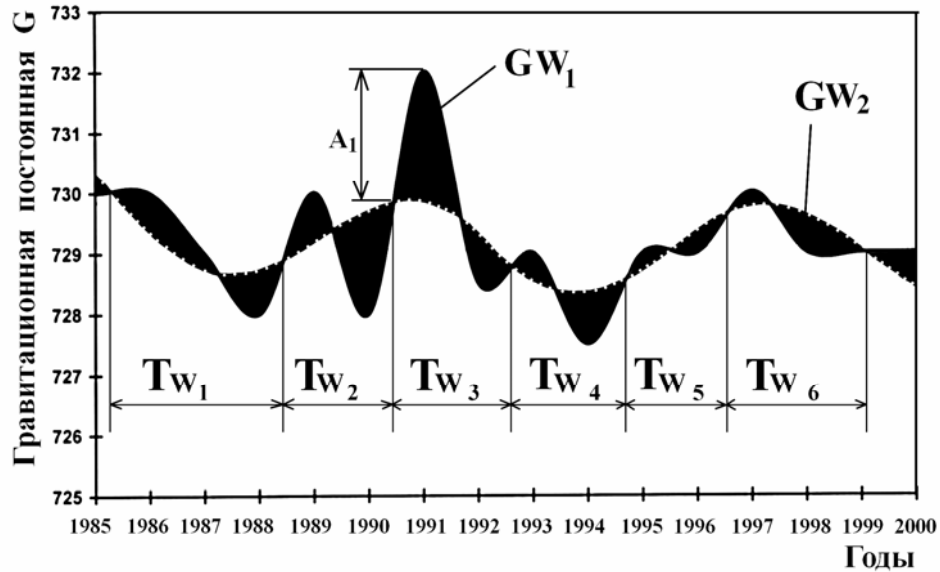
Таблица № 4.1

№ п.п.	Наименование природных циклических процессов	Наименование природных волновых процессов
1	Солнечная активность	Колебания уровней морей и океанов
2	Сейсмическая активность	Лунно-солнечные приливы
3	Вулканическая активность	Знакопеременные вертикальные тектонические движения
4	Периодичность в проявлении цунами	Периодические изменения радиуса Земли
5	Вариации выпадения метеорологических осадков	Вариации длительности земных суток
6	Процесс седиментации	Знакопеременные вариации напряженного состояния земной коры (сжатие-растяжение)

#### **4.2. ОТРАЖЕНИЕ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В ВАРИАЦИЯХ ИЗМЕРЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ ПОСТОЯННОЙ**

Как нами было отмечено в разделе 2.2., в измеренных значениях гравитационной постоянной отмечаются существенные вариации. Примечательно, что вариации наблюдаются не только в значениях  $G$ , измеренных в разное время и разными исследователями, что в какой-то мере можно было бы попытаться объяснить отличиями в погрешностях технологий измерений, но и в значениях  $G$ , измеренных одними и теми же исследователями в течение многих лет /103/. Примечательно, что в вариациях  $G$ ,

значения которых были усреднены за год, четко отмечаются гармонические колебания, анализ которых представляет большой интерес. Так, по данным /109/ нами был составлен график вариаций измеренных значений гравитационной постоянной с 1985 по 2000 годы, при этом использовались усредненные за год значения  $G$ . На графике (рис.40) отчетливо выделились гармонические колебания волнового характера.



**Рис. 40.** График фактических значений вариаций гравитационной постоянной  $G$  с 1985 по 2000 годы, усредненных по годам (по данным /109/). Ось  $G$  — значения  $G$  начиная со второй цифры после запятой;  $GW_1$  — график фактических значений вариаций гравитационной постоянной, усредненных за год (гравитационная волна первого порядка);  $GW_2$  — тренд аппроксимированный синусоидой (гравитационная волна второго порядка);  $TW_1...TW_n$  — периоды гравитационных волн первого порядка;  $A_1$  — максимальная амплитуда гравитационной волны первого порядка.

На график вариаций  $G$  был наложен тренд, аппроксимированный синусоидой  $GW_2$ . Данная синусоида, отражающая, на наш взгляд, прохождение через Землю гравитационной волны второго порядка, описывается уравнением:

$$y(x) = 729,14 + \sin(0,947x + 7) \quad (4.3.)$$



Как видим из рис.40 синусоидальный тренд, практически идеально описывает гармонический характер наложенного на вариации  $G$  волнообразного процесса. Таким образом, становится, очевидно, что наблюдаемые вариации значений  $G$ , являются результатом наложения двух гармонических колебаний отраженных на графиках  $GW_1$  и  $GW_2$ . Условно назовем эти кривые гравитационной волной первого порядка « $GW_1$ » (*gravitational wave*) и гравитационной волной второго порядка « $GW_2$ ».

Становится, очевидно, что вариации измеренных значений гравитационной постоянной  $G$  носят отчетливый волновой характер. Период колебаний волны  $GW_1$  составляет  $\sim 2 - 2,5$  года. Длина данной гравитационной волны составляет  $\sim 23,652 \times 10^{15}$  м. Максимальная амплитуда волны  $GW_1$  составляет:

$$A_1 = 0,00023 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \text{кг}^{-2}.$$

Таким образом, можно констатировать, что гармонические колебания несущей частоты  $GW_1$  модулированы по амплитуде модулирующим низкочастотным сигналом  $GW_2$ .

Представляет интерес исследование параметров гравитационной волны второго порядка  $GW_2$ . На рис.41 приведен график  $GW_2$ .

Как видно из рис.41 график  $GW_2$  отражает, практически идеальный волновой процесс, на котором выделены две полные волны с периодом  $T_1W = T_2W = 7,7$  лет. Длина данной волны составляет  $70,956 \times 10^{15}$  м. Амплитуда гравитационной волны второго порядка составляет:

$$A_1 = 0,00008 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \text{кг}^{-2} \quad (4.4.)$$

В то же время, отчетливо видно, что в наблюдаемом волновом процессе содержится тренд. Наиболее достоверно общий характер наложенного процесса отражает тренд  $GW_3$  аппроксимированный полиномиальным рядом второй степени и описываемый уравнением:

$$y = 0,0077x^2 - 0,1677x + 729,89 \quad (4.5.)$$

На наш взгляд, кривая  $GW_3$  является фрагментом еще более низкочастотной волны, выявление которой не представляется возможным из-за отсутствия достоверных данных измеренных

значений гравитационной постоянной  $G$  за более длительный период времени. Возможный период гравитационной волны третьего порядка может составлять, по нашим оценкам, 40-60 лет.

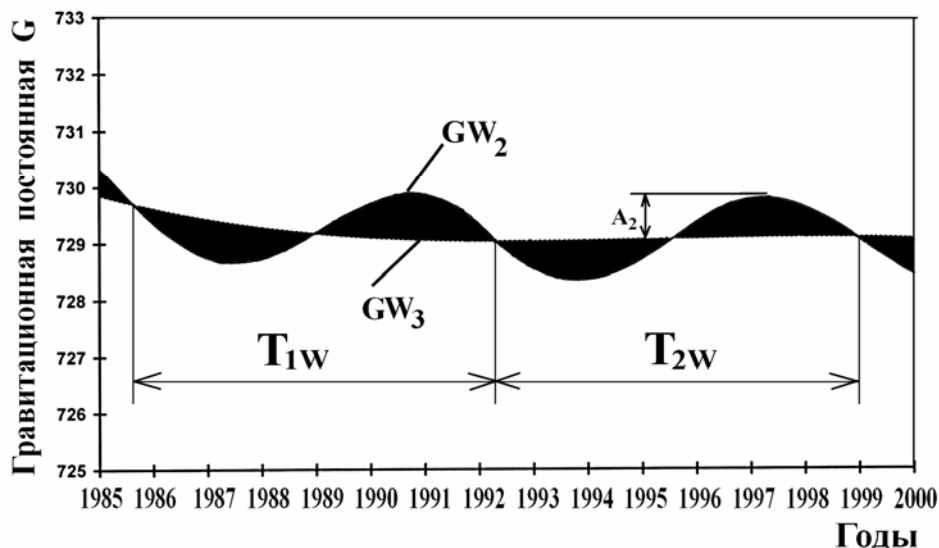


Рис. 41. Синусоидальный тренд фактических значений вариаций гравитационной постоянной  $G$  с 1985 по 2000 гг. Ось  $G$  – значения  $G$  начиная со второй цифры после запятой;  $GW_2$  – синусоидальный тренд фактических значений вариаций  $G$ ;  $GW_3$  – тренд аппроксимированный полиномиальным рядом второй степени;  $T_{1W}$ ;  $T_{2W}$  – периоды гравитационных волн второго порядка;  $A_2$  – амплитуда гравитационной волны второго порядка.

Таким образом, анализ вариаций измеренных значений  $G$  привел нас к заключению о том, что они отражают волновые изменения  $G$ , являющиеся результатом наложения трех гармонических процессов (гравитационных волн трех порядков) с периодами 40-60 лет; 7,7 лет и 2-2,5 года.

#### **4.3. ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ СВЕРХДЛИННЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ ПОСТОЯННОЙ**

Согласно ОТО гравитационное поле изменяет пространственно-временной континуум. Гравитационные волны, отличаются по своей природе и характеру проявления от электромагнитных и акустических волн, и их существование впервые было выведено А.Эйнштейном в общей теории относительности /8/. Особенностью гравитационной волны является то, что при прохождении через пространство и тела, она не только деформирует их, но и оказывает знакопеременное влияние на взаимодействие масс, расположенных в той области пространства, которая охвачена гравитационной волной, длина полупериода которой превышает расстояние между центрами масс.

Рассмотрим пример прохождения гравитационной волны через Землю, когда длина полупериода волны существенно превышает диаметр Земли, рис.43.

Естественно, что взаимодействующие массы на поверхности Земли, находясь в поле проходящей гравитационной волны, будут вести себя по-разному, в зависимости от ориентации радиуса взаимодействия этих масс по отношению к фронту волны. Если массы сориентированы таким образом, как это показано на рис.42, то влияние и гравитационной волны на их взаимодействие между собой будет происходить так, как это изображено на рис.42.

На рис.42 (1) показано изображение деформации Земли при прохождении первого полупериода гравитационной волны и реакция на ее прохождение взаимодействующих масс в весах Кавендиша. Как видно, взаимодействие масс в районе полюсов при данной ориентации, покажет понижение значения гравитационной постоянной и ее повышение на экваторе. В то же время, в момент смены полупериодов гравитационной волны, значение  $G$  будет примерно одинаковым во всех областях Земли, рис.42 (2). При прохождении второго полупериода волны, в области экватора массы будут взаимодействовать слабее, а в области полюсов - сильнее, что отразится в виде снижения значений гравитационной постоянной, измеренной в экваторе и ее повышения в полюсах рис.42 (3). Однако, изменение ориентации коромысла с грузами в весах Кавендиша по отношению к направлению распространения гравитационной волны, приведет к другим результатам значений гравитационной постоянной.

МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ НИЗКОЧАСТОТНОЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ ВОЛНЫ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МАСС В ВЕСАХ КАВЕНДИША В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ

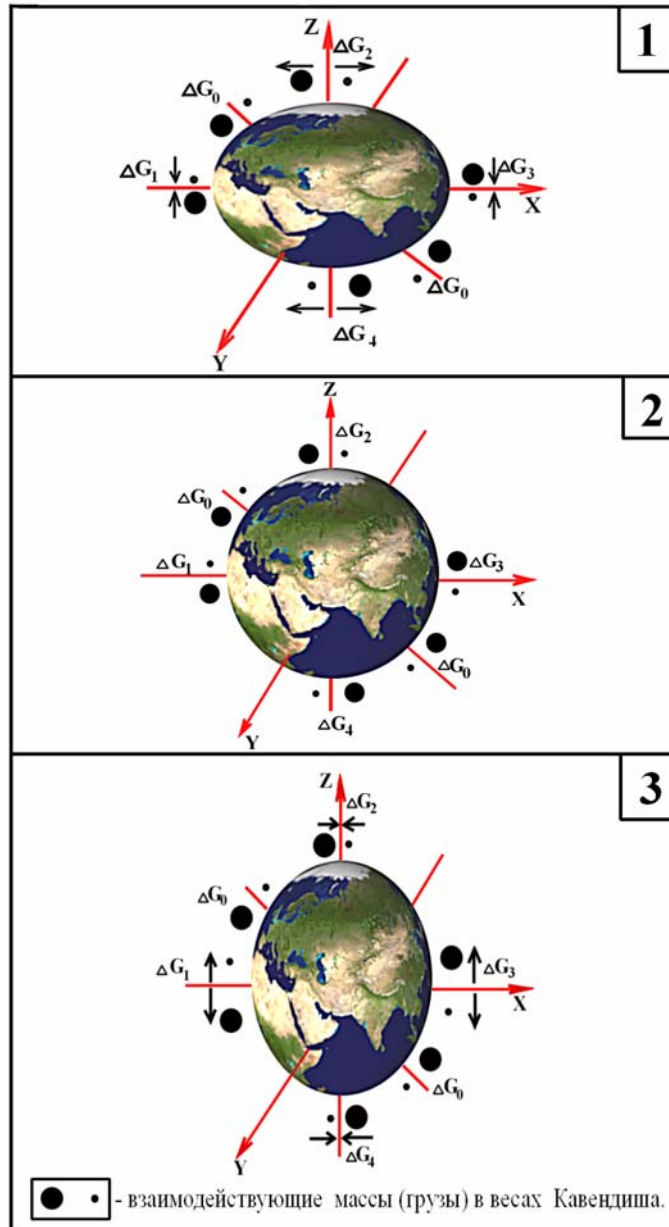


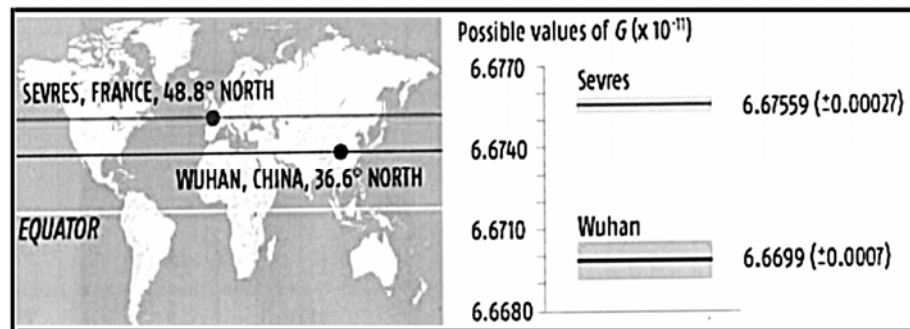
Рис. 42.

Поэтому, процесс измерения гравитационной постоянной, оказался значительно сложнее, чем это производится в настоящее время. Как оказалось, на показания весов Кавендиша влияет не только географическое расположение измерительных лабораторий, но и пространственная ориентация измерительного устройства, относительно фронта распространения гравитационной волны.

Получаемые различными лабораториями значения  $G$ , как указывалось выше, существенно различаются между собой, в связи с чем J.P.Mbelek и M.Lachieze-Rey /339/ разработали модель, объясняющую различия в значениях  $G$  влиянием географического расположения измерительных лабораторий, при этом, по их мнению, на значения  $G$ , оказывает влияние геомагнитное поле Земли и степень близости измерительных лабораторий к магнитному полюсу Земли.

Они составили модель, приведенную на рис.43, в соответствии с которой, по мере приближения к магнитному полюсу Земли, увеличиваются значения гравитационной постоянной.

На рис.43 показана схема, составленная J.P.Mbelek и M.Lachieze-Rey, показывающая распределение широтных поясов с одинаковыми значениями  $G$ .



**Рис. 43.** Схема, иллюстрирующая зависимость  $G$  от широты и долготы местности /339/.

Как видно из рис.43 по мере удаления от экватора и приближения к северному полюсу, значения  $G$  увеличиваются. Ниже приводится таблица 4.2 с указанием координат пунктов измерения и измеренных значений  $G$ .

*Таблица № 4.2*

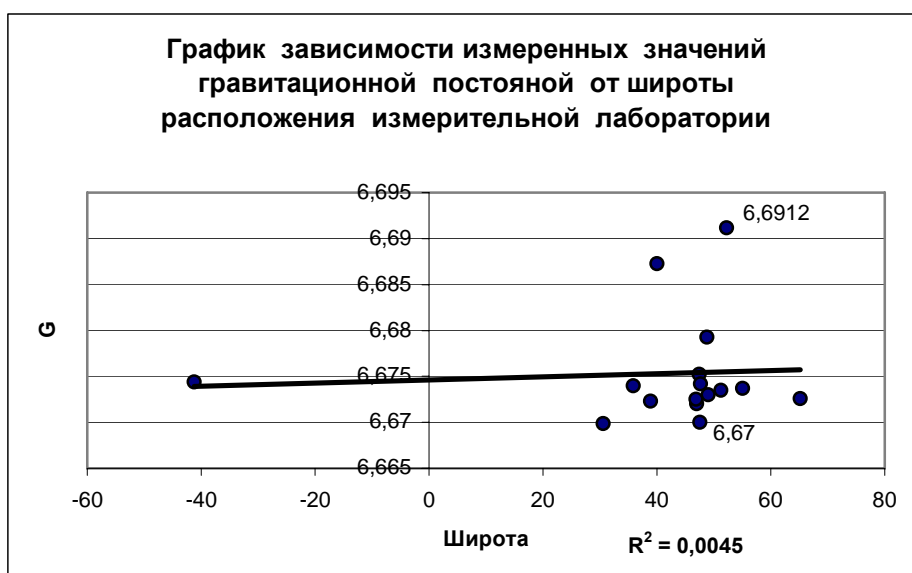
Расположение (ссылка)	широта	Долгота	$G_{lab}$ ( $10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}$ )
Нижнее Хатг (МСЛ)	-41,2	174,9	6,6742 ± 0,0007 6,6746 ± 0,0010 (Сред. 6,6744)
Вухан (Хаст)	30,6	106,88	6,6699 ± 0,0007
Лос Аламос	35,88	-106,38	6,6740 ± 0,0007
Гайсерсбург (НБС)	38,9	-77,02	6,6726 ± 0,0005 6,6720 ± 0,0041 (Сред. 6,6723)
Булдер (Джила)	40	-105,27	6,6873 ± 0,0094
Озеро Гигервальд	46,917	9,4	6,669 ± 0,005 6,678 ± 0,007 6,6700 ± 0,0054 (Сред. 6,672)
Цюрих	47,4	8,53	6,6754 ± 0,0005 ± 0,0015 6,6749 ± 0,0014 (Сред. 6,6752)
Будапешт	47,5	19,07	6,670 ± 0,008
Сиэтл	47,63	-122,33	6,674215 ± 0,000092
Севрс (БИПМ)	48,8	2,13	6,67559 ± 0,00027 6,683 ± 0,011 (Сред. 6,6793)
Фрибург	46,8	7,15	6,6704 ± 0,0048 (окт. 84) 6,6735 ± 0,0068 (Ноя. 84) 6,6740 ± 0,0053 (Дек. 84) 6,6722 ± 0,0051 (Фев. 85) (Сред. 6,6725)
Маньи-лез Хамо	49	2	6,673 ± 0,003
Вупперталь	51,27	7,15	6,6735 ± 0,0011 ± 0,0026
Брауншвейг (РТВ)	52,28	10,53	6,71540 ± 0,00056 6,667 ± 0,005 (Сред. 6,6912)
Москва	55,1	38,85	6,6729 ± 0,0005 6,6745 ± 0,0008 (Сред. 6,6737)
Дай 3 Гринланд	65,19	-43,82	6,6726 ± 0,0027
Озеро Бразимон	43,75	11,58	6,688 ± 0,011

Результаты самых точных лабораторных измерений  $G$  опубликованных за последние 60 лет и размещение лабораторий по данным /339/.

В то же время, построенные нами графики по данным таблицы 4.2., взятой из статьи J.P.Mbelek и M.Lachieze-Rey /339/, не подтвердили выводов, сделанных авторами статьи о существовании статистически достоверной зависимости  $G$ , от широты и долготы расположения лабораторий.

При построении графиков, в тех пунктах измерения, где приведены несколько значений  $G$ , брались за основу средние значения  $G$ .

На рис.44 показан график зависимости  $G$  от широты размещения лабораторий.



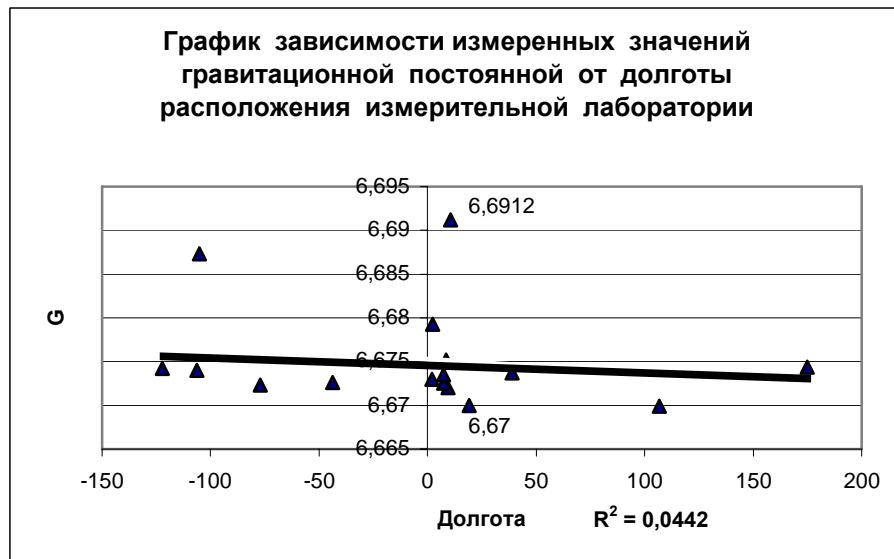
**Рис. 44.**

Как видно из графика рис.44, прямолинейный тренд, однозначно указывает на то, что измеренные значения  $G$ , в данном случае, не зависят от широты местности измерений. Незначительный угол наклона тренда, находится в пределах ошибки.

Более того, если даже взять за основу артефакты – наибольшее значение  $G = (6,6912 \pm 0,0006)$  полученное в Braunschweig (РТВ) и наименьшее значение  $G = (6,67 \pm 0,008)$

полученное в Будапеште, то они находятся примерно на близких широтах, соответственно  $47^{\circ}5'$  и  $52^{\circ}28'$  северной широты. При этом, среднеквадратичная ошибка  $R^2 = 0,0045$ .

Рассматривая зависимость между долготой и измеренными значениями  $G$ , мы приходим к аналогичному выводу. Так, на рис.45 показан прямолинейный тренд, отражающий зависимость значений  $G$  от долготы местности измерений. Несмотря на то, что тренд имеет незначительный наклон, находящийся в пределах погрешности, разброс значений  $G$ , указывает на отсутствие статистически достоверной зависимости  $G$  от долготы местности измерений. Наименьшие значения  $G$ , полученные в Будапеште ( $6,67 \pm 0,008$ ) и наибольшее значение  $G$  ( $6,6912 \pm 0,0006$ ), полученное в Braunschweig (РТВ) находятся, соответственно, на восточной долготе  $19^{\circ}07'$  и  $10^{\circ}53'$ .



**Рис. 45.**

Среднеквадратичная ошибка при построении тренда составила  $R^2=0,0442$ .

Таким образом, проведенный анализ, показал отсутствие существования статистически достоверной зависимости измеренных значений  $G$  от широты и долготы размещения измерительных лабораторий.



В то же время, если обратить внимание на значения  $G$ , измеренные в Фрибурге в октябре, ноябре и декабре 1984 г. и феврале 1985 г., то можно заметить, существенные вариации значений  $G$ , начиная с третьего знака после запятой. Этот факт свидетельствует о постоянной динамике в вариациях измеренных значений  $G$ . Несмотря на то, что, как отмечают авторы /339/, они не учли вариаций геомагнитного поля во времени, хотелось бы отметить, что вариации геомагнитного поля не имеют корреляции с вариациями измеренных значений  $G$ .

Имея факты, о существенных вариациях измеренных значений  $G$  во времени, вряд ли можно считать корректными сравнения между собой значений  $G$ , измеренных в разное время.

Если даже принять во внимание различие значений  $G$  измеренных одновременно, то эти значения действительно должны зависеть от географического расположения лабораторий, однако они будут постоянно изменяться из-за влияния проходящих через Землю сверхдлинных гравитационных волн.

Так, при прохождении гравитационной волны, как указывалось в предыдущих разделах, изменяется амплитуда возмущения метрики пространства  $\mu$ :

$$h \approx \frac{1}{2} \Delta L / L \quad (4.6)$$

где  $h$  - амплитуда возмущения метрики пространства;  $\Delta L$  – относительное смещение двух точек пространства в поле гравитационной волны;  $L$  – расстояние друг от друга точек пространства.

Следовательно, измеренное на Земле значение гравитационной постоянной  $G$ , с помощью весов Кавендиша в поле проходящей гравитационной волны, будет отличаться от истинного значения  $G$ . Величина и знак изменения, измеренного значения гравитационной постоянной  $G$  под действием гравитационной волны, зависит от амплитуды гравитационной волны и ориентации взаимодействующих масс по отношению к фронту проходящей волны.

## **ГЛАВА 5. ВЛИЯНИЕ СВЕРХДЛИННЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ**

### **5.1. ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ И КВАДРУПОЛЬНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ЗЕМЛИ**

Как уже было рассмотрено выше, прохождение сверхдлинных гравитационных волн через Землю, должно вызывать квадрупольную деформацию ее формы. Естественно, что подобная деформация должна найти свое отражение в различных геодинимических и метеорологических процессах, в частности, в изменениях тектонической активности Земли и динамических процессов в атмосфере и гидросфере, особенностях вариаций угловой скорости вращения Земли. Между тем, существует прямой метод, позволяющий непосредственно зафиксировать деформации формы Земли, если они действительно наблюдаются. Таким методом является лазерная дальнометрия с помощью искусственных спутников Земли. Ниже приводится описание данной методики и некоторых результатов измерений, полученных с ее помощью.

#### **5.1.1. КОСМИЧЕСКАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА NASA. ЛАЗЕРНАЯ ДАЛЬНОМЕТРИЯ СО СПУТНИКА /361/**

В лазерной дальнометрии со спутников (ЛДС), глобальная сеть станций измеряет мгновенное время полета туда и обратно ультракоротких импульсов света до спутников, оборудованных специальными рефлекторами. Это обеспечивает мгновенное измерение расстояния до уровня миллиметровой точности. Данная информация накапливается для точного определения орбит спутников и различных научных исследований.

- Лазерная дальнометрия со спутников (ЛДС) является доказанной геодезической методикой со значительным потенциалом для важных вкладов в научные исследования системы Земля/Атмосфера/Океаны;

- ЛДС является самой точной методикой, имеющейся в данное время для определения геоцентрической системой Спутник - Земля, позволяющей проводить точную калибровку радарных замеров и

отделять долгосрочное смещение аппаратуры от вековых изменений в топографии океана;

- Способность ЛДС измерять временные вариации в поле гравитации Земли и контролировать движение сети станций с учетом гео-центра, вместе со способностью контролировать вертикальное движение в абсолютной системе;

- Делает ее уникальной для моделирования и оценки долгосрочного изменения климата посредством обеспечения системы отчета для постледникового скачка, изменения морского уровня и объема льда;

- Определения временного перераспределения массы твердой Земли, океана и системы атмосферы;

- Контролирования реакции атмосферы на временные вариации в нагревании Солнцем.

- ЛДС обладает уникальной способностью для подтверждения предсказаний Общей Теории Относительности;

- Станции ЛДС образуют важную часть международной сети космических геодезических обсерваторий, которые содержат системы VLBI, GPS, DORIS и PRARE;

- При нескольких критических событиях ЛДС предоставило безотказную избыточную информацию, когда отказали другие радиометрические системы слежения;

- Эффективность издержек операций ЛДС улучшается путем стандартизации, управления конфигурацией (работающей системы) и автоматизации.

- Международная Служба Лазерной дальнометрии сформировалась при помощи глобальной системы ЛДС для усиления геофизических и геодезических мероприятий ([ifrs.gsfc.nasa.gov](http://ifrs.gsfc.nasa.gov)).

### **Вклад ЛДС в науку о Земле**

Лазерная дальнометрия с помощью около - земного спутника началась при помощи NASA в 1964 г. с запуском спутника Бекон-Б. После этого, точность по дальности, вызванная требованиями науки, улучшилась на тысячный множитель от нескольких метров до нескольких миллиметров.

В течение последних трех десятилетий глобальная сеть Лазерной дальнометрии со спутника (ЛДС), превратилась в мощный источник данных для исследований твердой Земли и его океанических и атмосферных систем. В дополнение, ЛДС обеспечивает точным

определением параметров орбиты для полетов бортового радарного альтиметра с нанесением на карту поверхности океана (которые используются для моделирования глобальной циркуляции океана), для нанесения объемных изменений в континентальной массе льда и для топографии Земли. Она обеспечивает средствами для субнаносекундного глобального перевода времени и основой для специальных тестов Общей Теории Относительности.

**ЛДС помогает при изучении системы:  
Твердая Земля – Атмосфера – Гидросфера - Криосфера**

25 лет получения данных ЛДС позволили создать эталонную модель стандартного, высокоточного, длинноволнового гравитационного поля, которое поддерживает определение всех параметров точности орбиты и обеспечивает основой для изучения временных гравитационных вариаций из-за перераспределения массы. Высота геоида была определена до 10 сантиметров на длинных волнах до 1500 км.

Для измерения временных изменений в гравитационном поле, ЛДС измеряет эффекты перераспределения массы в общей системе Земли. Десятилетия получения ежемесячных величин определенных с помощью ЛДС второй зональной гармоники гравитации Земли, обеспечивает независимую проверку перераспределения массы, подразумеваемую моделями глобальной атмосферной циркуляции, используемыми для предсказания глобального изменения климата. ЛДС помогает при прямом считывании поверхностных поднятий.

ЛДС обеспечивает прямым, точно выраженным измерением альтиметровой спутниковой высотой и позволяет эффективно отделять смещение альтиметровой системы от океанических топографических изменений на суб-см уровне. Это вычисление существенно для измерения изменений глобальных средне морских уровней нескольких мм/год и нанесения на топографическую карту ледяного поля, используемого для оценки изменений объема льда.

Спутниковые альтиметры применялись для вычисления равноприливной карты основного лунного прилива  $M_2$ .

Понимание природы приливного рассеивания и трения дна океана, вызывает более подробного знания океанских приливов. Требуются лучшие приливные расчеты для подтверждения приливных моделей нагрузки океана, необходимых для анализа точной гравиметрии.

ЛДС вносит вклад в мониторинг уровня моря и льда двумя способами. Первый способ: снабжая данными слежения для определения орбиты, ЛДС, подтверждает отличное радиальное орбитальное значение альтиметровых спутников. Второй способ: улучшая знания, по уровню мм в год, вековых изменений в высоте прибрежных наблюдаемых мест, ЛДС помогает решить неопределенности в записи самописца уровня моря.

Топография и (ее изменения) в ледяном покрове Земли наносятся на карту с использованием спутниковых альтиметров и орбит с точностью, основанной на ЛДС и моделях силы тяжести, основанных на ЛДС.

ЛДС измеряет долгосрочную динамику твердой Земли, океанов и атмосферы.

Определения ЛДС вращения Земли и ее ориентации, раскрывают изменения в распределении масс и обмена углового момента в общей системе Земли.

Определение ЛДС изменений на геоцентрической высоте станций, связанных с регистрацией движения сети станции, с учетом гео-центра на уровне нескольких мм.

#### **ЛДС помогает при изучении тектонических движений**

ЛДС предоставляет точные определения (мм/год) движения спутника в геоцентрической системе отсчета в глобальном масштабе. Объединяясь с гравитационными моделями и десятилетними изменениями во вращении Земли, эти результаты вносят вклад в моделирование конвекции мантии Земли.

Горизонтальное движение глобальной сети мест ЛДС в Средиземном море, пролило свет на природу современной тектоники плит.

#### **ЛДС помогает в изучении фундаментальной физики**

Слежение логарифмическим отношением правдоподобия уголкового кубического отражателя на Луне удостоверило Принцип Эквивалентности Общей Теории Относительности. Измерения ЛДС LAGEOS 1 и 2 зафиксировали линзовое перетаскивание системы отсчета. Третий тип спутника LAGEOS, был предложен для изучения относительности.

Измерения ЛДС LAGEOS, обеспечили наиболее точным измерением ( $GM$ ), измерением гравитационной константы и массы Земли и подтвердили, что она не меняется в вековом режиме.

Скорости между станциями ЛС на стабильных внутри плитовых частях, помогли подтвердить модель тектоники плит с учетом палеомагнитной временной шкалы.

### **Система ЛДС стабильно улучшается**

Результаты данных ЛДС улучшились с помощью:

- Обработки данных в реальном масштабе времени;
- Расслоения прохождения спутника;
- Обновления системы;
- Дополнительных операций;
- Дополнительных спутников;

Информационная система данных динамики коры (ИСДДК), расположенная в GSFC NASA, является основным местом хранения совокупностей данных глобальной космической геодезии, которые также имеются в Европейском центре данных в Германии. Данные ЛДС предоставляются электронным путем и/или на магнитной ленте.

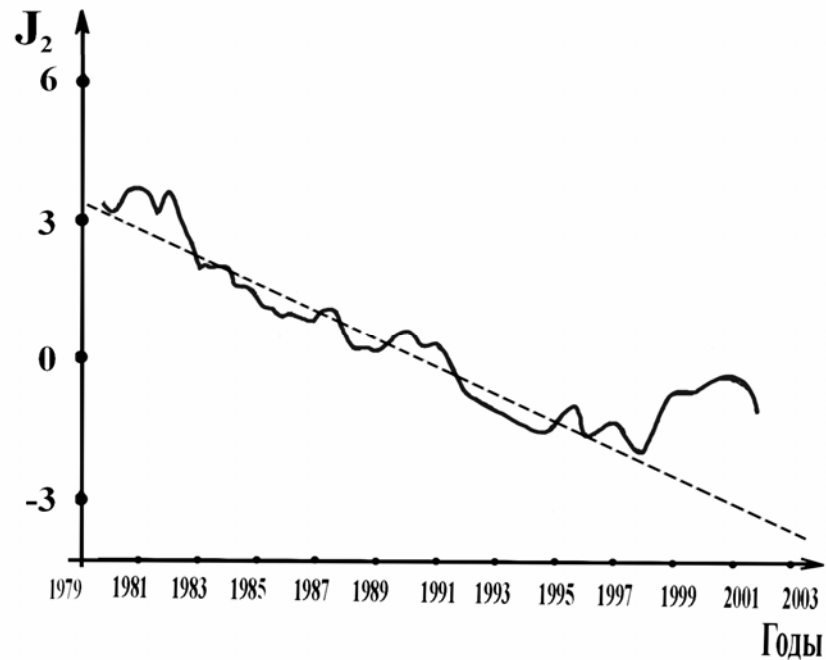
Недавно при помощи Лазерной Дальнометрии со Спутника (ЛДС), были выявлены большие изменения в сплюсненности Земли, начавшиеся в 1998 г.

### **5.1.2. ОСОБЕННОСТИ КВАДРУПОЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОЙ ЛАЗЕРНОЙ ДАЛЬНОМЕТРИИ**

Кристофер Кох и Бениамин Чао опубликовали в журнале Science статью, в которой сообщается о новом и совершенно неожиданном результате, касающемся вариаций в гравитационном поле Земли. Они использовали данные спутниковой лазерной дальнометрии, в течение последних 25 лет, для определения долгосрочных вариаций в зональном коэффициенте сферической гармонике Земли второй степени, так называемого коэффициента  $J_2$ . Коэффициент  $J_2$  отражает динамику соотношения экваториального и полюсного радиусов Земли. В течение многих лет коэффициент  $J_2$  уменьшался, как принято считать, из-за высвобождения талой

воды из мантии со времен ледникового периода. Между тем, новые данные показывают, что с 1998 г.  $J_2$ , в действительности, начал увеличиваться /283, 286/.

Данные лазерной дальнометрии со спутника (ЛДС) приведенные на рис.46 обозначают по истечении времени сдвиги в изменениях сплюснутости Земли. При этом, если с 1980 г. и вплоть до 1997 г. величина коэффициента  $J_2$  оставалась приблизительно постоянной при  $-2,8 \cdot 10^{-11}$  в год, то, очевидно, что, начиная с 1998 г. противоположное изменение  $J_2(t)$  ускорилось в соответствии с каким-то непонятным механизмом.



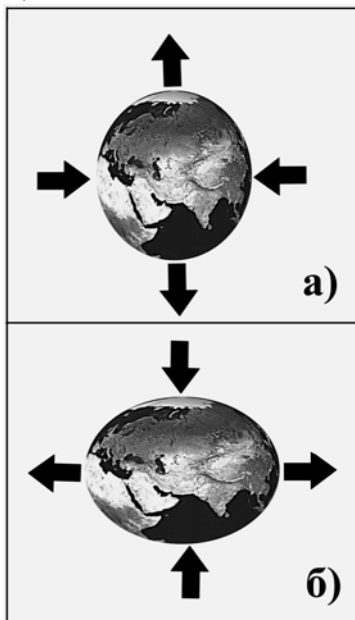
**Рис. 46. График, отражающий вариации коэффициента  $J_2$  /313/.**

По данным NASA /313/, этот процесс отражает расширение Земли в экваторе и сплющивание в полюсах, так как это показано на рис.46.

Специалисты NASA, связывают полученные по данным ЛДС, отклонения орбит искусственных спутников Земли с глобальными изменениями гравитационного поля Земли.

Нам хотелось бы с акцентировать внимание на том, что эти отклонения имеют квадрупольный характер. Между тем, к

сожалению, специалисты NASA, не приняли этот факт во внимание, считая на сегодня необъяснимыми причины изменений происходящих в гравитационном поле Земли.



**Рис. 47. Схема, отражающая деформацию Земли по данным NASA. а) – характер деформации Земли до 1998 г.; б) – характер деформации Земли после 1998 г.**

Произведенное нами сравнение вариаций коэффициента  $J_2$  с синусоидальным трендом вариаций гравитационной постоянной с 1985 по 2002 год, отражающим, по нашему мнению, прохождение через Землю сверхдлинных гравитационных волн, позволило получить весьма интересный результат. Если рассматривать период с 1985 по 1998 год, то можно констатировать весьма высокую корреляцию между обоими графиками, имеющими волновой характер. Однако, начиная с 1998 года, картина резко меняется, и графики переходят в противофазу. Учитывая, что именно с 1998 года, наблюдается резкое изменение в поведении коэффициента  $J_2$ , нам представляется особенно интересным рассмотрение именно данного фрагмента графика, приведенного на рис.48.



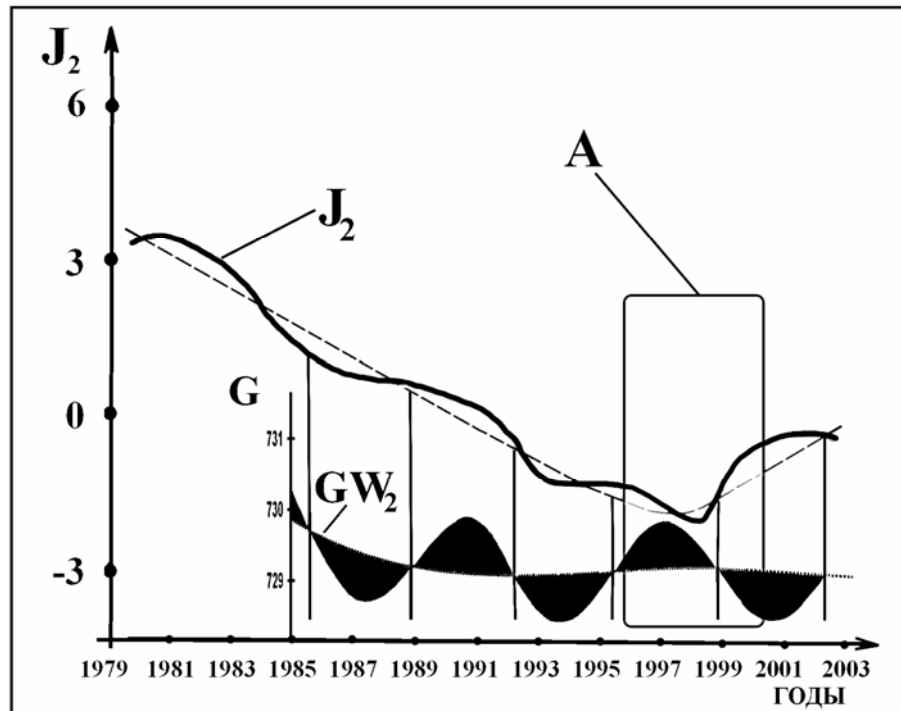
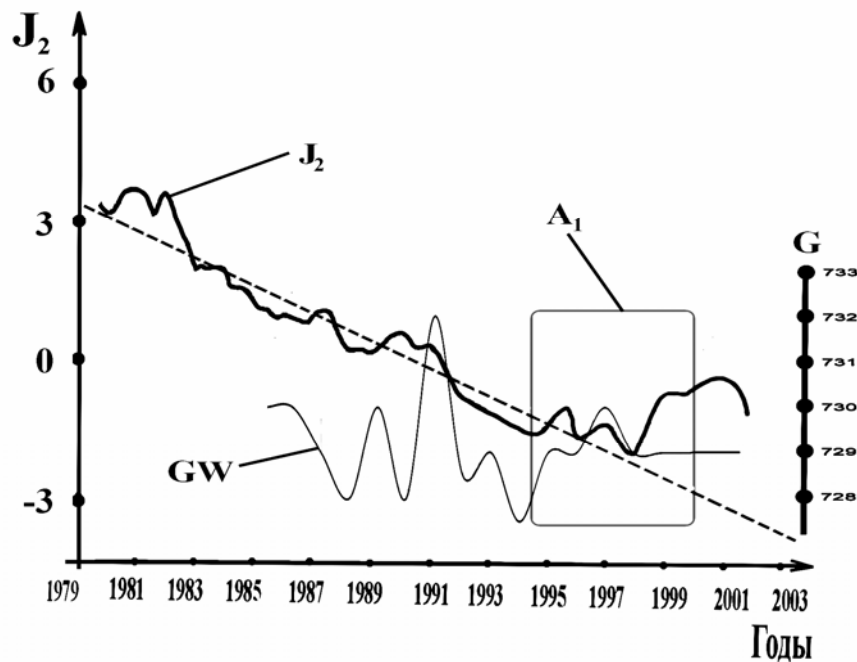


Рис. 48. Сравнение графиков вариаций коэффициента  $J_2$  и синусоидального тренда вариаций гравитационной постоянной  $G$ , отражающего прохождение через Землю сверхдлинных гравитационных волн.  $J_2$  – график вариаций в зональном коэффициенте сферической гармоники Земли второй степени  $J_2$ ;  $GW_2$  – синусоидальный тренд вариаций гравитационной постоянной, отражающий гравитационные волны второго порядка.

Как видно на рис.48 область А охватывает период времени, в течение которого наблюдалось изменение характера динамики коэффициента  $J_2$ .

Из сравнения вариаций  $J_2$  и синусоидального тренда  $G$  становится очевидным, что в 1998 г. произошли серьезные изменения в динамике  $J_2$ , которые в то же время не нашли своего отражения в вариациях синусоидального тренда  $G$ . В то же время, необходимо иметь в виду, что синусоидальный тренд, может сглаживать определенные артефакты, происходящие в реальных динамических процессах. Поэтому, для сравнения с коэффициентом  $J_2$  нами были взяты истинные значения вариаций  $G$ .

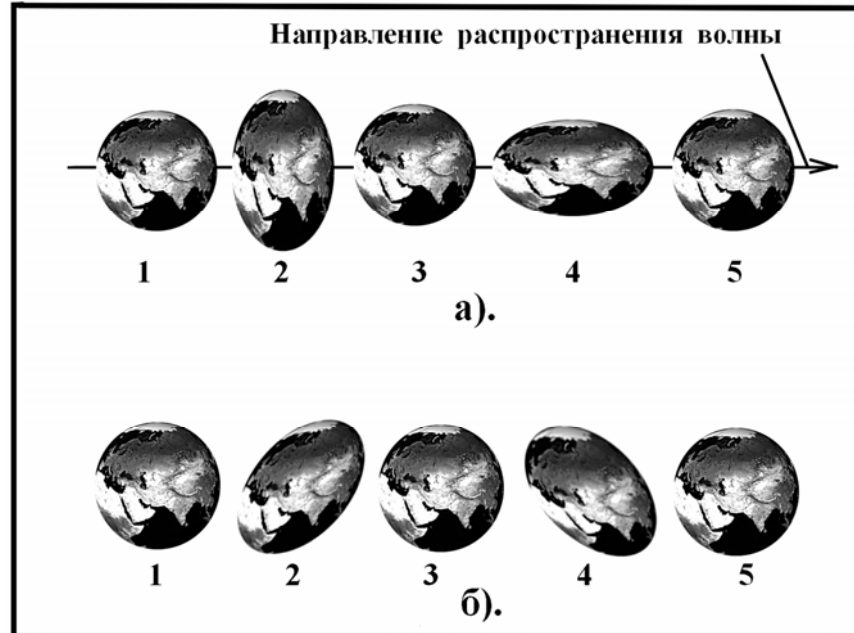


**Рис. 49.** Сравнение графика вариаций  $J_2$  и вариаций истинных измеренных значений  $G$ , усредненных за год.

Как видно из рис.49 картина несколько проясняется. В характере вариаций значений  $G$ , также наблюдается изменение, начиная с 1998 года, что отражается в стабилизации  $G$  без видимых отклонений, по сравнению с предыдущими годами. Этот факт, на наш взгляд, может объясняться двумя основными причинами. Первой причиной может являться прохождение через Землю других гравитационных волн, которые в результате интерференции с наблюдаемой волной компенсировали амплитуду первой. Вторая причина, возможно, связана с завершением прохождения гравитационно-волнового импульса, что также привело к изменению формы Земли и стабилизации  $G$ . Однако вывод очевиден – существует корреляция между коэффициентом  $J_2$  и временными вариациями  $G$ .

Рассматривая влияние сверхдлинных гравитационных волн на деформацию Земли и, как следствие, на геодинамические процессы, необходимо отметить, что эта деформация будет иметь весьма сложные проявления. Так, на рис.50, показана реакция Земли на

прохождение гравитационной волны направленной по направлению стрелки а) и перпендикулярно плоскости листа б).

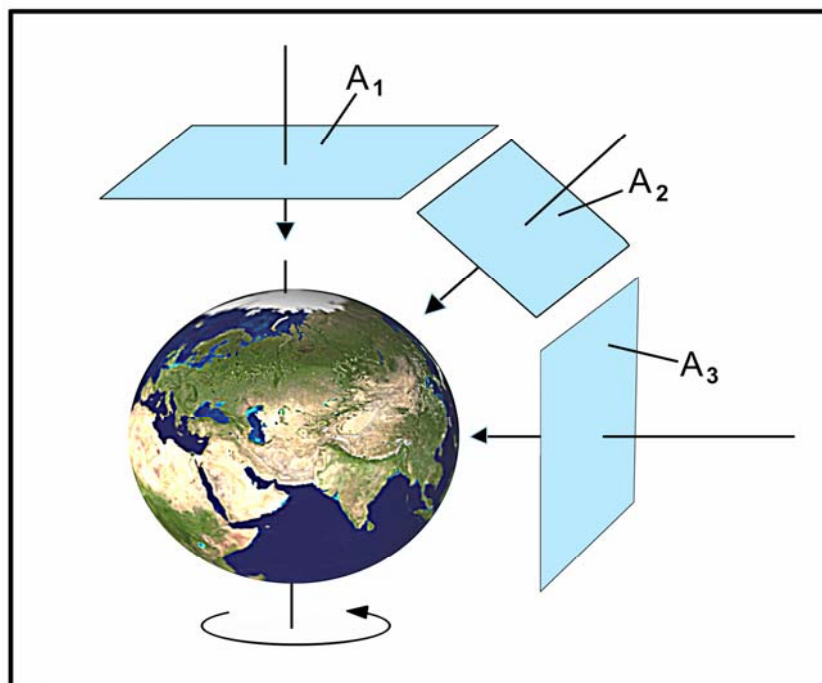


**Рис. 50. Деформация Земли при прохождении через нее сверхдлинной гравитационной волны. а) Деформация формы Земли при направлении распространения гравитационной волны, показанном стрелкой; б) Деформация формы Земли при направлении распространения гравитационной волны, перпендикулярно к плоскости настоящего листа. 1,3,5 – в момент смены полупериодов гравитационной волны, Земля, приобретает свою естественную форму; 2 - изменение формы Земли при прохождении первого полупериода гравитационной волны; 4 – изменение формы Земли при прохождении второго полупериода гравитационной волны.**

Необходимо иметь в виду, что картина еще более усложняется, если учесть вращение Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца, а также движение Солнечной системы в Галактике.

Рассмотрим прохождение через Землю сверхдлинной гравитационной волны, падающей под разными углами. На рис.51 показаны плоскости  $A_1, A_2, A_3$ , характеризующие фронт падающей

гравитационной волны при различных направлениях ее распространения.



**Рис. 51. Схема, изображающая прохождение сверхдлинных гравитационных волн, через Землю, под разными углами.**

Учитывая, что период обращения Земли вокруг своей оси (24 часа), существенно меньше периода сверхдлинных гравитационных волн (2,5 года и 7,7 лет), то наибольшей квадрупольной деформации, Земля, будет подвергаться при прохождении гравитационных волн параллельно и перпендикулярно оси вращения Земли, т.е. когда плоскостями фронта сверхдлинной гравитационной волны являются  $A_1$  и  $A_3$ . Именно при таких направлениях распространения сверхдлинных гравитационных волн, будет наблюдаться деформация, характер которой зарегистрирован NASA при исследованиях коэффициента  $J_2$ . Тот есть, Земля, попеременно будет сжиматься в полюсах, и расширяться в экваторе и, наоборот. При любых других направлениях этот эффект будет уменьшаться из-за вращения Земли вокруг своей оси и достигать минимума, когда

гравитационная волна, проходящая через Землю, будет падать под углом  $45^\circ$  по отношению к оси вращения Земли. На рис.51 плоскость  $A_2$  отражает фронт падающей гравитационной волны под углом  $45^\circ$  по отношению к оси вращения Земли.

Таким образом, эффективность квадрупольной деформации Земли в результате прохождения через нее сверхдлинных гравитационных волн, будет зависеть от периода этих волн, их амплитуды и ориентации по отношению к оси вращения Земли.

В своих исследованиях Кип Торн показывает, что прямое влияние гравитационных волн на деформацию Земли ничтожно мало. Мы можем согласиться с этим, только с точки зрения, непосредственного влияния амплитуды возмущения метрики пространства, в поле гравитационной волны на линейные параметры деформации Земли. Между тем, влияние гравитационной волны на Землю, мы рассматриваем значительно сложнее. Гравитационная волна, проходящая через пространство, создает определенное напряжение в каждой точке пространства, тензор которого отражает квадрупольный характер влияния гравитационной волны на пространство. Таким образом, при существовании любых равновесных энергетических процессов, протекающих во всех слоях Земли: атмосфере, гидросфере, литосфере, мантии и ядре, тензор напряжений, формируемый гравитационной волной в каждой точке пространства, создает приоритетные направления, постепенно изменяющие направления протекания энергетических процессов в Земле.

## **5.2. ЗЕМЛЯ - УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ДЕТЕКТОР ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН**

Наиболее яркими и чувствительными индикаторами современной геодинимической активности Земли, являются землетрясения и извержения вулканов.

Безусловно, если считать справедливым предположение о возможности прохождения через Землю сверхдлиннопериодных гравитационных волн, то они, в обязательном порядке, должны отразиться на геодинимических процессах, в частности, на пространственно-временном распределении землетрясений мира.

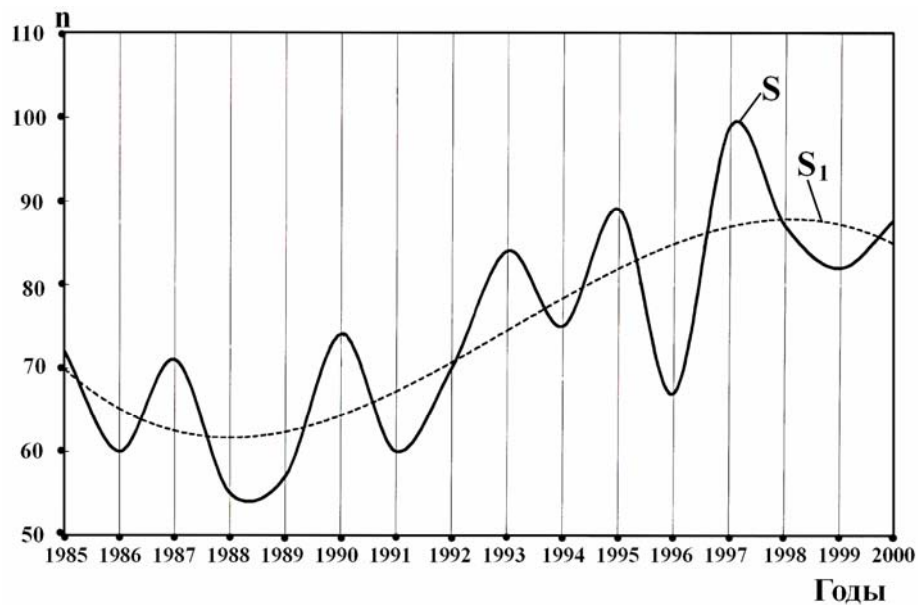
Так, при прохождении через Землю, гравитационная волна, сначала несколько вытянет Землю по направлению своего движения, одновременно сузив перпендикулярно ему, затем,

наоборот, сожмет по направлению движения и расширит перпендикулярно ему. Безусловно, этот процесс должен найти свое отражение в цикличности и пространственно-временном распределении землетрясений мира.

Для изучения характера изменений сейсмической активности Земли с 1985 по 2000 годы, нами были использованы данные каталогов USGS Earthquake Hazards Program /398/.

Нами рассматривались землетрясения с магнитудой  $M > 5$ . С 1985 по 2000 годы, в мире было зарегистрировано 1190 землетрясений с  $M > 5$ .

На рис.52 приведен график сейсмической активности Земли, построенный на основе усредненного за год числа землетрясений с магнитудой  $M > 5$ .



**Рис. 52.** График сейсмической активности Земли с 1985 по 2000 годы.  $S$  – график сейсмической активности Земли;  $S_1$  – тренд аппроксимированный полиномиальным рядом пятой степени;  $n$  – число землетрясений, усредненное за год.

На графике отчетливо выявились циклы высокой сейсмической активности с периодом, в среднем:  $T \sim 2-2,5$  года. Как видно, величина периода циклов сейсмической активизации,

полностью совпала со значением периодов вариаций измеренных значений гравитационной постоянной  $G$ . Этот факт подтверждает наше предположение о возможности влияния этих вариаций на сейсмическую активность Земли. Между тем, на фоне указанных циклов сейсмической активности, явно проглядывается тренд. Наиболее достоверно и четко данный сейсмический процесс, описывает тренд, аппроксимированный полиномиальным рядом пятой степени, приведенный на рис.52, и описываемый уравнением:

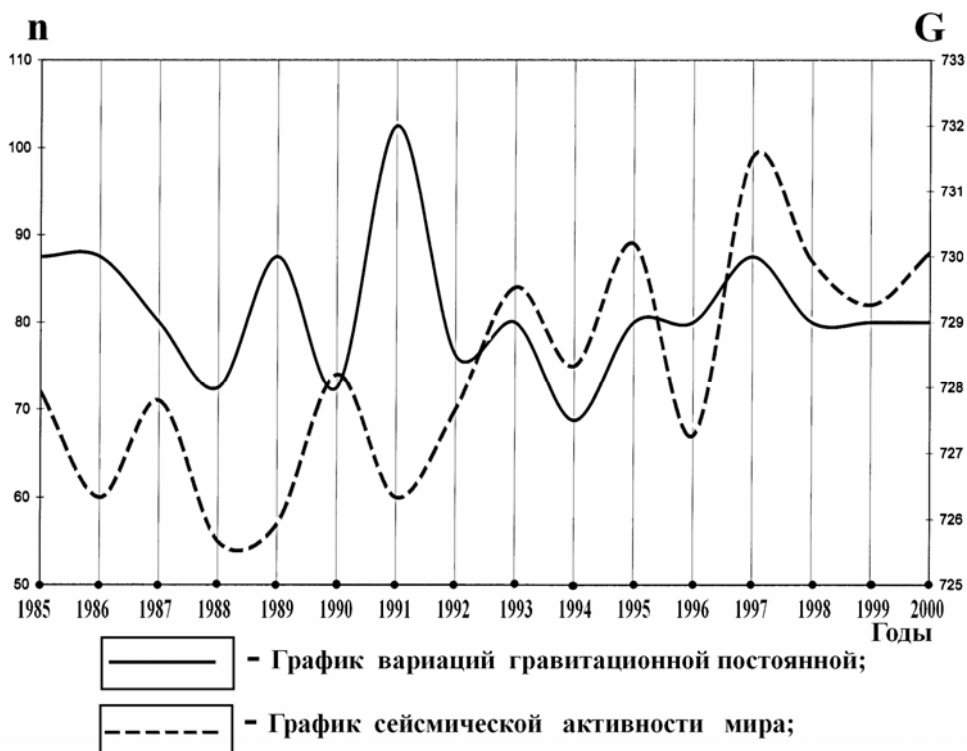
$$y = -0,0534x^3 + 1,4495x^2 - 9,0845x + 77,932 \quad (5.1.)$$

Приведенный тренд свидетельствует о наличии в сейсмической активности более крупных циклов, длительностью около 22 лет, что абсолютно подтверждено многочисленными результатами исследований, как сейсмической, так и вулканической активностей /152,153,157/.

Таким образом, становится, очевидно, что также как и в вариациях измеренных значений  $G$ , график сейсмической активности  $S$ , представляет собой результирующую кривую, образованную в результате наложения, по меньшей мере, двух гармонических процессов: несущей частоты с периодом 2 - 2,5 года и модулирующей по амплитуде гармоникой с периодом 22 года. В то же время, в работах /130, 249,330/ показано, что в сейсмической активности, ярко выражены циклы с длительностью периодов: 7; 11; 22; 44; 90-100 лет.

Особый интерес представляет сравнение графиков вариаций измеренных значений  $G$  и сейсмической активности Земли  $S$ , приведенное на рис.53.

Как видно из рис.53, первые три цикла графиков сейсмической активности и вариаций  $G$ , попали, преимущественно, в противофазу, тогда как вторые три цикла - полностью совпали. Таким образом, результат сравнения не позволил установить однозначного совпадения фаз (противофаз) циклов сейсмической активности и вариаций  $G$ . Но совершенно очевидно, порядок циклов, как сейсмической активности, так и вариаций  $G$  - совершенно идентичен.



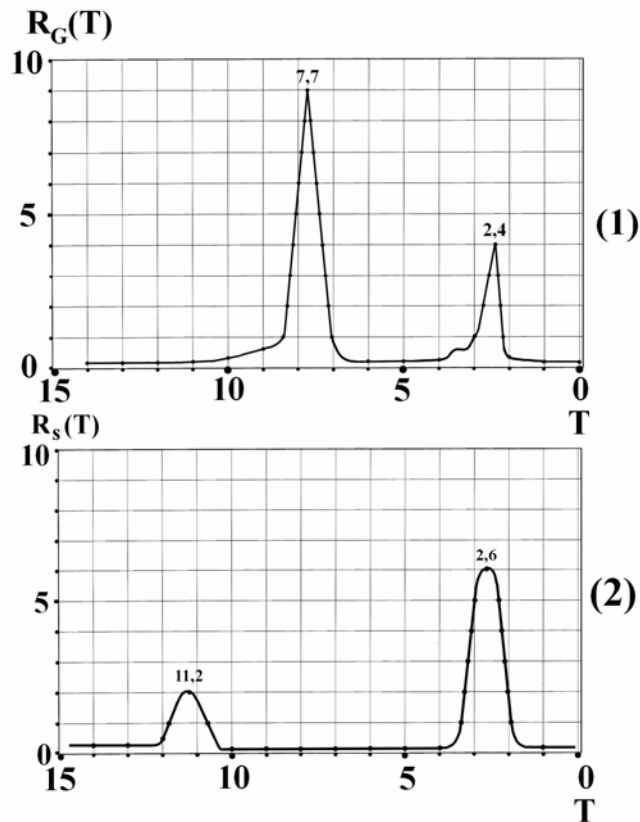
**Рис. 53.** Сравнение графиков вариаций измеренных значений гравитационной постоянной  $G$  и сейсмической активности мира с 1985 по 2000 годы. Ось  $G$  – значения  $G$  начиная со второй цифры после запятой; Ось  $n$  – усредненное число землетрясений с  $M > 5$  за год.

Для более достоверного выявления гармонических составляющих во временных рядах вариаций измеренных значений  $G$  и сейсмической активности Земли с 1985 по 2000 годы, нами был произведен спектральный анализ указанных временных рядов и построены периодограммы. При этом был применен метод максимальной энтропии (ММЭ) и алгоритм Бурга. На рис.54 приведены периодограммы с выделенными гармониками в вариациях  $G$  и сейсмической активности.

Как видно из приведенных периодограмм, во временных вариациях измеренных значений  $G$ , выделяются две ярко выраженные гармоники с периодами 2,4 и 7,7 лет, что полностью



подтверждает результаты проведенного нами анализа временного ряда.



**Рис. 54.** Периодограммы вариаций измеренных значений  $G$  и сейсмической активности Земли. (1) – Периодограмма вариаций  $G$ ; (2) – Периодограмма сейсмической активности Земли;  $T$  – Период.

В то же время, на периодограмме сейсмической активности, наиболее ярко проявилась гармоника с периодом 2,6 года, что также подтверждает ранее установленный период среднего цикла сейсмической активности в рассматриваемом временном ряду. Кроме того, на второй периодограмме дополнительно выявилась, хотя и слабо, гармоника с периодом 11,2 года, совпадающая с длительностью 11-летнего цикла солнечной активности. Слабая выраженность этой гармоники, по нашему мнению, связана с малой длиной ряда, сопоставимой с периодом выделенной гармоники. Между тем, в проявлении планетарной

сейсмической активности гармоника с периодом, в среднем 11 лет, достаточно уверенно выделена в работах /15, 234, 326/.

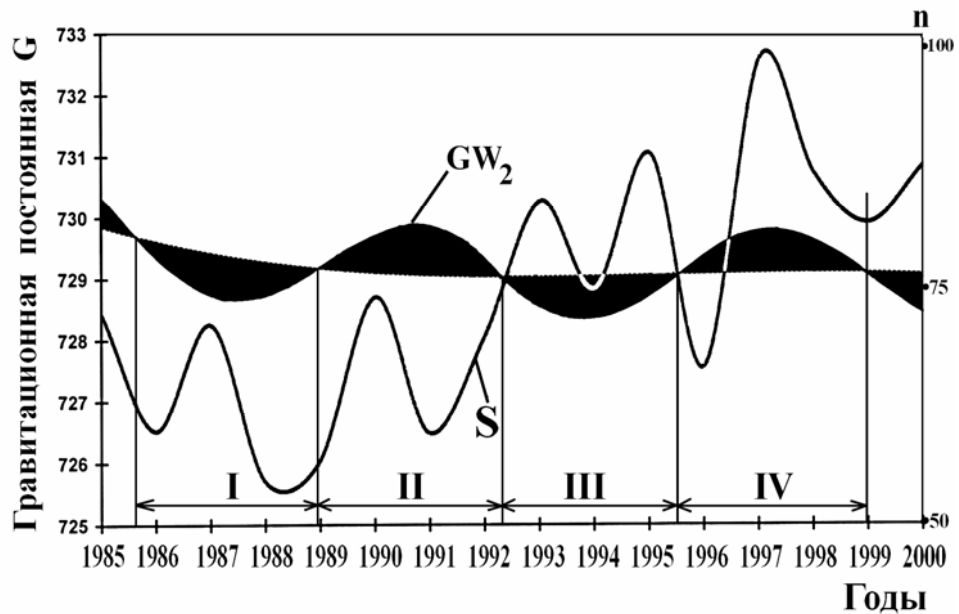
В то же время, было бы, на наш взгляд, совершенно неверно ожидать простого совпадения во времени двух совершенно различных, по физической, сути, процессов, к тому же, отражающих сложное наложение различных гармонических составляющих.

Нам хотелось бы глубже остановиться на возможном физическом механизме связи этих двух процессов.

Как уже отмечалось, прохождение гравитационной волны, должно вызывать квадрупольное изменение формы тела, через которое она проходит. В случае с Землей, квадрупольный характер ее изменения был описан выше. Таким образом, прохождение первой полуволны, должно привести к напряжениям сжатия в Земле, перпендикулярно направлению движения волны и напряжениям растяжения вдоль направления волны. Очевидно, что максимальные напряжения сжатия, будут наблюдаться при прохождении центральной части (с максимальной амплитудой) первой полуволны. В этот момент должен наблюдаться пик сейсмической активности на планете, причем за счет землетрясений, очаги которых будут испытывать напряжение сжатия, направленное перпендикулярно гравитационной волне.

Затем интегральные напряжения в Земле, должны уменьшаться и стать минимальными в момент смены знака напряжения и перехода от первого полупериода волны ко второму. В этот момент механические напряжения в Земле, создаваемые гравитационной волной, должны быть равны  $\sim 0$ . Фоновая сейсмичность в это время, связана, исключительно, с внутренними геодинамическими и космическими факторами (солнечной активностью, лунно-солнечными приливами и т.д.). Сейсмическая активность в данный период, должна иметь минимальное значение.

При вступлении второго полупериода гравитационной волны, напряжения в Земле, поменяют знак на противоположный и, теперь уже, сейсмическая активность планеты, начнет расти за счет очагов землетрясений, тензоры напряжений сжатия которых будут с ориентированы параллельно направлению движения гравитационной волны. Для проверки вышеприведенной концепции рассмотрим сравнение графиков синусоидального тренда вариаций  $G$  (гравитационной волны второго порядка) с графиком сейсмической активности Земли  $S$  рис.55.



**Рис. 55.** Сравнение графиков сейсмической активности Земли и синусоидального тренда, измеренных значений вариаций гравитационной постоянной  $G$ , с 1985 по 2000 годы. Ось  $G$  — значения гравитационной постоянной, начиная со второй цифры после запятой; Ось  $n$  — усредненное за год число землетрясений с  $M \geq 5$ ;  $GW_2$  — гравитационная волна второго порядка (синусоидальный тренд вариаций  $G$ );  $S$  — график сейсмической активности Земли.

На рис.55 подтвердился рассмотренный нами механизм влияния прохождения гравитационной волны на сейсмическую активность Земли. Так, рассматривая первый полупериод гравитационной волны, мы видим, что он полностью совпал с периодом сейсмической активности, тогда как минимум сейсмической активности приходится на момент смены полупериодов, когда напряжения в Земле должны принять минимальные значения.

Второй цикл сейсмической активности, также совпал со вторым полупериодом гравитационной волны и, опять снижение сейсмической активности приходится на смену полупериодов волны. На третий полупериод гравитационной волны, приходится сразу два цикла сейсмической активности. Причина раздвоения цикла сейсмической активности ясна, при просмотре рис.53, где

отчетливо видно влияние гравитационной волны первого порядка на данные циклы сейсмической активности. По всей видимости, сложный характер наложения гравитационных волн различной частоты, накладывает свой отпечаток и на проявление характера цикличности сейсмической активности. Затем опять момент смены полупериодов гравитационной волны, сопровождается снижением сейсмической активности, и вступление следующей гравитационной полуволны к повышению сейсмической активности с максимумом в зоне максимальной амплитуды гравитационной полуволны. Смена знака четвертой гравитационной полуволны, опять сопровождается резким снижением напряжений в Земле и уменьшением ее сейсмической активности.

На рис.56 на основе реальных данных сейсмической активности Земли и вариаций измеренных значений гравитационной постоянной  $G$  (гравитационной волны второго порядка), рассматривается модель возможного влияния сверхдлинной гравитационной волны на изменения формы Земли с 1985 по 1992 годы.

Как видно из рис.56, исходя из особенностей квадрупольного характера влияния гравитационной волны на тела, через которые она проходит, Земля будет подвергаться достаточно сложным деформациям.

Полученные нами данные о квадрупольном характере деформаций Земли под действием гравитационных волн, согласуются с результатами исследований Н.Н.Парийского /177/ и Ю.Д.Буланже /40/.

Ю.Д.Буланже /40/ были приведены результаты наблюдений нерегулярных глобальных изменений силы тяжести на поверхности Земли в течение 1976-1981 гг. - около  $8-9 \text{ мкГал}$  в год для северного полушария и первых  $\text{мкГал}$  в год - для южного полушария, что соответствует относительному изменению силы тяжести  $\Delta g/g \sim 5 \cdot 10^{-9}$  в год.

Парийский Н.Н. провел анализ нерегулярных изменений угловой скорости вращения Земли за тот же период и показал, что за вычетом изменений, обусловленных вариациями кинетического момента атмосферы, остаточная кривая нерегулярных изменений угловой скорости вращения Земли, хорошо коррелирует с данными по нерегулярным изменениям силы тяжести, приведенным Ю.Д.Буланже.

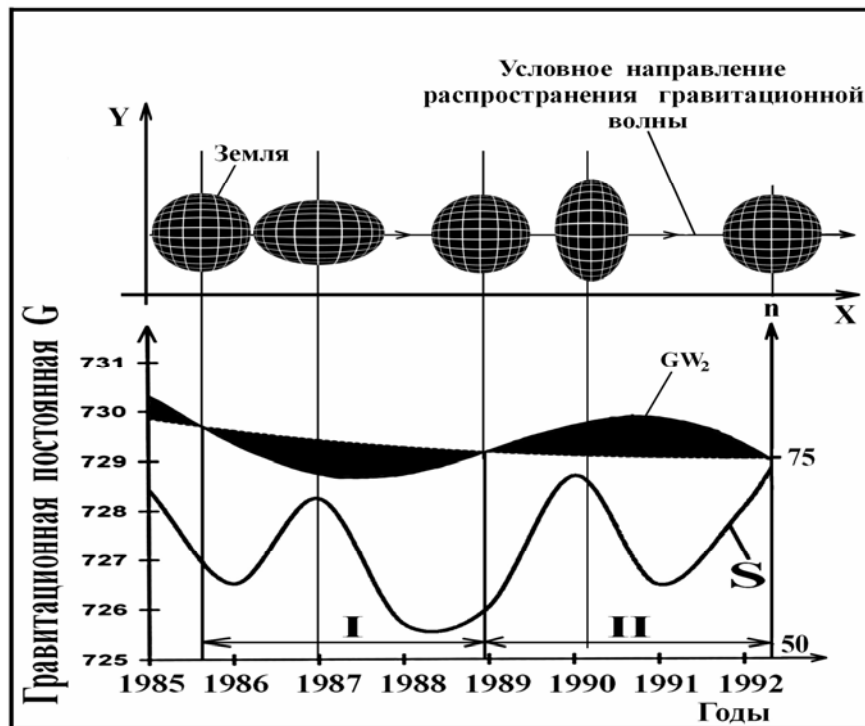


Рис. 56. Модель влияния гравитационной волны на изменения формы Земли на основе реальных значений вариаций  $G$  и сейсмической активности  $S$ . (Для наглядности масштабы деформаций Земли сильно преувеличены). Ось  $G$  – значения гравитационной постоянной, начиная со второй цифры после запятой; Ось  $n$  – усредненное за год число землетрясений с  $M \geq 5$ ;  $GW_2$  – гравитационная волна второго порядка (синусоидальный тренд вариаций  $G$ );  $S$  – график сейсмической активности Земли.

При этом делается главный вывод о том, что положительным значениям  $\Delta g$  соответствуют отрицательные значения  $\Delta \omega$ , а не положительные, как это было бы при общем сжатии Земли. Как указывается в работе /100/, приведенный результат соответствует ситуации, когда сжатие Земли в месте измерения, будет соответствовать общее увеличение момента инерции Земли, что возможно только, если в другом месте земного шара происходит расширение. Деформация, в этом случае, носит так называемый квадрупольный характер.

В своей работе /100/ Д.Д.Иваненко и Б.Н.Фролов отмечают, что существует только один механизм, способный объяснить квадрупольный характер деформации Земли, как следствие

гравитационного эффекта. Этот эффект, может наблюдаться, если земной шар оказывается в поле падающей гравитационной волны, при этом Земля ведет себя подобно детектору гравитационных волн.

Таким образом, наши выводы о влиянии гравитационных волн на сейсмичность Земли, в результате квадрупольной деформации земного шара, также подтверждаются исследованиями нерегулярных глобальных вариаций силы тяжести и нерегулярных изменений угловой скорости вращения Земли, приведенными в работах /41,43/.

Таким образом, исходя из вышеизложенного, мы приходим к предварительному заключению, что наблюдаемые вариации измеренных значений гравитационной постоянной  $G$ , отражают прохождение через Землю сверхдлиннопериодных гравитационных волн, вызывающих квадрупольные напряжения в Земле и, как следствие, соответствующее пространственно-временное распределение сейсмической активности Земли и вариаций тензоров напряжений в очагах землетрясений.

На наш взгляд, прохождение через Землю сверхдлиннопериодных гравитационных волн, формирует основные циклы общепланетарной геодинамической активности. Кроме того, прохождение через нашу планету гравитационных волн различных частот и направлений, будет приводить к сложной интерференционной картине, что должно найти свое отражение в природных процессах.

Учитывая, что гравитационные волны, проходят не только через Землю, но и через всю солнечную систему, можно предположить аналогичную реакцию на гравитационные волны и других планет. В этом случае, в зависимости от направления волны, будет наблюдаться либо некоторое опережение, либо запаздывание реакции Земли по отношению к реакции Солнца и других планет на гравитационную волну, что связано с конечностью скорости гравитационных волн, равной скорости света. Т.е. волна будет проходить сначала через Землю или через Солнце, в зависимости от направления.

Не исключено, что цикличность солнечной активности напрямую связана с прохождением через Солнце сверхдлиннопериодной гравитационной волны.

Таким образом, Земля, фактически, играет роль масс-резонансного детектора сверхдлинных гравитационных волн. Естественно, что наибольшая амплитуда деформационных

колебаний Земли будет наблюдаться в том случае, когда частота гравитационной волны будет совпадать с собственной частотой колебаний Земли.

В 1911 году математик Ляв вычислил период собственных колебаний стального шара размером с Землю. Оказалось, что он будет равен одному часу. Первые собственные колебания Земли, с периодом 57 мин, обнаружены Г.Беньоффом в 1952 году, после землетрясения на Камчатке. Зарегистрированы колебания Земли с периодом 54 мин после чилийского землетрясения в 1960 году.

Поскольку Земля - не однородный стальной шар, а имеет значительно более сложное строение, то и собственные колебания имеют достаточно богатый спектр. *Существуют два типа собственных колебаний упругого шара*, которые называют модами. Сфероидальные колебания дают моду *S* (с периодом 54 мин, что на 6 мин меньше теоретического значения, полученного Лявом. Это отличие указывает, прежде всего, на отличие Земли от однородного стального шара.), а крутильные колебания - моду *T*. Этому крутильному колебанию соответствует только одна поверхность, текущая поверхность Земли по экватору. При этом северное и южное полушария смещаются в противоположные стороны. Среди других мод (своего рода гармоник) существуют и такие, период которых значительно отличается от теоретического. Собственные колебания - прекрасный материал для тестирования принятой модели Земли. Они могут быть вычислены заранее, теоретически. С другой стороны, собственные колебания Земли получены путем наблюдений, с использованием, например, того факта, что сила тяжести зависит от высоты точки, где она наблюдается. Вертикальный градиент силы тяжести составляет приблизительно 300 мкГал/м. Заметим, что 1 мкГал составляет приблизительно  $10^{-9}g$ . Изменение высоты всего на 1 мм, вызывает изменение силы тяжести на 0,3 мкГал. Сейчас существуют приборы, способные зарегистрировать значительно меньшие изменения силы тяжести - это криогенные гравиметры.

***Таким образом, не исключено, что одной из основных причин собственных колебаний Земли, является их возбуждение проходящими через Землю, на ее резонансной частоте, сверхдлинными гравитационными волнами.***

### **5.3. ВЛИЯНИЕ СВЕРХДЛИННЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН НА ВАРИАЦИИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЗЕМНЫХ СУТОК**

Неравномерность скорости суточного вращения Земли была обнаружена еще в начале XX века.

Эти вариации суточного вращения Земли, по мнению В.М.Киселева /118/, выражаются, в основном, тремя факторами: 1. Ось вращения меняет свою ориентацию в пространстве; 2. Ось вращения Земли меняет свое положение относительно поверхности Земли; 3. Угловая скорость вращения Земли переменна относительно мгновенной оси.

Изменения пространственного положения земной оси обусловлены, в основном, гравитационным воздействием Луны, Солнца и планет Солнечной системы на Землю. Эта величина достаточно точно рассчитывается. Значительно сложнее дело обстоит со вторым и третьим факторами, которые проявляются, соответственно, в виде движения полюсов относительно поверхности Земли и вариаций угловой скорости вращения Земли. Движения полюсов распадается на три составляющие: движение с периодом в 14 месяцев переменной амплитуды, равное  $0,1''$ , открытое Чендлером; движение с годичным периодом и амплитудой  $0,08''$ , соответствующей  $2,5 м$  на земной поверхности, и третье – очень медленное и неправильное вековое движение, в среднем около  $0,003''$  или  $10 см$  в год /161/.

Чендлерово движение, соответствует свободному движению полюсов. На сегодня нет однозначного ответа, объясняющего причины таких колебаний, при этом существуют различные гипотезы, в том числе, связывающие эти колебания с сильными землетрясениями и извержениями вулканов. Годичные колебания связывают с метеорологическими явлениями – отложениями снега и таянием снегов, скоплением зимой воздушных масс над северо-восточной Азией, когда атмосферное давление становится выше обычного. Вековое движение полюса не подчиняется четким закономерностям и на сегодня, не имеет однозначного объяснения /161/. Между тем, эти типы движений не рассматриваются в данной работе, поэтому основное внимание будет уделено неравномерности скорости суточного вращения Земли.

Обычно выделяют три основных аспекта в изменениях длительности земных суток: 1). Вековые изменения на  $1-2 мс$  за 100 лет; 2). Сезонные вариации с амплитудой около  $0,5 мс$ ; 3).



Нерегулярные изменения от года к году, величина которых более чем на порядок превосходит вековые изменения.

Вековые изменения длительности суток связаны, преимущественно, с действием приливообразующих сил, возникающих в результате гравитационного взаимодействия Земли с Луной и Солнцем. Сезонные вариации угловой скорости вращения Земли обусловлены изменениями зональной циркуляции атмосферы в течение года и, частично, лунными приливами.

Впервые на существование нерегулярных изменений скорости вращения Земли, обратил внимание, еще Ньютон в 1875 году, исследуя движение Луны. Наличие нерегулярных изменений во вращении Земли, стало очевидным после работ Де Ситера и Спенсера Джонса, которыми были обнаружены одновременные изменения в среднем движении: Луны, Солнца, Меркурия, Венеры, Марса и спутников Юпитера, пропорциональные их средним движениям. Между тем, до настоящего времени не сложилось мнения относительно причин нерегулярного изменения угловой скорости вращения Земли.

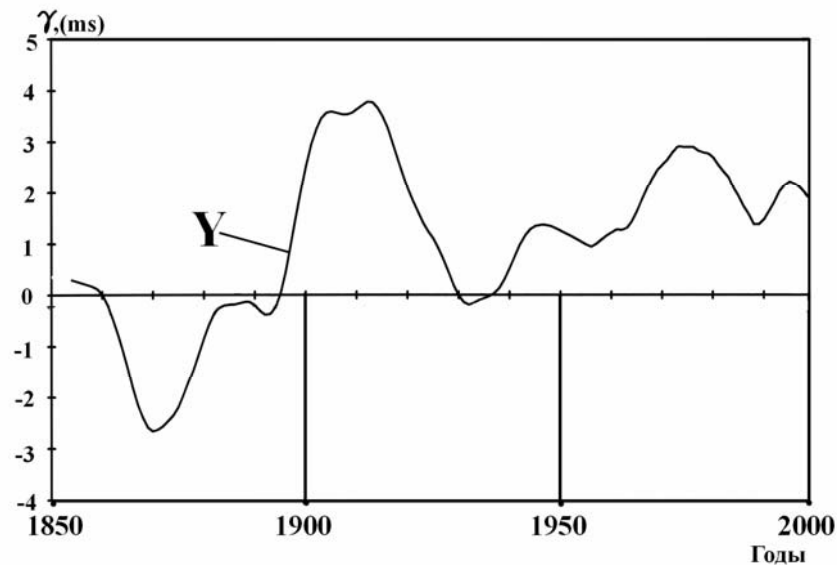
На рис.57 показан график нерегулярных вариаций длительности земных суток с 1850 по 2000 годы, сглаженный 5-ти летними скользящими средними.

Различные исследователи пытались выдвигать концепции, объясняющие механизм нерегулярных изменений суточного вращения Земли.

Так, в работах /147,365/ рассматривались исследования взаимодействия геомагнитного поля с межпланетной средой и возможность влияния этого взаимодействия на вариации угловой скорости вращения Земли.

В работе /28/ показано, что заметные изменения скорости вращения Земли могут возникнуть, когда частота изменения внешнего магнитного поля (например: ионосферного происхождения) максимально близка к частоте вращения Земли.

В работе /308/ приводятся оценки вращательного момента, возникающего в результате взаимодействия солнечного ветра с геомагнитным полем, при этом показано, что этот момент недостаточен для объяснения наблюдаемых изменений длительности земных суток.



**Рис. 57.** График вариаций длительности суток с 1850 по 2000 годы, построенный по данным /160/.  $Y$  – график вариаций длительности суток; Ось  $\gamma$ (ms) – изменения длительности суток.

В 1965 году была высказана гипотеза о том, что импульсные изменения скорости суточного вращения Земли, могут быть обусловлены электромагнитным взаимодействием Земли с потоками солнечной плазмы, обладающими бессиловой конфигурацией магнитных полей, названной  $M$  – элементами /16/.

Эта идея впоследствии была развита в работе /25/, где показано, что если в солнечном ветре существуют плазменные образования с характеристиками  $M$ -элементов, то с их помощью можно объяснить внезапные изменения скорости суточного вращения Земли.

Наиболее близко, на наш взгляд, к выяснению истинных причин, влияющих на вариации угловой скорости вращения Земли, подошли П.Н.Кропоткин, Н.Н. Парийский и другие исследователи, связывающие наблюдаемые изменения скорости суточного вращения Земли с возможными изменениями ее радиуса и формы /131, 153, 157,177,236/. На возможность периодического изменения радиуса Земли, наряду с горизонтальными движениями литосферных плит, указывает также В.Е.Хаин /225/.

Так, в работе П.Н. Кропоткина /131/ указано, что периодические изменения радиуса Земли, являются первопричиной, как цикличности в проявлениях тектонических процессов, так и вариаций угловой скорости вращения Земли (Кропоткин, 1984). Одновременно, эта же идея выдвигается Ш.Ф.Мехтиевым и Э.Н.Халиловым в работе /151/, где также, как и в работе /131/, делается вывод о периодических изменениях радиуса Земли, при этом, в периоды сжатия Земли, уменьшение радиуса происходит за счет активизации процесса субдукции и замедления процесса спрединга, а в периоды расширения Земли – наоборот (Мехтиев, Халилов, 1984).

Примечательно, что в работе /131/, установлена хорошая корреляция между Чендлеровскими движениями, угловой скоростью вращения Земли и сейсмической активностью, что позволяет увязать все эти процессы в единую, логически обоснованную, систему.

Теоретические расчеты упругой деформации Земли и соответствующих изменений ее момента инерции, ее вращения и силы тяжести на поверхности, были сделаны Н.Н. Парийским еще в 1954 г. в работе /176/.

На основе проведенных вычислений Н.Н. Парийский приходит к выводу, что ни эффекты, вызванные солнечной активностью, ни атмосферные явления, не могут вызвать наблюдаемых изменений угловой скорости вращения Земли. По его мнению, эти вариации могут являться результатом глобальных деформационных процессов в Земле, приводящих не только к периодическому изменению ее радиуса, но также к сложному изменению ее формы. Судя по его описанию, этого процесса, он должен носить квадрупольный характер, т.е. Земля должна «менять свою форму, расширяясь в средних и полярных областях и на порядок больше сжимаясь в экваториальных /177/.

Примечательно, что именно такой характер деформаций Земля должна претерпевать в случае прохождения через нее гравитационной волны /100, 236/.

Приведенный в работе /100/ результат исследований нерегулярных изменений силы тяжести, соответствует ситуации, когда сжатию Земли в месте измерения, будет соответствовать общее увеличение момента инерции Земли, что возможно только, если в другом месте земного шара происходит расширение.

На наш взгляд, представляет большой интерес выяснение возможной связи между волновыми вариациями гравитационной постоянной  $G$  и изменениями угловой скорости вращения Земли.

На график вариаций  $G$  был наложен тренд, аппроксимированный синусоидой  $GW_2$ .

Наше внимание будет с акцентировано на выявлении возможной связи между вариациями измеренных значений  $G$  и изменениями угловой скорости вращения Земли.

Волновые вариации  $G$ , в работе /236/ нами рассматриваются, как результат влияния проходящих через Землю гравитационных волн на взаимодействие масс крутильных весов, с помощью которых производится измерение гравитационной постоянной  $G$ .

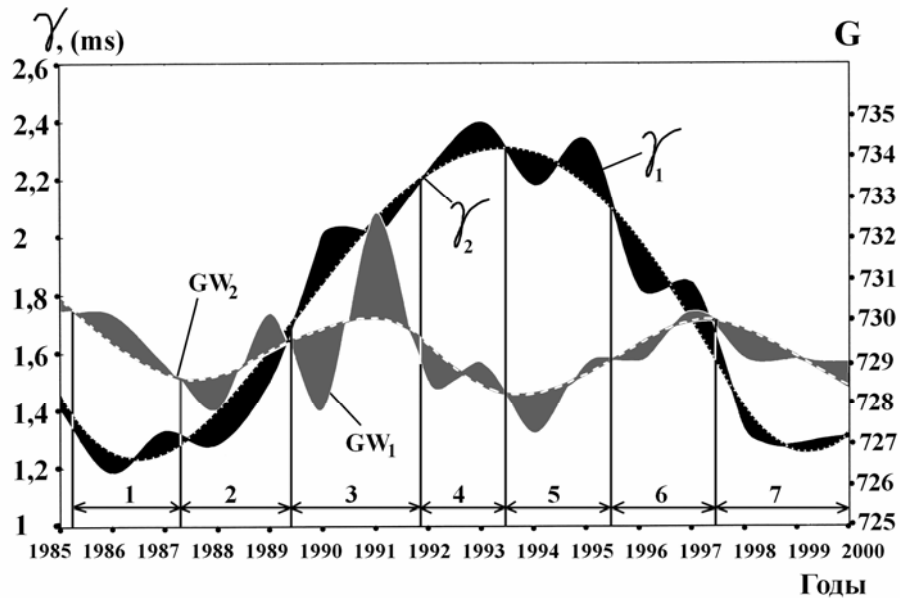


Рис. 58. Сравнение графиков вариаций измеренных значений гравитационной постоянной  $G$  (гравитационной волны первого порядка) и изменения скорости суточного вращения Земли по данным /204/. Ось  $\gamma, (ms)$  – изменения длительности суток в ms; Ось  $G$  – значения  $G$ , начиная со второй цифры после запятой;  $GW_1$  – график фактических значений вариаций гравитационной постоянной, усредненных за год (гравитационная волна первого порядка);  $GW_2$  – тренд, аппроксимированный синусоидой (гравитационная волна второго порядка);  $\gamma_1$  – Вариации длительности суток первого порядка;  $\gamma_2$  – Тренд, аппроксимированный полиномиальным рядом пятой степени и отражающий вариации длительности суток второго порядка.

Как видно из рис.59, в вариациях длительности суток, выделяются волнообразные отклонения с периодом, в среднем 2-2,5 года, совпадают с периодом волнообразных изменений  $G$ , который также равен 2-2,5 годам. Эти вариации условно названы нами вариациями первого порядка. Для отображения волнообразного процесса, на график наблюдаемых значений вариаций длительности суток  $\gamma_1$  был наложен тренд  $\gamma_2$  аппроксимированный полиномиальным рядом пятой степени и отражающий цикл с периодом 13 лет. Этот тренд, условно назван нами вариациями длительности суток второго порядка.

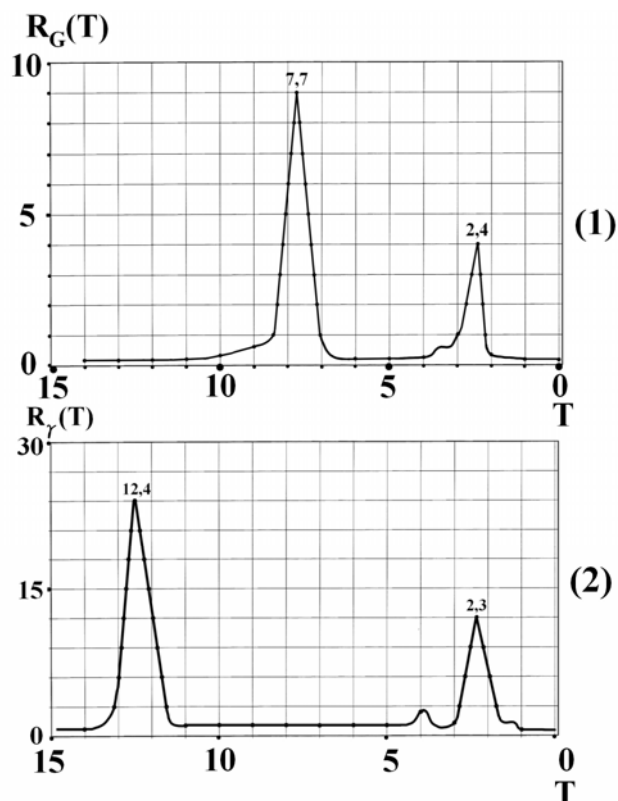
Сравнение графика  $GW_1$  с графиком  $\gamma_1$  показало, что в 100% случаях моменты смены знака и перехода одного полупериода волны к другому на обоих графиках совпали. Кроме того, если рассматривать эти колебания как волновые процессы, то последние три волновых цикла попали в фазу, тогда как только один - третий в противофазу.

Такое соотношение между графиками, отражающими гравитационную волну первого порядка и вариации длительности суток первого порядка, может быть объяснено с точки зрения влияния гравитационной волны на процессы деформации Земли.

С целью повышения достоверности выявления гармонических составляющих во временных рядах вариаций измеренных значений  $G$  и изменений длительности земных суток с 1985 по 2000 годы, нами был произведен спектральный анализ указанных временных рядов и построены соответствующие периодограммы. При расчетах спектральной плотности, был применен метод максимальной энтропии (ММЭ) и алгоритм Бурга. На рис.60 приведены периодограммы с выделенными гармониками в вариациях  $G$  и изменениях длительности суток.

Как видно из приведенных периодограмм, во временных вариациях измеренных значений  $G$ , выделяются две ярко выраженные гармоники с периодами 2,4 и 7,7 лет. В то же время, на периодограмме изменений длительности суток, наиболее ярко проявились гармоники с периодами 2,3 года и 12,4 лет, что тоже подтверждает выделенные гармоники при анализе графиков на рис.59.

Сравнение периодограмм, позволило установить наличие идентичной для обоих спектров и ярко выраженной гармоники с периодом 2,3-2,4 года.

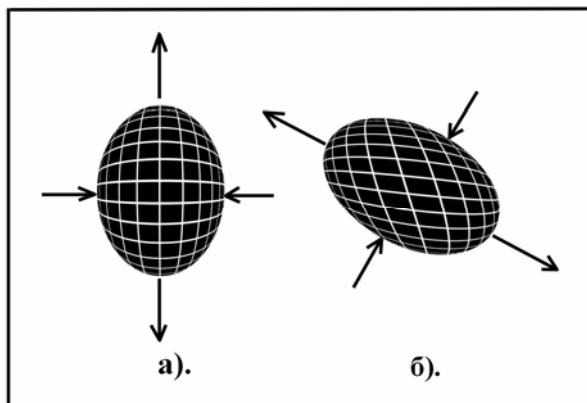


**Рис. 60. Периодограммы вариаций измеренных значений  $G$  и изменений длительности суток. – Периодограмма вариаций  $G$ ; (1)- Периодограмма изменений длительности суток;  $T$  – период.**

Примечательно, что гармоника с периодом 12,5 лет, была выделена в вариациях длительности суток В.М.Киселевым в работе /118/. Эта гармоника, по мнению Киселева, указывает на наличие связи изменений длительности суток с 11-летним циклом солнечной активности.

Как уже было описано выше, при прохождении гравитационной волны через Землю, ее форма будет претерпевать очень сложные изменения. Помимо изменений формы Земли, описанных выше, нам хотелось бы привести пример изменений напряжений и формы Земли, в случае, когда наблюдатель смотрит на Землю по направлению распространения гравитационной волны. Реакция формы Земли на падающую гравитационную волну,

распространяющуюся перпендикулярно плоскости чертежа, показана на рис.61.



**Рис. 61. Изменение направлений деформационных напряжений в Земле в поле гравитационной волны, распространяющейся перпендикулярно плоскости чертежа. а). Деформация Земли при прохождении первой полуволны; б). Деформация Земли при прохождении второй полуволны.**

Как видно из рис.61 при прохождении гравитационной волны через Землю, она будет подвергаться весьма сложным деформациям. Если же учесть, что Земля вращается вокруг своей оси и вокруг Солнца, и движение Солнечной системы в Галактике, то становится ясно, насколько сложным динамическим напряжениям будет подвергаться тело Земли. Как указывает в работе /230/ В.Е.Хаин, в проявлениях геодинамических процессов, необходимо учитывать, «что наша планета представляет открытую систему, существующую не в абстрактном, а в конкретном космическом пространстве и взаимодействующую с ним. Достаточно давно было обращено внимание на совпадение длительности крупномасштабных тектонических циклов, установленных еще в самом конце XIX века французским геологом М.Бертраном, со временем обращения Земли и всей Солнечной системы по галактической орбите» /230/.

Если период вращения Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца, значительно меньше периода гравитационной волны, то, очевидно, что даже при прохождении одной полуволны, Земля будет подвергаться знакопеременным напряжениям с суточным и

годовым периодом, но эти напряжения будут относительно незначительными.

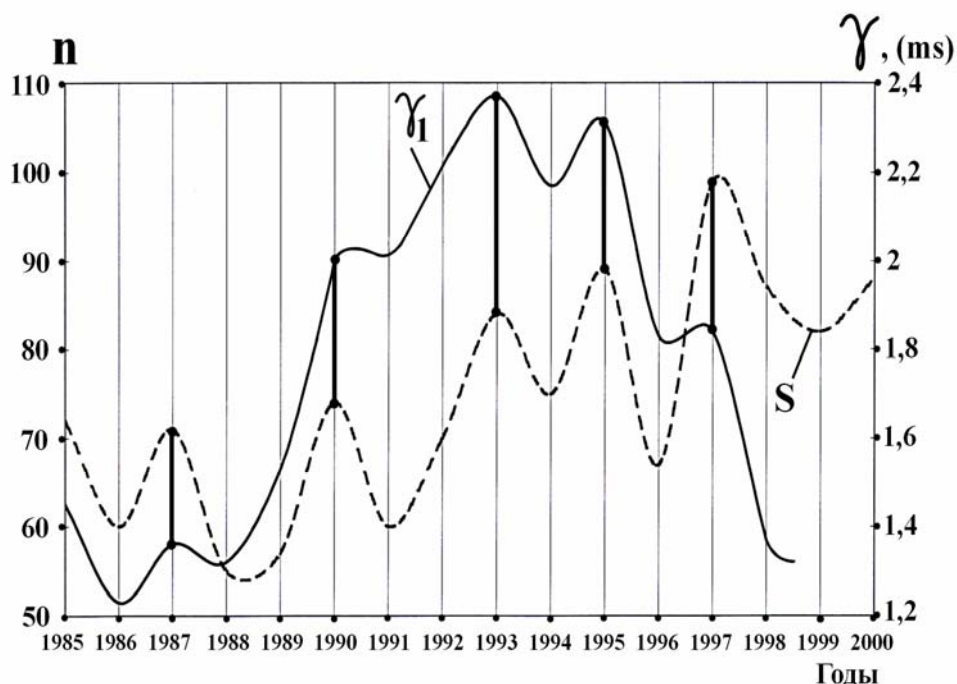
Конечно, при смене полупериодов гравитационной волны, знакопеременные напряжения в Земле, должны быть существенно выше, чем в результате ее вращения вокруг оси и вокруг Солнца в поле падающей волны.

Для лучшего понимания механизма влияния гравитационной волны на изменения угловой скорости ее вращения, рассмотрим пример прохождения гравитационной волны через Землю. Так, при прохождении первой гравитационной полуволны через Землю, радиус Земли несколько увеличится по направлению распространения волны и уменьшится перпендикулярно ему. Это приведет к изменению момента инерции Земли, причем знак этого изменения, будет зависеть от ориентации Земли по отношению к фронту гравитационной волны. При прохождении центральной части гравитационной полуволны через Землю, ее форма будет максимально деформирована, и момент инерции, максимально отличаться от среднего значения. Следовательно, в это время изменения длительности суток будут максимальными.

В момент перехода от одного полупериода гравитационной волны к другому, воздействие на Землю гравитационной волны будет минимальным  $\sim 0$ . В этот момент Земля примет свою естественную форму, и длительность суток, будет иметь среднее значение. При вступлении второй полуволны, значение момента инерции Земли, начнет меняться на противоположное по знаку. Значение достигнет максимальной величины при прохождении в центральной части гравитационной полуволны, когда ее амплитуда будет максимальной. Это приведет к максимальному, но противоположному по знаку, изменению длительности земных суток. Затем цикл будет повторяться. Таким образом, описанный механизм может объяснить волновое изменение длительности суток, хорошо коррелирующее с изменениями волновых вариаций измеренных значений  $G$ . Некоторые отклонения от описанного механизма, могут быть объяснены, сложным характером изменений формы Земли, при прохождении фронта гравитационной волны, в результате ее вращения вокруг оси и вокруг Солнца, а также в результате наложения гравитационной волны второго порядка  $GW_2$ .

Особый интерес представляет сравнение графиков вариаций длительности земных суток и сейсмической активности Земли, рис.62.



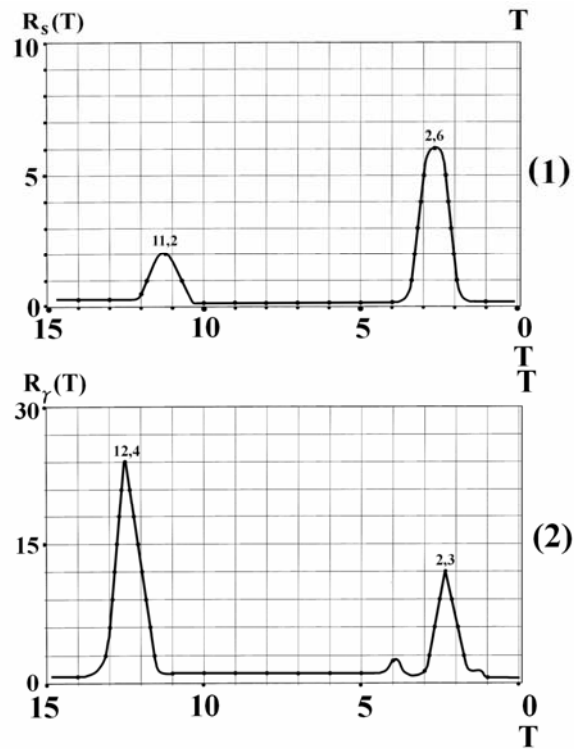


**Рис. 62.** Сравнение графиков вариаций длительности земных суток и сейсмической активности Земли. Ось  $n$  – усредненное за год число землетрясений с  $M \geq 5$ ; Ось  $\gamma$  (ms) – изменения длительности земных суток в ms;  $\gamma_1$  – график вариаций длительности земных суток;  $S$  – график сейсмической активности Земли.

Как видно из рис.62, максимумы всех циклов сейсмической активности Земли, полностью совпали с максимумами вариаций длительности земных суток.

Спектральный анализ вариаций длительности земных суток и сейсмической активности Земли, также подтвердил наличие идентичных гармоник в обоих процессах, рис.63.

На рис.63 показано сравнение периодограмм сейсмической активности Земли и вариаций длительности суток. Как видно из сравнения, на обеих периодограммах выделились по две гармоники с периодами 2,3 – 2,6 года и 11,2 – 12,4 лет. Таким образом, периодограммный анализ, подтвердил результаты линейного преобразования методом скользящей средней временных рядов сейсмической активности и вариаций длительности суток Земли.



**Рис. 63.** Периодограммы сейсмической активности Земли и изменений длительности суток. (1) – Периодограмма сейсмической активности Земли; (2) – Периодограмма вариаций длительности суток;  $T$  – период.

Физический смысл этого абсолютного совпадения становится понятен, если учесть, что при построении графика сейсмической активности были использованы землетрясения с  $M \geq 5$ , данные о которых взяты из каталога /398/.

При этом необходимо отметить, что более 95% всех использованных землетрясений с  $M \geq 5$ , относятся к поясам сжатия Земли и, следовательно, отражают активизацию процессов сжатия. В то же время, квадрупольный характер влияния гравитационной волны, предполагает одновременное расширение Земли, перпендикулярно оси сжатия.

Таким образом, анализируя взаимосвязь графиков  $S$  и  $\gamma_1$  на рис.62, можно прийти к выводу, что периоды повышения

сейсмической активности, отражают процессы сжатия Земли в одном направлении, в то время, как расширение происходит в противоположном направлении и не проявляется столь ярко в сейсмической активности поясов растяжения Земли в силу малочисленности и слабости землетрясений рифтовых зон.

Изменяющийся при этом момент инерции, приводит к замедлению скорости вращения Земли (увеличению длительности суток). Необходимо учесть, что знак изменения момента инерции и, как следствие, длительности земных суток, будет зависеть от ориентации оси вращения Земли по отношению к фронту гравитационной волны.

Приведенные результаты исследований позволяют подтвердить выводы сделанные в работах /131, 153, 155, 177/ о том, что основной причиной наблюдаемых изменений длительности суток является периодическое и сложное изменение радиуса и формы Земли.

#### **5.4. ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ НА ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ ЗЕМЛИ**

О возможности влияния гравитационных волн на деформацию Земли и геодинамические процессы, можно судить на основе проведения определенных аналогий, например, влияния лунно-солнечных приливов, а также гравитационного воздействия других планет Солнечной системы, на природные процессы.

Изучению связи между периодичностью землетрясений и лунно-солнечными приливами посвящено наибольшее число исследований следующих ученых: Матвеева П.С. и Голубицкого В.Г. (1961), Стюарта М.В. и Нестеренко П.Г. (1963), Ермакова Б.В. и др. (1984), Латынина Л.А. и Ризаева С.Д. (1985), Cotton L.A. (1928), Bagby D.P. (1973), Gougenheim M.A. (1961), Hedervari P. (1964), Knopoff L. (1964), Simpson I.F. (1967), Ryall A. (1968), Zeltler B.D. (1969), Shilen S. (1972), Nagasawa K. (1973), Heaton Th.H. (1975).

Всеми вышеперечисленными исследователями, делается вывод, о существовании физической связи между лунно-солнечными приливами и сейсмической активностью Земли. Различаются лишь оценки, относительно степени этого влияния.

А.И.Елькин рассматривает возможность влияния лунно-солнечных приливов на скорость процесса тектонических

движений земной коры и, как следствие, на возникновение землетрясений. В работе Латынина Л.А. и Ризаева С.Д. предлагается изучать приливные деформации в зонах сейсмоактивных разломов с целью прогноза землетрясений. В частности отмечается, что если в результате процессов, подготавливающих землетрясение, упругие характеристики зоны разлома изменяются, это приводит к изменению интенсивности приливной волны.

П.С.Матвеев и В.Г.Голубицкий проводя статистические исследования влияния приливообразующих сил Луны и Солнца на частоту землетрясений Закавказья, дают оценку зависимости частоты землетрясений от смены фаз Луны и от смены времени года. В то же время, ими исключается статистически достоверная связь между солнечными приливами и частотой землетрясений.

Так, Bagby D.P. на основании изучения величины высвобожденной энергии за 65 лет, приходит к заключению о влиянии расположения Нептуна и Урана по отношению к Земле, а также лунно-солнечных приливов на сейсмическую активность.

Ряд авторов (Heaton Th.H., Knopoff L., Simpson I.F.) считают, что приливы, являются спусковым механизмом разрядки напряжений в недрах Земли. Ими также отмечается возможность применения зависимостей между сейсмичностью и приливыми явлениями для прогноза землетрясений.

Nagasawa K. на основании изучения землетрясений Японии с 1926 по 1970 гг. установил, что для землетрясений с  $M > 6$  наблюдается нарастание частоты более чем на 30% во время первой и последней четвертей Луны.

Ryall A. и другие указывают на возможность возбуждения микроземлетрясений земными приливами.

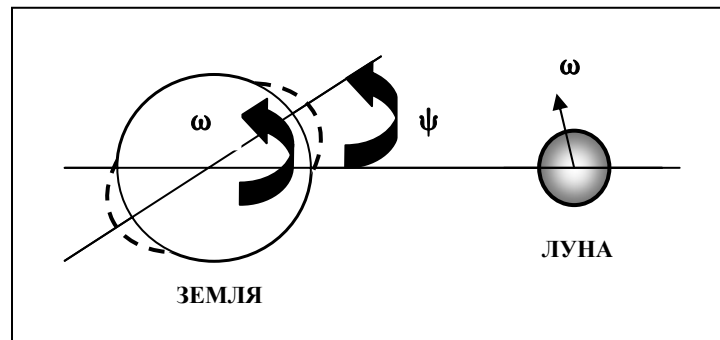
Simpson I.F. предлагает к рассмотрению физический механизм влияния на период повторяемости землетрясений лунно-солнечных приливов, связанный с пересечением плоскости эклиптики с нормалью к плоскости разлома при землетрясениях /372,373/.

Безусловно, для более глубокого анализа, воздействия гравитационных полей планет Солнечной системы на природные процессы Земли, необходимо осмыслить возможный физический механизм этого процесса.

Рассмотрим этот процесс на примере Луны, гравитационное воздействие на Землю, которой хорошо изучено. Итак, в поле гравитационного потенциала, передача момента количества движения от планеты к спутнику, должна уравниваться моментом вращения, обусловленным влиянием спутника на

планету. Если бы приливная реакция спутника на планету была бы мгновенной, то полный момент вращения оказался бы равным нулю, поскольку приливный горб был бы всегда симметричен относительно линии планета - спутник.

Между тем, в силу неабсолютной упругости и диссипации энергии, будет иметь место фазовый сдвиг  $\psi$ . Так как  $\omega_{пл} > \omega_{сп}$ , максимальный приливный горб у планеты отстает от линии планета – спутник. Спутник, в свою очередь, создает противодействующий момент, стремящийся замедлить вращение планеты. В то же время, воздействие горба на спутник, создает равный по величине, но противоположный по направлению момент вращения, вызывающий увеличение энергии и момента количества движения спутника.



**Рис. 64.** Схема запаздывания приливного горба, возникающего у Земли под влиянием гравитационного поля Луны (Марков М.Я., 1986).  $\omega_{пл}$  – частота вращения планеты вокруг своей оси;  $\omega_{сп}$  – частота вращения спутника вокруг планеты.

Энергия вращения, затрачиваемая спутником на торможение Земли, составляет величину  $2,8 \cdot 10^{19}$  эрг/с. Для сравнения: Земля получает от Солнца энергию  $1,7 \cdot 10^{24}$  эрг/с, мощность атмосферной циркуляции оценивается  $2,4 \cdot 10^{22}$  эрг/с, энерговыделение во время мощных магнитных бурь составляет около  $10^{19}$  эрг/с.

Расчеты показывают, что основная часть замедления вращения Земли, составляющая около 3,5 мс за столетие, обусловлена океаническими приливами (на самом деле замедление составляет около 2 мс, поскольку одновременно происходит ускорение вращения Земли, примерно на 1,5 мс за столетие, причины которого, до настоящего времени, не выяснены).

Из-за того, что Земля вращается вокруг своей оси быстрее, чем Луна обращается вокруг Земли, приливный выступ (горб) выносится вращением Земли вперед относительно линии центров Земли и Луны. Наоборот, если бы Земля вращалась бы медленнее обращения Луны, то приливный горб, отставал бы. Максимальная деформация, в результате Лунных приливов в данной точке возникает позже, чем максимальное напряжение, направленное вдоль линии центров (Марков М.Я., 1986). Земные приливы запаздывают на угол  $\approx 2 \div 4^\circ$ .

Максимальная амплитуда приливного горба составляет несколько десятков см (Жарков В.Н., 1983).

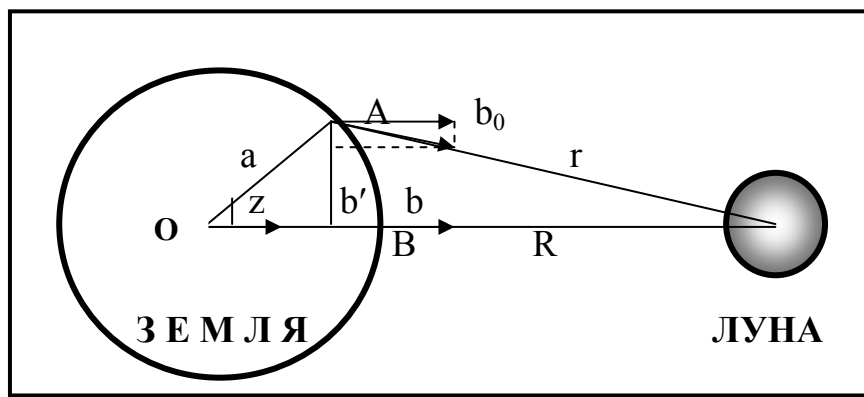


Рис. 65. Приливная сила в точках A и B (Жарков В.Н.,1983).

Приливообразующий потенциал  $W_t$  в произвольной точке A, расположенной на поверхности Земли, имеет вид:

$$W_t = \frac{GM}{R} \sum_{n=2}^{\infty} \left( \frac{a}{R} \right)^n P(\cos z), \quad (5.2.)$$

где  $G$  – гравитационная постоянная,  $M$  – масса возмущающего тела (в данном случае, масса Луны),  $a$  – средний радиус Земли,  $R$  – расстояние между центрами масс Земли и Луны,  $z$  – угол AOB,  $P_n(z)$  – полиномы Лежандра. Поскольку отношение:  $a/R$  весьма мало ( $\sim 1/60$ ), в общей формуле достаточно удержать всего один член с  $n = 2$ . Изменение ускорения силы тяжести на поверхности Земли в точке B, лежащей на линии центров Земля-Луна

(где  $z = 0$ ) из-за приливообразующей силы равно (Жарков В.Н., 1983):

$$\Delta g_t = \frac{dW_t}{da} = \frac{2GM_L a}{R^3} P_2(1) = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ см} / \text{с}^2 = 0,11 \text{ мГал} \quad (5.3.)$$

где  $\Delta g_t$  - изменение ускорения силы тяжести;  $M_L$  – масса Луны.

Для количественной характеристики отклика твердой Земли на прилив, Ляв в 1909 г. ввел два безразмерных параметра  $k$  и  $h$  - числа Лява. Число  $k$  - равно отношению дополнительного потенциала, возникающего из-за приливной деформации Земли, к приливообразующему потенциалу на поверхности Земли; число  $h$  - отношению высоты земного прилива к высоте соответствующего статического океанического прилива на абсолютно твердой Земле (т.е. к высоте подъема эквипотенциальной поверхности абсолютно твердой Земли под действием приливообразующего потенциала).

Значения чисел Лява для полусуточных или суточных волн равны:

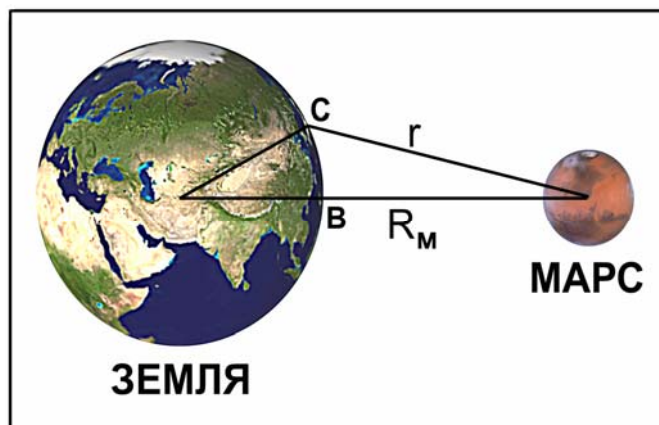
$$k = 0,301; \quad h = 0,609$$

Рассмотрев механизм приливообразования вызванного Луной в твердой Земле, попытаемся оценить изменение ускорения силы тяжести в результате влияния гравитационного поля Марса в период его максимального приближения к Земле на расстояние 55,7 млн. км, которое состоялось 27-28 августа 2003 г.

На рис.66 показана схема взаимодействия Земли и Марса, где  $R$  – расстояние от центра Земли до центра Марса,  $r$  – расстояние от центра Марса до поверхности Земли.

Определим изменение ускорения силы тяжести на поверхности Земли в точке  $B$ , лежащей на линии центров Земля-Луна, где  $z = 0$ .

$$\begin{aligned} \Delta g_t &= \frac{2GM_M a}{R^3} = \frac{2 \cdot 6,67 \cdot 10^{-8} \cdot 6,4 \cdot 10^{26} \cdot 6,37 \cdot 10^8}{(56 \cdot 10^{12})^3} = \\ &= 3,1 \cdot 10^{-12} \text{ см} / \text{с}^2 (\text{Гал}) = 0,31 \cdot 10^{-7} \text{ мГал} \end{aligned} \quad (5.4.)$$



**Рис. 66. Схема гравитационного взаимодействия Земли и Марса.**

где  $G$  – гравитационная постоянная;  $M_M$  – масса Марса ( $6,4 \cdot 10^{26}$  гр);  $a$  – радиус Земли ( $6,37 \cdot 10^8$  см);  $R$  – минимальное расстояние от Земли до Марса ( $56 \cdot 10^{12}$  см).

Таким образом, исходя из полученного результата, можно сделать вывод о том, что изменение ускорения силы тяжести под влиянием гравитационного поля Марса составляет  $0,31 \cdot 10^{-7}$  мГал, что может привести, по предварительным оценкам, к изменению эксцентриситета в твердой Земле, всего лишь на сотые доли миллиметра. Между тем, в атмосфере, как в более динамичной среде, деформация может иметь более значительные последствия, в особенности, в верхних слоях атмосферы, где влияние гравитационного поля Земли ослабляется пропорционально квадрату расстояния. В результате этого, воздействие гравитационного поля Марса на верхние слои атмосферы ожидаются более ощутимыми, что может привести к нарушению существующего баланса в циркуляции атмосферы и, как следствие, к различным атмосферным аномалиям, выраженным в климатических изменениях и в виде природных катаклизмов – сильных ураганов, тайфунов, наводнений и т.д. Между тем, нарушение атмосферной циркуляции, в свою очередь, оказывает влияние на процессы в геосфере и гидросфере. Изменения зон повышенных и пониженных давлений в атмосфере играют не последнюю роль, в качестве спускового крючка, в активизации землетрясений и извержений вулканов.



Так, Марс, сближается с Землей, примерно, каждые два года. Из-за эксцентриситета орбиты Марса, его расстояние от Земли, в момент противостояния, может меняться от 56 до 100 млн. км. Противостояние, при которых расстояние до Марса не превышает 60 млн. км, принято называть великими. В период великих противостояний Марс находится вблизи перигелия. Если соединить перигелий орбиты Марса с Солнцем прямой линией, то она пересечет орбиту Земли в той точке, которую Земля проходит, обычно, в период от конца июля до начала сентября. Например, в 2003 г. это произошло 28 августа. Великие противостояния следуют с интервалом 15 или 17 лет. Между тем, самые великие противостояния, при которых Марс подходит к Земле на расстояние, около 56 млн. км происходят, примерно, раз в 60 тыс. лет. Таким образом, противостояние Марса, которое произошло 28 августа 2003 года относится к самым великим. Между Землей и Марсом расстояние составило, всего около 55,7 миллионов километров, тогда как, обычно, он бывает от Земли на расстоянии около 400 миллионов километров.

Исторически сложилось мнение, что приближение Марса к Земле вызывает различные беды - засухи или, наоборот, наводнения, ураганы, тайфуны, землетрясения. Но наука должна основываться на проверенных фактах.

Нам хотелось бы остановиться на двух моментах: первый - исторический. Если существует поверье, что Марс приносит беды. То нельзя голословно отметить эту информацию. Лучше во всем разобраться с точки зрения современной науки. Как говорится, «нет дыма без огня». Почему катастрофы приписывают именно Марсу, а не другим планетам, несмотря на то, что периодически происходят парады планет или сближения с Землей других планет Солнечной системы.

Второй аспект – физический. Марс, одна из планет солнечной системы, взаимодействующая со всеми другими планетами своим гравитационным полем. Его приближение к Земле, почти в семь раз, не может бесследно пройти для геофизических и метеорологических процессов.

Мы хотели бы с акцентировать внимание читателей на конкретных фактах. Приведем несколько самых ярких примеров природных катастроф с июля по сентябрь 2003 года, когда Марс был в зоне максимального гравитационного взаимодействия с Землей.

Начавшийся 23 июля над Филиппинами чудовищный тайфун «Имбудо», унесший жизни 17 человек и оставивший без крова 11 тысяч человек, 24 июля пронесся по южному побережью Китая, нанеся огромный ущерб. В поперечнике, ураган достигал 800 км, а его скорость, в порывах, составляла 160 км/час.

12 августа пронесшийся над Ростовом ураган разрушил 5-ть поселков, а 03 сентября на юге Китая бушевал мощнейший тайфун, «Дуцзюань», унесший жизни более 30-ти человек.

Мощный тайфун Майеми, двигавшийся со стороны Японии, где погиб 1 человек и около сотни было ранено, достиг Кореи поздно вечером 12 сентября. Согласно данным метеорологов, максимальная скорость ветра, внутри тайфуна, достигала 60 м/сек. Вихрь разрушил все, что попало на его пути. Рухнули на Землю несколько гигантских подъемных кранов, на берег был выброшен пришвартованный к порту океанский лайнер, множество кораблей было потоплено. Сотни зданий было уничтожено, около 10 тысяч человек осталось без крова.

18 сентября, восточного побережья США, достиг ураган «Изабель», скорость ветра которого достигала 40 метров в секунду. Множество погибших и раненных, прервано авиасообщение, закрыты 19 аэропортов, более 2 миллионов потребителей в штатах Северная Каролина и Вирджиния, остались без электричества. Президентом США эти штаты были объявлены зоной бедствия.

29 сентября сильнейший ураган, пронесшийся над Украиной, оставил без света, всю Западную Украину.

Список можно было бы существенно увеличить, но думаю, что и этих примеров достаточно. По статистике, с июля по конец сентября, в мире произошло вдвое больше ураганов и тайфунов, чем за аналогичный период прошлых лет.

Значительное повышение сейсмической активности на всей планете, было отмечено со второй половины сентября 2003 г.

Так, 17 сентября происходит землетрясение в Чили магнитудой  $M=6,1$ ; 21 сентября с  $M=6,7$  на юге Бирмы; 22 сентября с  $M = 6,5$  землетрясение в Доминиканской Республике; 24 сентября с  $M = 5,2$  в Турции; 25 сентября два сильных землетрясения с магнитудами - 8 и 7 в Японии; 27 сентября сильные землетрясения с  $M = 7,5$  и  $6,5$  в Южной Сибири.

Наконец, 24 сентября, одновременно начинается серия сильнейших извержений группы вулканов на Камчатке – сначала Карымского, а затем, 26 сентября и Безымянного, 30 сентября два

землетрясения с  $M = 6,5$  и  $6$  в Новой Зеландии, 01 октября землетрясение на Алтае с  $M = 6,6$ .

Как видно из краткого обзора, наблюдается ярко выраженная аномально высокая активность атмосферных, так и геологических катаклизмов. Степень активности, атмосферных проявлений энергетики планеты (тайфуны, ураганы), так и геологических (землетрясения, вулканы) превышает фоновые значения, примерно в  $2,5 - 3$  раза. Между тем, не трудно заметить, что сначала активизируются атмосферные процессы, а затем, когда уже наблюдается спад степени их активности, начинается активизация геодинамических процессов.

Приближение Марса к Земле - это не мгновенный, а постепенный процесс, следовательно, и усиление его гравитационного влияния на Землю происходит постепенно. Если Марс приблизился к Земле в 7-мь раз, то, исходя из закона всемирного тяготения, гравитационная сила Марса, воздействующая на Землю, увеличилась, в этот период, в 49 раз!

Что же при этом происходит? Как известно, гравитационное поле, в отличие от магнитного и электрического, воздействует на тела и пространство по-особенному. Т.е., при приближении Марса к Земле, ее форма начинает деформироваться – Земля начинает вытягиваться с противоположных сторон по линии, соединяющей центры Земли и Марса и сжиматься в перпендикулярном направлении.

Однако, этому процессу подвержена не только твердая составляющая Земли, но и атмосфера, а также гидросфера (мировой океан). Причем, атмосфера, являясь менее плотной и более мобильной и чувствительной, к внешним воздействиям, средой, начинает реагировать на приближение Марса значительно раньше. Именно поэтому, атмосферные аномалии, выразившиеся в виде тайфунов и ураганов, начали проявляться значительно раньше, еще в июле 2003 года. Гравитационное поле Марса нарушило существующий баланс атмосферной циркуляции. Более того, если бы мы смогли увидеть атмосферу Земли из космоса, то можно было бы заметить, как деформирована ее форма под действием поля гравитации Марса.

Земная кора является твердой средой, и процессы, протекающие в ней, более инертны. Гравитационное поле Марса привело к перераспределению энергии в земной коре и нарушило геодинамический баланс, добавив в общую «энергетическую копилку» и свою немалую долю. Это вывело из состояния

равновесия очаги землетрясений, напряжения в которых находились на критическом уровне. В любом случае, по среднемесячным прогнозам сейсмической активности, которые выполняются в НИИ по прогнозу и изучению землетрясений, в начале октября 2003 г., должен был бы начаться очередной трехмесячный цикл сейсмической активности. Но Марс, с одной стороны, ускорил наступление этого цикла, с другой - существенно усилил его амплитуду.

Таким образом, проведя предварительные общие оценки возможности влияния гравитационного поля планет Солнечной системы, на примере Луны и Марса, на климатические и геодинамические процессы, мы приходим к следующим выводам:

Наибольшее влияние на формирование атмосферного и геодинамического режима планеты, оказывает воздействие гравитационного поля Луны. В то же время, гравитационное взаимодействие Земли и Луны представляет собой, с точки зрения энергообмена, единую систему, формирующую естественные ритмы климатических и геодинамических процессов. Взаимное влияние, как Земли на Луну, так и обратный процесс, необходимо рассматривать, как часть естественного сосуществования двух элементов единой системы. Поэтому, взаимные деформации Земли и Луны, под действием приливных сил, вызывающие цикличность атмосферных и сейсмических процессов, так же естественны, как и смена дня и ночи или времен года.

Как показали расчеты, с точки зрения мгновенного выделения энергии, приближение Марса не является столь выдающимся событием. Но если учесть, что эта часть гравитационной энергии приносилась в общую энергетику Земли в течение нескольких месяцев (период приближения и удаления Марса), то привнесенная часть энергии значительно возрастет и превысит энергию, приносимую Луной во время приливов. Т.е. если Лунные приливы не вносят дополнительную энергию в систему Земля-Луна, то Марсианский прилив, длящийся несколько месяцев, приносит в систему Земля-Луна дополнительную порцию значительной энергии.

Этот процесс можно рассматривать, как своеобразную «накачку» атмосферы и твердой Земли гравитационной энергией, привнесенной Марсом, что может стать причиной нарушения сложившегося энергетического баланса системы Солнце – Земля – Луна, в первую очередь, нарушение циркуляции в атмосфере Земли, которое, в свою очередь, вызывает нарушение хода

естественных геодинамических процессов. Именно этим можно объяснить тот факт, что атмосферные процессы начинают реагировать на приближение Марса раньше, после чего начинаются геологические катаклизмы.

В принципе, гравитационное взаимодействие Марса с Землей в периоды великих противостояний, также как и других планет, представляют собой один из элементов функционирования Солнечной системы. Эти процессы происходят с определенной периодичностью, но с большим периодом, по сравнению с длительностью человеческой жизни, в связи с чем, они психологически воспринимаются, как артефакты. Если бы Лунные приливы в океане, происходили с периодичностью 50 или 100 лет, то они воспринимались бы, как глобальные природные катаклизмы, при которых затопляются колоссальные площади суши. Но, океанские приливы никого не пугают, а воспринимаются, как естественный элемент бытия.

Поэтому, при рассмотрении природных катастроф, немалое значение имеет фактор чисто психологического восприятия того или иного природного проявления, по отношению к жизнедеятельности людей.

Так, например, если процесс затопления территорий растянут во времени, по сравнению с длительностью человеческой жизни, то он не будет восприниматься в качестве природного катаклизма, несмотря на то, что его масштабы, могут быть значительно больше, чем при быстром затоплении. В то же время, с геологической точки зрения, процесс длительного, но более масштабного затопления, может быть рассмотрен, в качестве, глобальной природной катастрофы.

В качестве примера можно привести некий природный катаклизм, выразившийся в изменении климата и вызвавший гибель динозавров и многих других форм жизни на всей планете в меловой период. В последующем, на Земле сформировались новые, близкие к нам, формы жизни. Таким образом, в этот период, действительно произошла некая глобальная катастрофа планетарного масштаба, вызвавшая серьезные изменения в биосфере Земли. Человечество не может знать, является ли данный этап жизни на Земле, периодом очередного катаклизма, растянутого во времени или нет. В связи с этим, понятие природной катастрофы, должно быть привязано к фактору длительности человеческой жизни, по отношению к которой, то или иное явление, может быть рассмотрено, в качестве

катастрофического. Данная проблема имеет психологическую и философскую основу.

В то же время, на наш взгляд, отклонения в климатических и геологических процессах, вызванные приближением Марса, с точки зрения масштабов, имеют хоть и выраженное, для восприятия людей, проявление, но локальный характер, с точки зрения геологической масштабности. Так, этот процесс, может отражаться в смещении и некотором увеличении амплитуды трехмесячных циклов сейсмической активности, по масштабам проявления, занимающим, один из самых низших звеньев в иерархии циклов данного процесса. Можно отметить, что в сейсмической активности, нами были выделены двухнедельные циклы.

### **5.5. ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ И ЦИКЛИЧНОСТЬ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ**

Вулканизм и сейсмичность являются основными индикаторами современной геодинамической активности.

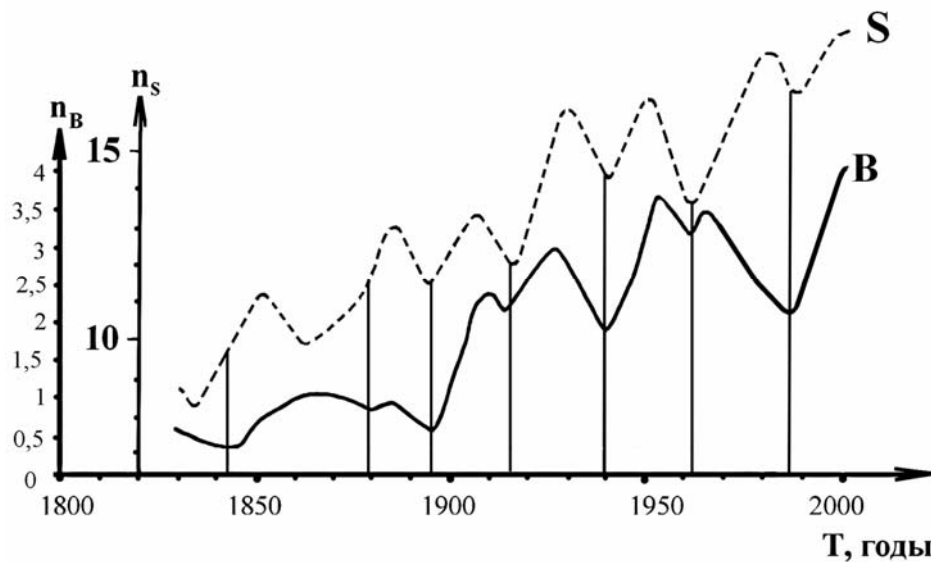
Нами совместно с академиком РАН В.Е.Хаиным, академиком АН Азербайджана Ш.Ф.Мехтиевым и Академиком РАЕН, проф. Т.А.Исмаил-Заде, были проведены исследования вулканической активности за исторически обозримый промежуток времени, с целью получения статистически достоверных результатов. Промежуток времени с 1850 по 2000 гг. наиболее полно охвачен в каталогах извержений вулканов мира, при этом вероятность утери информации носит случайный характер, что не оказывает существенного влияния на результаты, при выявлении скрытой периодичности в активизации магматических и грязевых вулканов мира.

С целью проведения исследований активизации вулканов в зонах сжатия и растяжения Земли, были использованы современные данные о границах литосферных плит и микроплит /231/, при этом все магматические вулканы были разделены на четыре геодинамических типа – магматические вулканы поясов сжатия Земли (типа *S*), магматические вулканы океанских рифтовых зон (типа *OR*), магматические вулканы континентальных рифтовых зон (типа *KR*) и внутриплитовые вулканы (типа *IP*). В самостоятельный тип были выделены грязевые вулканы (типа *B*). Данная классификация была принята по Х.Расту /189/ с дополнениями Ш.Ф.Мехтиева, В.Е.Хаина и Э.Н.Халилова.

Между тем, учитывая задачи настоящей работы, нами были объединены океанские и континентальные рифтовые вулканы в один тип – рифтовые вулканы типа *R*, отражающие процессы растяжения литосферы, а внутриплитовые вулканы не рассматривались.

Проведенные нами исследования показали, что более 95% всех грязевых вулканов мира расположены в поясах сжатия Земли /151/.

Сравнение графиков активности грязевых вулканов и магматических вулканов типа *S*, показало их чрезвычайно высокую схожесть (рис.67) и позволило придти к заключению, что характер активности этого типа вулканов, также как и вулканов типа *S*, отражает динамику процессов сжатия литосферы.



**Рис. 67.** Сравнение графиков активности магматических вулканов типа *S* и грязевых вулканов. *S* – график активности магматических вулканов типа *S*; *B* – график активности грязевых вулканов;  $n_S$  – число извержений вулканов типа *S*;  $n_B$  – число извержений вулканов типа *B*.

Была выявлена устойчивая скрытая периодичность и составлены графики активизации вулканов типов *S* и *R*. Сравнение графиков показано на рис.68.

Как видно из рис.68, циклы активизации вулканов типов *S* и *R* находятся в противофазе. На графиках активности вулканов

типов  $S$  и  $R$ , с помощью подобранных окон сглаживания (фильтров), отфильтрованы более мелкие 22-25 летние циклы. При этом, на рис.68 хорошо проявляются циклы вулканической активности с периодами 44-50 лет для обоих геодинамических типов вулканов. Из вышеизложенного можно сделать вывод, что периоды растяжения не совпадают во времени с периодами сжатия Земли, а в большинстве случаев, циклы растяжения, сменяются циклами сжатия.

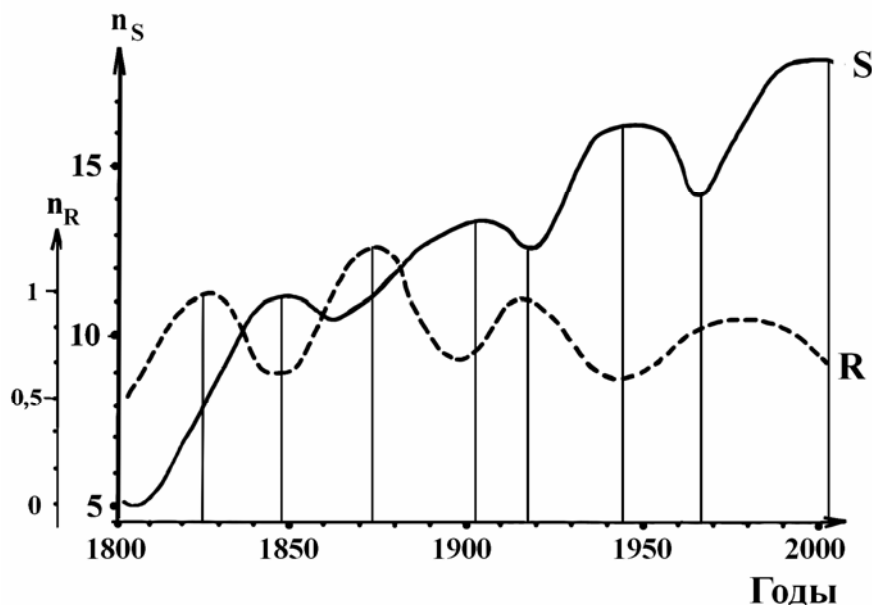


Рис. 68. Сравнение графиков активности вулканов типов  $S$  и  $R$ .  $S$  – график активности магматических вулканов типа  $S$ , сглаженный последовательно 11; 9; 9 – летними скользящими средними;  $R$  – график активности магматических вулканов типа  $R$ , сглаженный последовательно 11; 9; 9 – летними скользящими средними;  $n_S$  – число извержений вулканов типа  $S$ ;  $n_R$  – число извержений вулканов типа  $R$ .

В первом случае повышается активность вулканов типа  $R$ , а во втором – вулканов типа  $S$  и грязевых вулканов, при этом расширение Земли происходит за счет процессов спрединга, в то время как сжатие – за счет процессов субдукции и коллизии.

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют предположить возможность периодического изменения



радиуса Земли и ее формы. Безусловно, выявленные закономерности в активизации вулканов и землетрясений, свидетельствующие о пульсации Земли, должны сказываться и на изменении ее угловой скорости вращения. Для выявления возможной связи между вариациями угловой скорости вращения Земли и активизацией вулканов, были сопоставлены график активности вулканов типа  $R$  и график вариаций длительности суток Земли (рис.69). Как видно из рис.69 на графике активности вулканов типа  $R$  выделились 22-24 летние циклы активизации, как бы попарно сгруппированные. Эти циклы были сглажены в результате фильтрации на рис.69.

Результаты сопоставления, позволили обнаружить определенное сходство обоих графиков, с некоторым смещением во времени, рис.69. Так, повышению активности вулканов типа  $R$ , соответствует замедление вращения Земли (увеличение длительности суток) и, наоборот. Некоторое «запаздывание» циклов графика вариаций длительности суток, по отношению к графику активности вулканов типа « $R$ », можно объяснить инертностью событий, т.е. временем, проходящим от момента повышения активизации вулканов до действительного изменения радиуса Земли, влияющего на момент инерции планеты и, как следствие, на длительность земных суток.

Между тем, не оправдано было бы считать, что изменение радиуса Земли носит равномерный характер по всей планете. Такое упрощение в понимании этого процесса может привести к серьезным ошибкам при расчетах и выводах. Как уже было отмечено, увеличение радиуса Земли, происходит за счет активизации процесса спрединга, т.е. максимально радиус увеличивается непосредственно вблизи рифтовых зон, тогда как по мере приближения к зонам субдукции, увеличение радиуса становится все менее значительным. В то же время, уменьшение радиуса Земли, происходит за счет активизации процесса субдукции и снижения активности процесса спрединга, т.е. наибольшее уменьшение радиуса Земли приурочено, непосредственно, к зонам субдукции, а по мере приближения к рифтовым зонам, радиус должен увеличиваться.

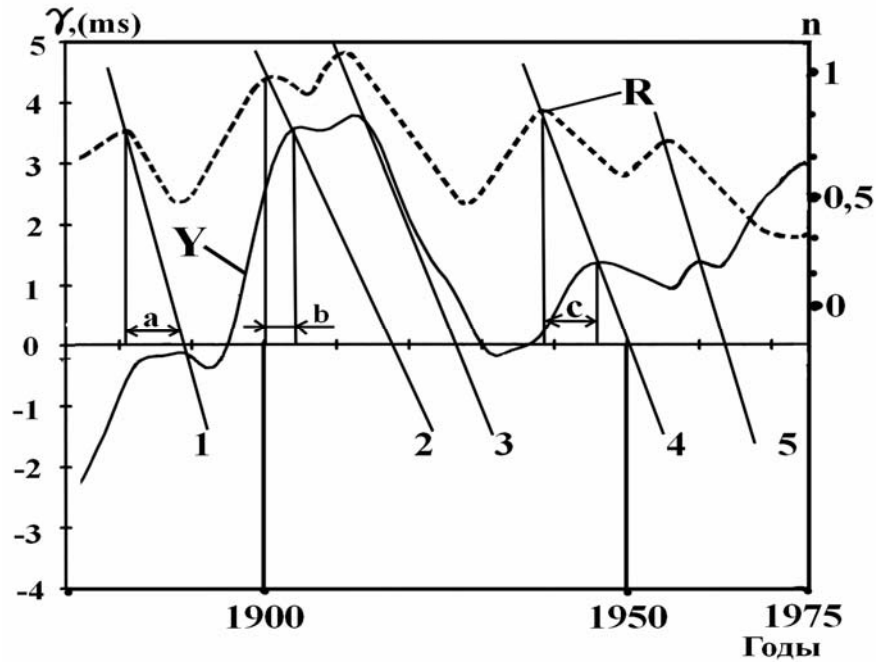


Рис. 69. Сопоставление графиков вариаций длительности земных суток и активности магматических вулканов типа *R*. *R* – график активности вулканов типа *R*; *Y* – график вариаций длительности земных суток; Ось *n* – число извержений вулканов типа *R*; Ось  $\gamma$ (*ms*) – изменения длительности суток в *ms*; 1,2...*n* – прямые соединяющие максимумы циклов активности магматических вулканов типа *R* и циклов вариаций длительности суток; *a*, *b*, *c* – отрезки времени показывающие разницу во времени между максимумами циклов активности вулканов типа *R* и вариаций длительности суток.

Если такие пульсации существуют, то они должны оказывать влияние на колебания уровня Мирового океана. Сравнение графика активности вулканов типа *R*, (активизация которых характеризует расширение Земли за счет процесса спрединга) с графиком изменения уровня Мирового океана показало, что повышению активности вулканов типа *R* соответствует понижение уровня Мирового океана и, наоборот (рис.70).

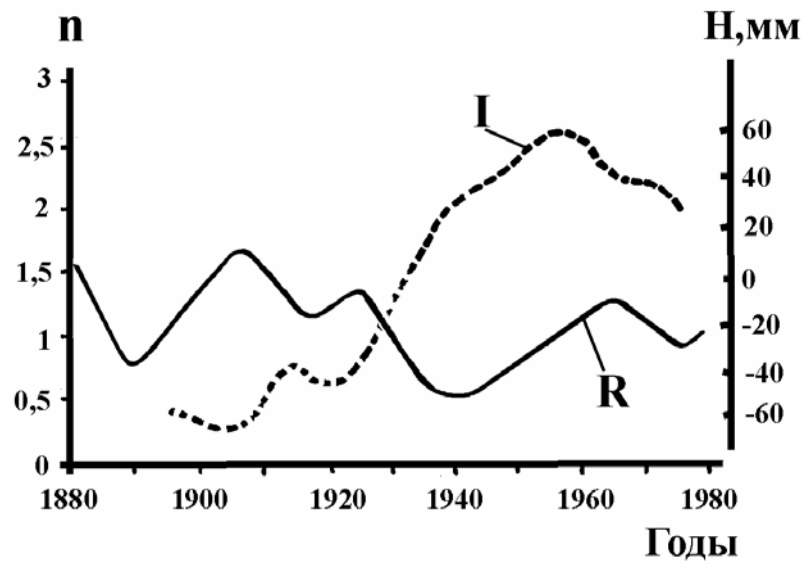


Рис.70. Сравнение графиков активности магматических вулканов типа  $R$  и колебаний уровня мирового океана /157/.  $R$  – график активности магматических вулканов типа  $R$ ;  $n_R$  – число извержений вулканов типа  $R$ ;  $I$  – график колебаний уровня мирового океана;  $H, мм$  – уровень мирового океана в мм.

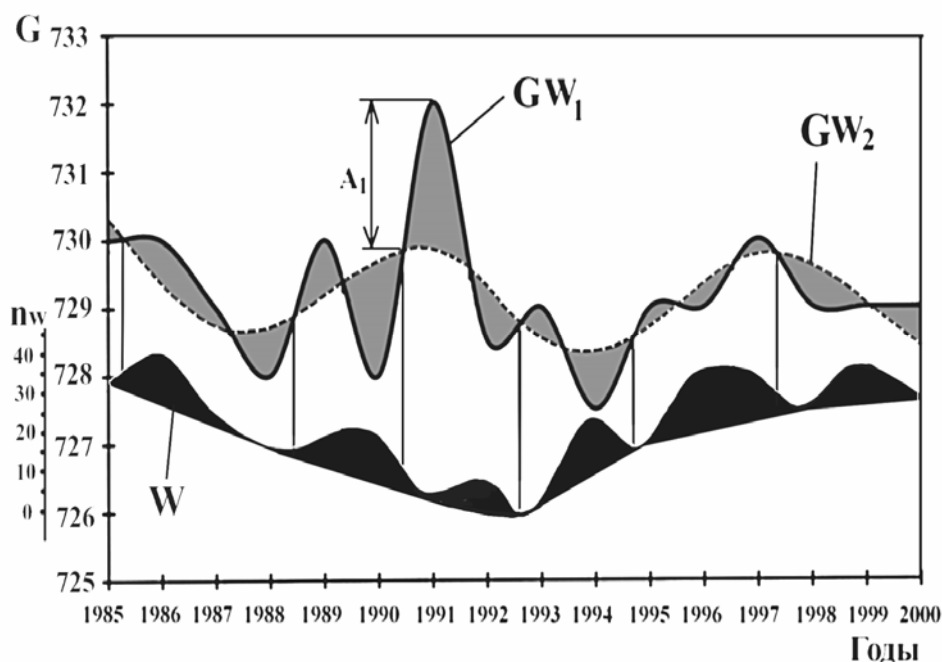
Расширение Земли, действительно должно приводить к увеличению ее площади и, как следствие, к снижению уровня Мирового океана, что подтверждается на рис.70.

Масштабы затопления континентов, при изменениях радиуса Земли, зависят от их близости к поясам планетарного расширения или сжатия. Наибольшему затоплению должны подвергаться те районы, которые в непосредственной близости от зон субдукции. Это связано с тем, что как нами отмечалось, наибольшее сокращение радиуса происходит вблизи поясов сжатия Земли, а наименьшее – в поясах растяжения.

Если допустить, что амплитуда рассматриваемых короткопериодных изменений радиуса Земли, может меняться в зависимости от соотношения влияния космических и сугубо земных факторов, то можно предположить вариации радиуса с периодами циклов от месяцев до сотен миллионов лет в соответствующем иерархическом порядке.

Представляет интерес выявление более короткопериодных циклов вулканической активности, с целью оценки их корреляции с выявленными длиннопериодными гравитационными волнами.

На рис.71 приведено сравнение графиков активности магматических вулканов мира и вариаций гравитационной постоянной  $G$  с 1985 по 2000 годы.



**Рис.71.** Сравнение графиков активности магматических вулканов мира и вариаций гравитационной постоянной  $G$  с 1985 по 2000 годы. Ось  $G$  – значения гравитационной постоянной начиная со второго знака после запятой;  $n_w$  – число извержений магматических вулканов;  $GW_1$  – гравитационная волна первого порядка;  $GW_2$  – гравитационная волна второго порядка;  $W$  – график вулканической активности;  $A_1$  – максимальная амплитуда гравитационной волны второго порядка.

Как видно из сравнения, из шести циклов вулканической активности, пять (1,2,3,4,6) полностью соответствуют полному периоду гравитационной волны, включающему первую и вторую полуволны. Один цикл вулканической активности (5-й) соответствует трем полуволнам  $GW_2$ , причем именно этот участок графика приходится на 1997 год, т.е. на момент времени, когда коэффициент  $J_2$  резко стал менять характер динамики со

снижения на увеличение, что выразилось в смене знака вариаций экваториального и полюсного радиусов Земли. Причем период циклов вулканической активности, соответствует периоду гравитационной волны первого порядка и составляет, в среднем  $\sim 2 - 2,5$  года.

Для более достоверного выявления периода преобладающей гармоникой во временном ряду извержений вулканов, нами были рассчитаны и построены периодограммы извержений грязевых вулканов методом максимальной энтропии с использованием алгоритма Бурга.

На рис.72 приведено сравнение периодограмм вариаций гравитационной постоянной  $G$  и извержений магматических вулканов мира с 1985 по 2000 годы.

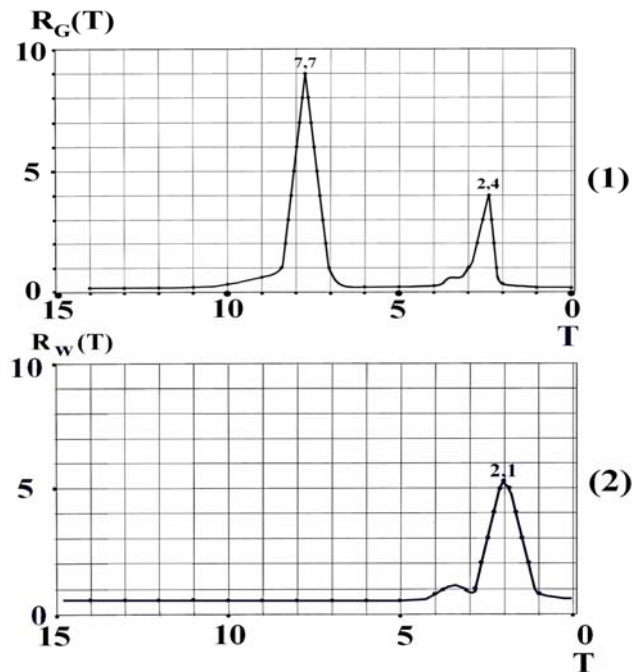
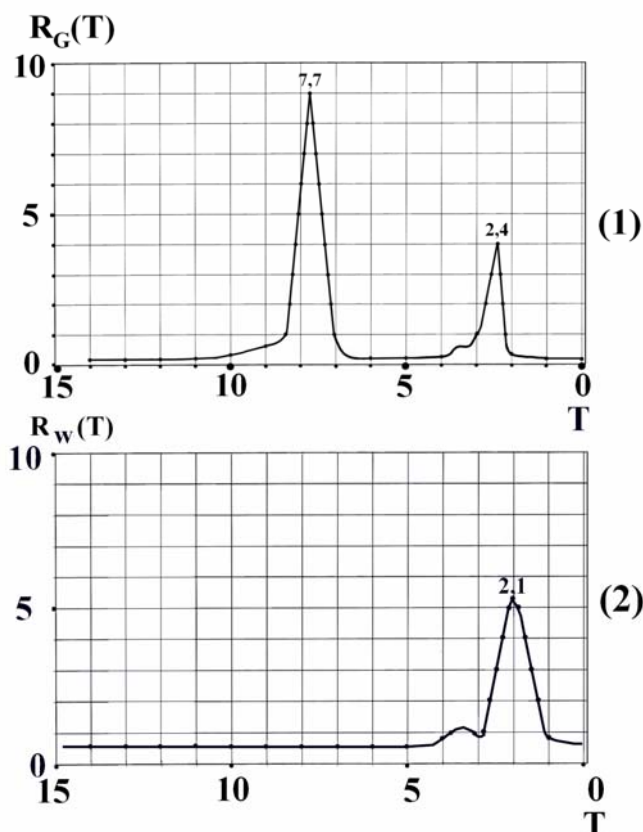


Рис.72. Сравнение периодограмм вариаций гравитационной постоянной  $G$  и извержений магматических вулканов  $W$ .  
(1) – периодограмма вариаций гравитационной постоянной  $G$ ;  
(2) – периодограмма извержений магматических вулканов.

Как видно из сравнения, как в вариациях гравитационной постоянной  $G$  (гравитационной волны первого порядка), так и в

извержениях вулканов выявились идентичные гармоники с периодами 2,4 года и 2,1 года соответственно.

На рис.73 приведено сравнение периодограмм сейсмической и вулканической активности.



**Рис.73.** Сравнение периодограмм вулканической и сейсмической активности. (1) – периодограмма сейсмической активности Земли с 1985 по 2000 годы; (2) – периодограмма вулканической активности Земли с 1985 по 2000 годы.

Как видно из сравнения периодограмм, на них выделены гармоники с близкими периодами – 2,6 года для сейсмической активности и 2,1 года для вулканической активности. Это свидетельствует, о единстве процессов, определяющих цикличность, как сейсмичности, так и вулканизма, несмотря, на существующие некоторые различия в их механизмах.

Физический механизм наблюдаемой закономерности можно объяснить следующим образом. Как уже нами отмечалось в случае с сейсмической активностью, как положительная, так и отрицательная фазы гравитационной волны, обладают одинаковой по величине, но разной по знаку энергией. Следовательно, при прохождении через Землю первой и второй полуволн, приводящим к сложным деформациям формы Земли, напряжения в земной коре будут циклически меняться. Они будут возрастать, то в одних областях Земли, то в других. Между тем, обе фазы вызовут повышение тектонической активности Земли. В то же время, извержения вулканов, по сравнению с землетрясениями, представляют собой более инерционный процесс. Землетрясения чувствительнее реагируют на любые изменения напряженного состояния земной коры. То есть, при прохождении первого полупериода гравитационной волны, напряжения, накопленные в земной коре, оказываются недостаточными для разрыва толщи земной коры и извержения вулканов, между тем, прохождение второй полуволны оказывается достаточным, чтобы довести напряженное состояние до критического состояния и сбросить энергию в виде извержений вулканов.

Описанный нами механизм является, безусловно, всего лишь одним из возможных объяснений наблюдаемых закономерностей и должен быть более глубоко обоснован и подтвержден соответствующими расчетами.

### **5.6. ОТРАЖЕНИЕ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ ОСЕЙ ИНТЕГРАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗЕМНОЙ КОРЕ**

В настоящем разделе рассматриваются общие принципы и подход к оценке пространственно-временных изменений осей интегральных напряжений земной коры. Данная методика разработана нами, и ее результаты, публикуются впервые.

Суть идеи состоит в том, что при прохождении через Землю сверхдлинных гравитационных волн, они квадрупольно деформируют ее. Эти деформации будут отражаться в пространственно-временных изменениях осей интегральных напряжений земной коры, что, в свою очередь, должно отражаться на пространственно-временном распределении эпицентров сильных и средних землетрясений и осей напряжений в их очагах.

Эти работы имеют большое значение для изучения реакции деформационных процессов Земли на прохождение через нее сверхдлинных гравитационных волн. Данные исследования нами подразделяются на два этапа: предварительный и углубленный анализ.

Предварительный представляет собой, по сути, экспресс-анализ общей ситуации в пространственно-временном распределении осей интегральных напряжений в Земле.

При углубленном анализе для решения данной задачи, используются оси напряжений очагов сильных и средних землетрясений мира. Данная глава охватывает только первый этап - экспресс-анализ общей ситуации.

Для выяснения общей ситуации в пространственно-временном распределении осей интегральных напряжений в земной коре, нами был взят за основу период времени 2 года – с января 1999 г. по декабрь 2000 г.

С этой целью, для каждого месяца, в пределах рассматриваемого периода, были составлены карты очагов землетрясений с магнитудой  $\geq 5$ , на которых были выделены геодинамические зоны повышенной сейсмической активности. Все эти зоны совпадают с субдукционными или коллизионными границами литосферных плит, отражающих процессы сжатия Земли, направленные перпендикулярно к простиранию указанных зон. На рис.74 а) и в) приведена схема с изображением ежемесячного мониторинга выделенных осей интегральных напряжений земной коры, отражающих направление преимущественного сжатия земной коры для каждого месяца за 1999 - 2000 годы. Вполне логично было бы предположить, что оси интегральных растяжений земной коры будут располагаться перпендикулярно осям сжатия.

Как видно из рис.74, оси интегральных напряжений сжатий попеременно меняют свое направление, примерно, на  $90^\circ$ , причем период этих изменений составляет, в среднем,

три месяца. Внимательный анализ приведенных схем ежемесячного мониторинга осей интегральных напряжений земной коры, позволяет прийти к предварительному заключению о том, что Земля подвергается периодической квадрупольной деформации - расширяется в полюсах и, одновременно сжимается в экваторе, а затем, наоборот, сжимается в полюсах и расширяется в экваторе. При этом, на рассматриваемых схемах, выделены следующие циклы деформаций: 1-3; 4-6; 7-9; 10-13; 14-15; 16-19; 20-21; 22-24, где



цифры показывают номер месяца. Полный цикл этих деформаций охватывает период, в среднем, 3 месяца.

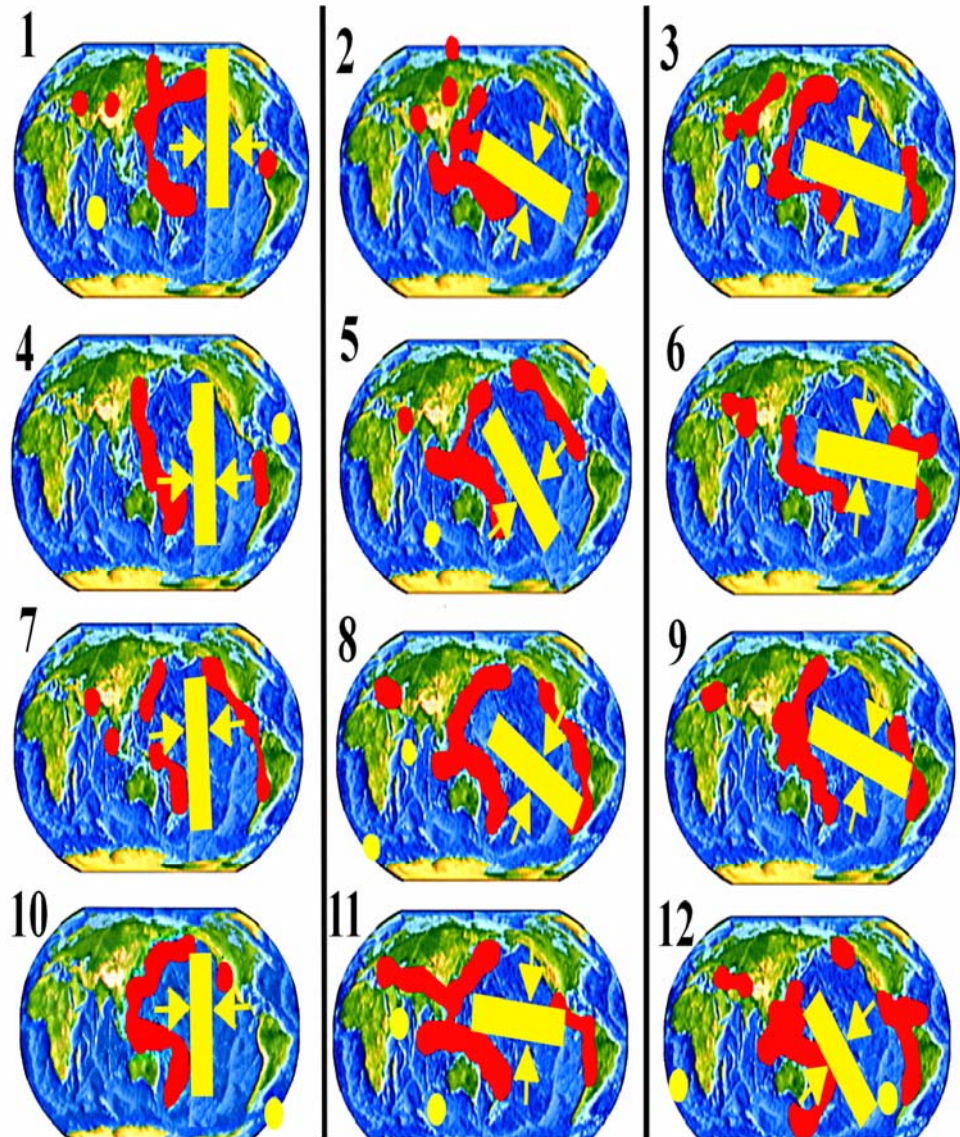
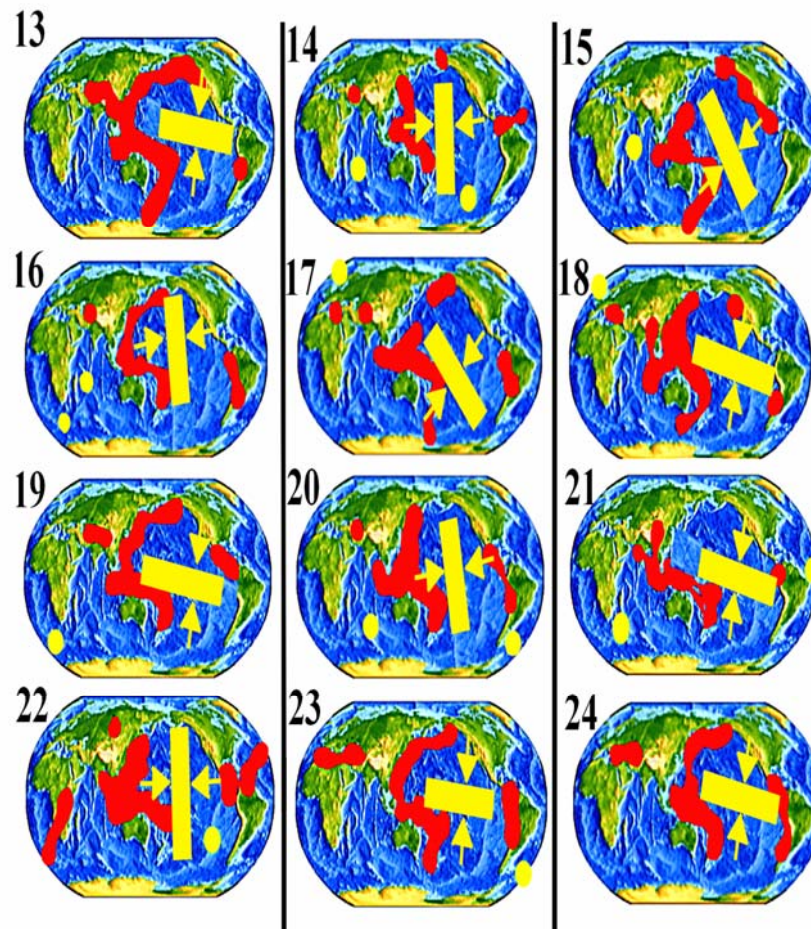


Рис.74. а)



в).

Рис.74. Схема с изображением месячного мониторинга выделенных осей интегральных напряжений земной коры, отражающих направление преимущественного сжатия земной коры для каждого месяца за 1999 - 2000 годы. а)- 1999 г; в)-2000 г.

- - зоны высокой сейсмической активности;
- - оси интегральных напряжений сжатия земной коры;
- ➔ - направления сжатия земной коры;

1, 2.....24 - номера месяцев, начиная с января 1999 года;

Эти результаты подтверждают наши предыдущие исследования о квадрупольной деформации Земли в результате прохождения через нее сверхдлинных гравитационных волн.

Учитывая, что космическое пространство непрерывно пронизывают многочисленные гравитационные волны различной длины, можно объяснить наличие в деформациях Земли различных периодов - от десятков лет до нескольких месяцев, взаимное наложение которых создает более сложную картину. Наличие еще более короткопериодных деформаций Земли, также можно допустить, однако при этом необходимо иметь в виду, что чем меньше период гравитационной волны, тем меньшей энергией она обладает, следовательно, тем меньше амплитуда деформаций Земли.

### **МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ СГВ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ДЕФОРМАЦИЮ ЗЕМЛИ**

Кип Торн в своей работе /333/ показывает, что при прохождении гравитационной волны через Землю, масштабы ее деформации будут весьма незначительны. Между тем, говоря о влиянии сверхдлинных гравитационных волн на квадрупольное изменение напряженного состояния Земли, мы принимаем за основу не столько чисто механическое деформационное влияние *СГВ* на Землю, сколько ее влияние на изменения пространственной ориентации глубинных энергетических процессов в Земле.

Рассмотрим подробнее предлагаемый нами механизм влияния *СГВ* на геодинамические процессы. При прохождении *СГВ*, под ее действием меняется тензор напряжения в каждой точке пространства среды. Т.е., если некий физико-химический процесс в Земле определенным образом пространственно сориентирован, то при прохождении *СГВ*, его пространственная ориентация должна изменяться в зависимости от направления распространения *СГВ*. Таким образом, изменение пространственной ориентации энергетических процессов в Земле в поле падающей сверхдлинной гравитационной волны, приведет к глобальному перераспределению тектонических напряжений и, как следствие, к изменению формы Земли. Т.е. относительно незначительное, с точки зрения механического воздействия, влияние изменения амплитуды метрики пространства в поле гравитационной волны,

приведет к изменению пространственного перераспределения внутренней энергетики Земли. Это, в свою очередь, должно повлиять на пространственно-временное изменение геодинамических процессов, вызывающих квадрупольную деформацию Земли. Сверхдлинная гравитационная волна, проходя через Землю, создает в каждой точке пространства энергетический пространственный приоритет (*ЭПП*) для распределения энергетических потоков атмосферы, гидросферы и твердой среды Земли. *ЭПП* формируется тензором напряжений в гравитационном поле *СГВ* в каждой точке пространства в конкретный момент времени.

Фактически, гравитационная волна пространственно перераспределяет поток энергии в Земле и околоземном пространстве, затрачивая на это несопоставимо меньшую энергию, чем получаемый при этом эффект. В физике известно множество аналогий, широко используемых в электронике, гидродинамике и других сферах для управления и перераспределения электромагнитной или иных видов энергии.

Так, в качестве примера управления большими значениями электрических токов несоизмеримо меньшими затратами энергии можно привести такие приборы, как транзисторы и тиристоры.

## **ГЛАВА 6. ДОПЛЕРОВСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН ЧЕРЕЗ КОСМИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ**

Наблюдения за космическими объектами – звездами, планетами и т.д. происходит с помощью специальных телескопов в оптическом или ином электромагнитном диапазоне. При наблюдении за звездами или планетами, регистрируется либо собственное излучение звезд и других небесных объектов, либо переотраженные электромагнитные излучения от других источников.

В 1842 г. австрийский физик Кристиан Доплер (1803-1853) установил, что движение источника звука, оказывает влияние на частоту звуковых волн, регистрируемых «неподвижным» наблюдателем. Этот эффект был назван в честь первооткрывателя эффектом Доплера (*ЭД*). *ЭД* наблюдается и для электромагнитных волн: при удалении источника света, наблюдатель регистрирует меньшее число волновых гребней в секунду, т.е. частота принимаемого им света уменьшается – этот эффект носит название

красного смещения. При приближении же источника света, принимаемая наблюдателем частота увеличивается, что называется, синим смещением.

В 1848 году французский физик А.А.Физо (1819-1896) установил, что этот эффект проявляется в изменении длин волн линий поглощения или испускания в спектре звезды, которая либо приближается к наблюдателю, либо удаляется от него. При этом изменение длины волны  $\Delta\lambda$ , отнесенное к «истинной» длине волны  $\lambda$ , зависит от скорости  $v$  источника относительно наблюдателя. Красное смещение определяется величиной  $\Delta\lambda/\lambda$  и для скоростей, малых по сравнению со скоростью света  $c$  равно  $v/c$ . Следовательно, по измерению наблюдаемого красного (синего) смещения, можно найти скорость удаления (приближения) источника излучения.

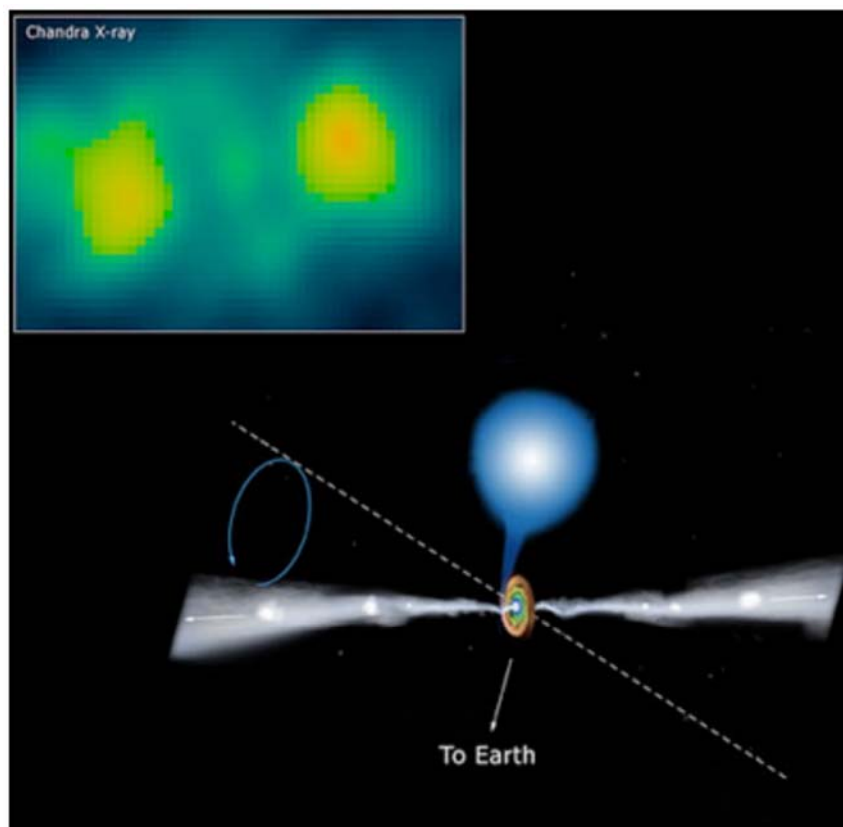
Принцип эквивалентности утверждает, что свет, выходящий из сильного гравитационного поля, должен испытывать красное смещение. Астрономам хорошо знакомо гравитационное красное смещение у таких массивных компактных объектов, как белые карлики или нейтронные звезды. Однако, это смещение очень мало. Даже для нейтронной звезды красное смещение  $z$  едва ли превышает 0,3, а у квазаров красные смещения достигают 2 - 3.

Сенсационное открытие было сделано американским астрономом Б.Маргоном и его сотрудниками в 1978 году при наблюдении за источником излучения *SS 433*. Они обнаружили на основе эффекта Доплера, что эмиссионные линии-спутники объекта *SS 433* периодически приближаются и удаляются от основных линий спектра. Полный период волнового движения составил 164 дня. Дальнейшие наблюдения, вплоть до наших дней, показали, что действительно изменения смещений линий-спутников происходят с регулярной периодичностью.

Английские астрофизики А.Фабиан и М.Рис предложили оригинальную идею, объясняющую поведение линий-спутников *SS 433*. По их мнению, в источнике имеется центральное тело, из которого истекают в противоположных направлениях две струи газа. С центральным телом связана основная излучающая область, которая дает несмещенные спектральные линии, а струи - это области, из которых исходят смещенные линии излучения.

Направление, вдоль которого выбрасываются струи, не остается неизменным во времени.





**Рис.75. Изображение SS 433 полученное рентгеновской Обсерваторией НАСА.**

Линия струй совершает обращение вокруг некоторой оси. Движение линии струй похоже на вращение оси волчка, запущенного так, что эта ось не вертикальна: ось волчка медленно вращается вокруг вертикали /259/. На рис.75. показано изображение SS 433 сделанное Обсерваторией NASA's Chandra X-ray Observatory.

Удивительное открытие Доплера, позволяет понять многие необычные явления и эффекты, которые, на первый взгляд кажутся необъяснимыми.

Так, на протяжении последних лет участились обращения людей, наблюдающих различные оптические эффекты в ночном небе, в Постоянную Комиссию по исследованию явлений при Президиуме Национальной Академии Наук Азербайджана,

сопредседателем которой является автор настоящей работы. Около 25% видеозаписей, сделанных с помощью современных цифровых видеокамер с приближением в 300-800 раз и малых телескопов, запечатлели в ночном небе неподвижные мерцающие объекты, похожие на звезды с одной лишь разницей – различные участки этих объектов меняли цвета во всем оптическом спектральном диапазоне с определенной закономерностью. Видеозаписи этих объектов, детально изучались на графических станциях и были продемонстрированы научным экспертам Шамахинской Астрофизической Обсерватории, которые не идентифицировали эти объекты с известными астрофизическими объектами и оптическими эффектами.

Детальное изучение всех видеозаписей, сделанных в течение нескольких лет в различных районах Азербайджана, а также имеющиеся видеозаписи аналогичных аномальных объектов из других стран, в частности США, позволили автору данной работы прийти к весьма интересному выводу. При изучении динамики гаммы цветов данных объектов, оказалось, что они меняются с определенной закономерностью. При переводе гаммы цветов в красное и синее смещения на основе эффекта Доплера оказалось, что объекты на видеозаписи подвергаются деформации, весьма близкой к квадрупольной. Это удивительное открытие позволило автору выдвинуть идею о том, что снятые на видеокамеры объекты, меняют цвета в различных областях по определенной закономерности, в результате прохождения через них сверхдлинных гравитационных волн.

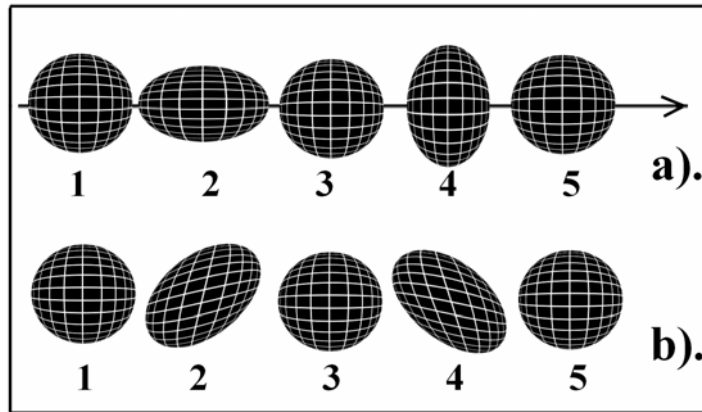
Автором настоящей монографии, на основе открытого явления, было создано изобретение: «Способ регистраций низкочастотных гравитационных волн». Этот способ подан в качестве заявки на изобретение (приоритетная справка, № а 20030169 от 24.07.03). Рассмотрим физический механизм этого явления.

Например, при прохождении гравитационной волны через космический объект, он будет подвергаться деформациям так, как это показано на рис.76. Но на изображении деформации показаны сильно преувеличенными для наглядности. Естественно, что визуально, такие деформации обнаружить невозможно по изменению формы и размеров объектов. Между тем, с помощью эффекта Доплера, можно наблюдать приближающиеся и отдаляющиеся области объектов при их деформации, вызванной прохождением гравитационной волны, если сами объекты и проходящие через них гравитационные волны, имеют

астрономические масштабы. Обязательным условием является то, что длина полупериода гравитационной волны, должна превышать диаметр наблюдаемого космического объекта.

Рассмотрим конкретный пример прохождения гравитационной волны через сферический космический объект, приведенный на рис.76.

На рис.77 с) показан график отражающий гравитационную волну, где  $T$  – время,  $A_{gr}$  – амплитуда волны. I и II - первый и второй полупериоды гравитационной волны, соответственно. График рис.77 с) таким образом совмещен с рис.77 а) и б), чтобы они совпадали по оси времени.



**Рис. 76. Деформация космического объекта при прохождении через него сверхдлинной гравитационной волны. а) – гравитационная волна, распространяется по направлению, указанному стрелкой; б) – гравитационная волна, распространяется перпендикулярно плоскости рисунка.**

Области космического объекта расположенные ближе к краю объекта, при квадрупольной деформации будут иметь максимальную скорость удаления, так как при деформации объекта, чем ближе расположена точка на поверхности объекта к его краю, тем больший путь она будет проходить за один и тот же промежуток времени. По мере приближения наблюдаемого участка к серединной части объекта, скорость удаления ее поверхности по отношению к наблюдателю, будет уменьшаться и станет минимальной в серединной части объекта. Поэтому, максимально приближенный участок к краю объекта в удаляемой от наблюдателя части, имеет наибольшую длину электромагнитной



волны (ЭМ) излучаемой или переотражаемой объектом, а в приближаемой части - наименьшую длину ЭМ волны.

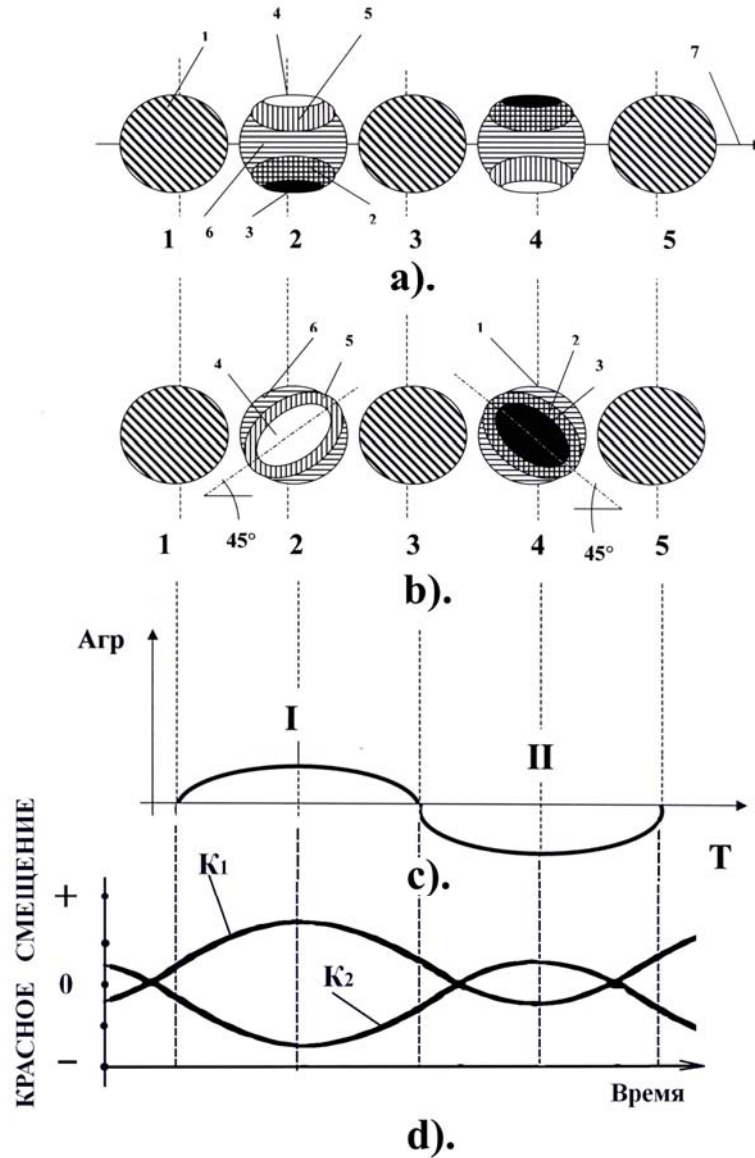


Рис. 77. Схематическое изображение красных и синих смещений в различных областях поверхности космического объекта, при прохождении через него сверхдлинной гравитационной волны.

Поверхность объекта до прохождения гравитационной волны обозначена штриховыми линиями 1 на рис.77.

Среднее приближение деформируемой области объекта к наблюдателю, нами заштрихованы 2, а максимальное - обозначено черным цветом 3. Максимальное удаление деформируемой области объекта от наблюдателя, характеризуемое красным смещением, нами обозначается белым цветом 4, а среднее – заштриховано 5. Минимально деформированные области объекта, как в сторону удаления, так и приближения, заштрихованы 6. Промежуточные значения длин волн нами не указываются для упрощения рассмотрения примера.

На рис.77 а) показана ситуация, когда наблюдатель наблюдает за космическим объектом перпендикулярно направлению распространения волны, показанного стрелкой 7.

Позиция 1 на рис.77 а) и б) отражает момент отсутствия волны или смены ее полупериодов. Позиция 2 отражает прохождение первой полуволны, при этом объект вытягивается по направлению движения волны и сужается перпендикулярно ему, как это показано на позиции 2 рис.77 а).

В то же время, если смотреть при этом на деформацию сферического объекта по направлению распространения волны, то оно будет деформировано со смещением на  $45^\circ$ , как это показано на позиции 2 рис.77 б).

Наблюдатель, смотрящий перпендикулярно направлению распространения волны в это время будет наблюдать красное смещение 4 в верхней части объекта, чуть ниже желтое 5, обладающее несколько меньшей длиной волны и наименьшее 6 в средней части объекта. То есть, верхняя часть объекта в результате деформации под углом  $45^\circ$  (позиция 2 рис.77 а.) отдаляется от наблюдателя, что в результате эффекта Доплера вызывает красное смещение. В нижней части объекта, наоборот, в результате приближения к наблюдателю, будет наблюдаться коротковолновое синее смещение 3, выше него голубое 2, обладающее чуть большей длиной волны.

Если же наблюдатель будет наблюдать за объектом по направлению распространения волны, перпендикулярно направленной плоскости изображения рис.78 б) позиция 2, то в центральной части объекта, будет наблюдаться красное смещение 4, направленное под углом  $45^\circ$  вправо, затем оно сменится желтым 5 и самая крайняя часть объекта, будет иметь наименьшее смещение 6.

В момент смены полупериодов гравитационной волны, показанный позицией 3 на рис.77 и на рис.77 а) и б) длина волны излучаемой или переотраженной объектом, будет соответствовать исходному цвету 1.

Для наблюдателя, смотрящего перпендикулярно направлению распространения волны, при прохождении второго полупериода гравитационной волны, как показано на рис.77 а) позиция 4, объект сожмется по направлению распространения волны и вытянется перпендикулярно ему. В то же время, если смотреть на объект по направлению распространения волны рис.77 б) позиция 4, то объект, будет деформирован под углом  $45^\circ$  в направлении, противоположном, направлению деформации при прохождении первого полупериода волны.

При прохождении второй гравитационной полуволны, наблюдатель, смотрящий на объект перпендикулярно направлению распространения волны рис.77 а) позиция 4, увидит в верхней части объекта, удаляющейся от наблюдателя, синее смещение 3, чуть ниже него – голубое 2 и в средней части наименьшее 6. В то же время, в нижней, удаляющейся от наблюдателя, части объекта, будет наблюдаться красное смещение 4, чуть выше желтое 5 и в средней части наименьшее 6.

Если же наблюдатель будет наблюдать за объектом по направлению распространения волны и перпендикулярно плоскости изображения рис.77 б) позиция 4, то в средней части объекта, будет наблюдаться синее смещение 3, направленное под углом  $45^\circ$  влево, затем оно сменится голубым 2 и самая крайняя часть объекта будет иметь наименьшее смещение 6.

В момент очередной смены полупериодов гравитационной волны, показанный позицией 5 на рис.77 и на рис.77 а) и б), длина ЭМ волны излучаемой или переотраженной объектом, будет соответствовать исходному цвету 1.

Красное смещение определяется по формуле /1/:

$$z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0 , \quad (6.1)$$

Где  $\lambda_0$  – длина волны излучения испущенного источником,  $\lambda$  - длина волны излучения принятого наблюдателем. Смещение является красным, когда величина  $z$  - положительна и синим, когда  $z$  – отрицательна.

На рис.77 d) показаны графики, отражающие красное и синие смещения для верхней и нижней областей наблюдаемого космического объекта, для случая отраженного на рис.77 а) При этом, кривая  $K_1$  характеризует смещение в длине волны для верхней области объекта, обозначенной 4 на рис.77 а) позиция 2, а кривая  $K_2$  – отражает смещение в длине волны для нижней части объекта, обозначенной 3 на рис.77 а) позиция 2.

В то же время, для случая, отраженного на рис.77 б) будет соответствовать только кривая  $K_1$ , так как в этом случае смещение в длине волны излучаемой космическим объектом будет наблюдаться не в двух областях, а одной, как это показано на рис.77 б).

Для упрощения демонстрации примера нами были показаны только крайние положения красных и синих смещений. Между тем, в реальной картине будут регистрироваться и промежуточные значения смещений.

Наблюдатель, может наблюдать, за космическим объектом при прохождении гравитационной волны под любым углом по отношению к объекту и наблюдателю, при этом, соответственно, области красных и синих смещений могут располагаться в любых частях наблюдаемого объекта. Однако, обязательным условием, подтверждающим прохождение гравитационной волны, через объект, является квадрупольный характер его деформации, который определяется по характеру периодической смены красных и синих смещений.

Автору данной работы, удалось заснять аналогичные космические объекты в ночном небе с помощью оптико-электронного телескопа. Ниже приводится пример обработки очень короткого фрагмента длительностью 3/4 секунды указанной видеозаписи, общая продолжительность которой составляет 25 минут.

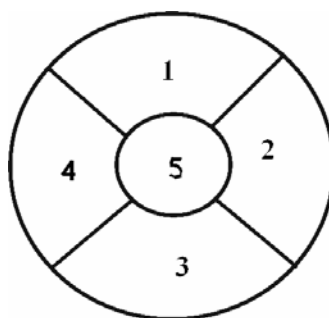
Для обработки изображений космических объектов, снятых, на видеокамеру, нами была разработана методика. Для описания физической сути данной методики, рассмотрим пример.

На рис.78 изображена круговая палетка, представляющая собой круг, разделенный на пять секторов. Сначала, для обработки видеоизображения производится покадровая развертка.

Как известно, стандартные видеокамеры снимают со скоростью 24 кадра в секунду, следовательно, каждый кадр, может запечатлеть процесс, который происходит не быстрее, чем 1/24 сек. На изображение снятого объекта, накладывается круговая палетка таким

образом, чтобы ее края максимально точно совпали с краями объекта, а центр палетки с центром объекта.

Затем, с помощью компьютерных программ обработки видео-фотоизображений или специальных модулей программных комплексов ARC VIEW определяется преобладающая длина волны в усредненном спектре цветовой гаммы, охваченной в пределах одного сектора палетки. Таким образом, определяется преобладающая длина волны цветовой гаммы для каждого из пяти секторов палетки. Эта операция производится для каждого кадра.



**Рис.78. Палетка для снятия параметров длины волны цветов оптического изображения в различных участках космических объектов на кадрах видеозаписи.**

На основе полученных данных строятся графики зависимости изменения длины волны от времени (кадров) для каждого сектора в отдельности. Выделяются сектора, в которых изменения длины волны  $\lambda$  от времени происходит синхронно или в противофазе и по анализу полученной картины судят о характере деформации объекта.

Выявление квадрупольного характера деформации свидетельствует о прохождении через объект гравитационной волны.

По полученным графикам выделяют близкие к синусоидальным колебаниям, по которым определяют длину и амплитуду гравитационной волны.

На рис.79 показано сопоставление графиков зависимости красного (синего) смещения от времени (числа кадров) для рассматриваемого фрагмента длительностью  $\frac{3}{4}$  сек (18 кадров). Для каждого из пяти секторов объекта составлен отдельный график. На всех графиках выделены отчетливые смещения длин волн в красную или синюю сторону.

Как видно из сопоставления, (1) и (3) сектора находятся в противофазе, что может свидетельствовать о противоположных движениях (1) и (3) секторов.

В то время, как первый сектор удаляется от наблюдателя (красное смещение) (3) сектор приближается (синее смещение), затем процесс меняется на противоположный.

Сектора (2) и (4) занимают промежуточные положения и на них имеются частично элементы как (1), так и (3) секторов. Что же касается центрального сектора (5), то он, как и полагается при такой деформации объекта, представляет собой более сложное, суммарное значение длин волн.

Показанные на рис.79 линии *A*, *B*, *C* и *D* соединяют экстремальные значения в красных и синих смещениях, попавшие в противофазу на секторах (1) и (3). В то же время, эта картина также хорошо визуально наблюдается непосредственно на покадровой развертке. Более того, в покадровой развертке можно видеть, что в противофазе красного и синего смещения находятся кадры 1 и 4, 4 и 7, 7 и 10, 10 и 13. То есть, распределение красного и синего смещения на секторах (1) и (3) меняется через каждые три кадра на четвертом. Следовательно, период полного цикла или полной волны составляет 8 кадров или  $1/3$  сек, т.е. около  $3$  Гц.

Зная полный период колебаний на графиках, мы можем определить частоту и длину гравитационной волны, проходящей через объект и вызывающей его квадрупольную деформацию. Частота гравитационной волны, как видно из графиков, составляет, примерно  $\approx 3-4$  Гц, а ее длина  $\approx 9 \times 10^4$  км.

Учитывая, что для квадрупольной деформации наблюдаемого объекта необходимо соблюдение условия, чтобы его диаметр, был меньше половины длины гравитационной волны, то, следовательно, диаметр наблюдаемого космического тела меньше 45000 км.

Для наглядности, на рис.80 приведена модель наблюдения эффекта Доплера наблюдателем, при прохождении через наблюдаемый космический объект сверхдлинной гравитационной волны, направленной перпендикулярно плоскости изображения.

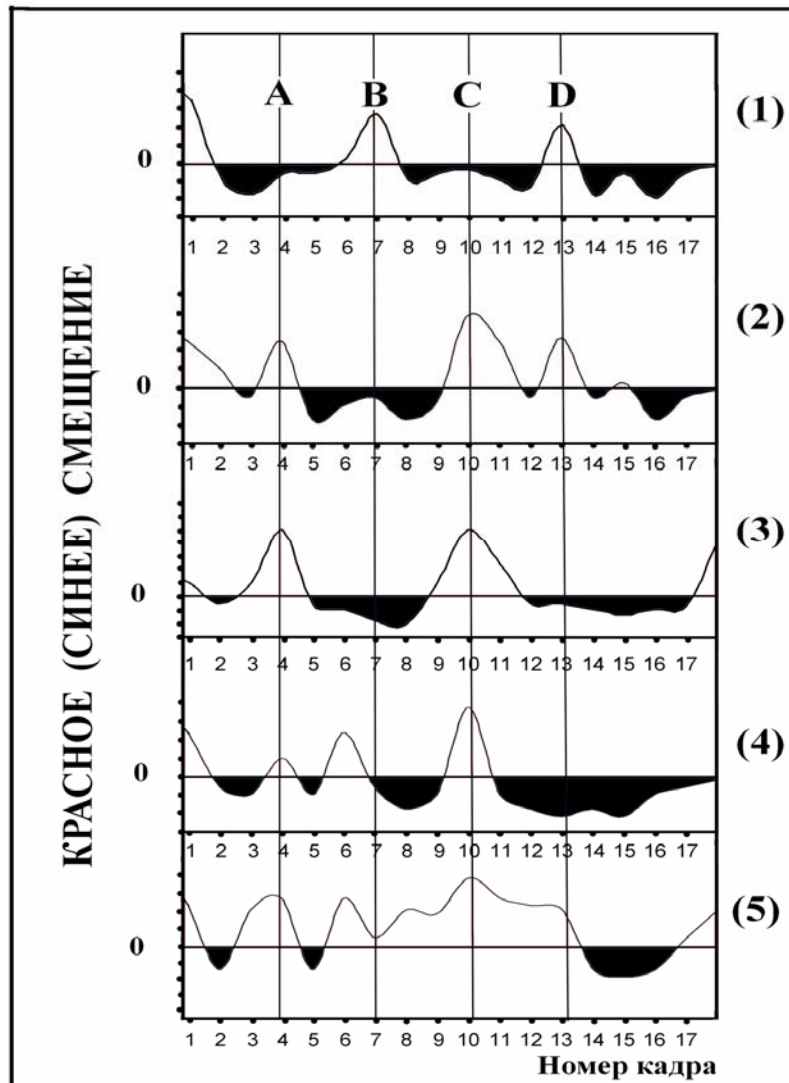

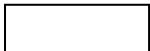


Рис. 79. Сравнение графиков зависимости красного (синего) смещения от времени (числа кадров) по каждому из пяти секторов палетки для рассматриваемого фрагмента видеозаписи длительностью  $\frac{3}{4}$  сек (18 кадров).

 - красное смещение;  
 - синее смещение;

(1) – (5) - номера секторов палетки;

Фрагмент 1 модели на рис.80 отражает момент отсутствия СГВ, фрагмент 2 отображает первый момент вступления СГВ, фрагмент 3 – крайнее положение деформации объекта при прохождении центральной части первой полуволны. В то же время, фрагменты 4-6 показывают смену направления деформации, при этом фрагмент 5 отображает момент смены одной полуволны СГВ на вторую.

Мы хотим еще раз с акцентировать внимание читателей на том, что рассмотренный нами, в качестве примера, космический объект, зафиксированный на видеопленку, не представляет возможность идентифицировать, в связи с чем, приведенные исследования, необходимо рассматривать, всего лишь, как демонстрацию методологических принципов наблюдения и исследования низкочастотных гравитационных волн, при их прохождении через различные космические объекты (звезды, планеты и т.д.).

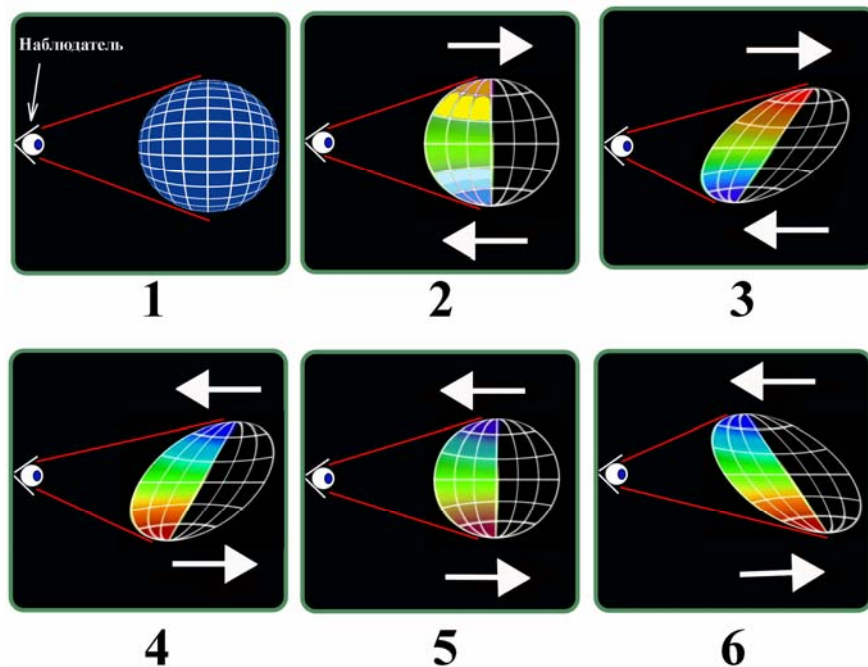


Рис. 80. Изображение модели наблюдения эффекта Доплера наблюдателем. 1-6 - обозначение фрагментов модели при различных деформациях космического объекта в процессе прохождения сверхдлинной гравитационной волны. Стрелками обозначены направления движения плоскости объекта по отношению к наблюдателю.



По сути, система наблюдатель на Земле – наблюдаемый космический объект, представляет собой детектор гравитационных волн, аналогично одному из плеч детектора LIGO. При этом, наблюдатель на Земле, является приемником, а космический объект (планета, звезда) - зеркалом, от которого исходят лучи, принимаемые наблюдателем. В данной системе имеются неоспоримые преимущества, по сравнению с лазерными интерферометрами - это астрономические расстояния, отделяющие «приемник» от «зеркала». Но самым важным отличием является то, что «приемник» (наблюдатель), находится вне поля действия гравитационной волны, а «зеркало» - внутри поля действия волны. Это основополагающее требование ко всем типам детекторов гравитационных волн, исходящее из принципа эквивалентности *ОТО*, которому, к сожалению, не соответствуют существующие конструкции резонансных детекторов и лазерных интерферометров. Безусловно, реализация вышеописанной технологии, производится на графической станции с помощью специальной программы на основе применения *ГИС* технологий.

## **ГЛАВА 7. НОВЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ РЕГИСТРАЦИИ СВЕРХДЛИННЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН И ИЗМЕРЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННОЙ ПОСТОЯННОЙ**

В разделе 3.4 нами детально были описаны недостатки существующих типов гравитационно-волновых детекторов, прежде всего резонансных и лазерных интерферометров.

Очевидно, что существующие типы детекторов не рассчитаны на регистрацию сверхдлинных гравитационных волн с периодом от нескольких месяцев и более.

В разделе 4.3 рассмотрены особенности влияния сверхдлинных гравитационных волн на результаты измерений гравитационной постоянной с помощью весов Кавендиша. Используя эти особенности, нами разработаны новые методологические принципы и устройство для регистрации сверхдлинных гравитационных волн.

Поставленная задача решается тем, что проводят одновременное трехмерное непрерывное или дискретное измерение

гравитационной постоянной  $G$  с помощью, как минимум, двух крутильных весов. При этом коромысла весов с грузами, располагают перпендикулярно относительно друг друга, проводят дополнительное измерение неприливных вариаций силы тяжести, с помощью гравиметра, в момент измерения гравитационной постоянной  $G$  крутильными весами. Причем волновое изменение измеренного значения гравитационной постоянной, привязанное, как минимум, к одной из координатных осей, будет находиться в противофазе, по отношению к волновым изменениям измеренных значений  $G$ , привязанных к двум другим координатным осям.

Устройство для регистрации низкочастотных гравитационных волн, включает: крутильные весы, содержащие корпус, подвешенное в нем на крутильной нити коромысло с легкими грузами и большие грузы относительно грузов крутильных весов. Перпендикулярно к основным крутильным весам устанавливают идентичные крутильные весы так, чтобы элементы обоих крутильных весов при повороте коромысел друг относительно друга на угол, обеспечивающий максимальное приближение грузов крутильных весов к большим грузам, не соприкасались. При этом большие грузы, располагают между грузами двух коромысел таким образом, чтобы центры грузов крутильных весов были равноудалены от центров больших грузов.

В центральной части коромысел устанавливают выемки, направленные на верхнем коромысле - вверх, а на нижнем - вниз или в центральной части коромысла согнуты, таким образом, чтобы на верхнем коромысле угол изгиба был направлен - вверх, а на нижнем - вниз.

Сущность данного способа заключается в том, что измерение гравитационной постоянной осуществляется, как минимум двумя крутильными весами, размещенными таким образом, чтобы при одновременном измерении  $G$ , коромысла с грузами на обоих крутильных весах располагались взаимно перпендикулярно друг относительно друга. Это позволяет фиксировать квадрупольный характер влияния гравитационных волн. При этом производят одновременное непрерывное (дискретное) измерение вариаций значений  $G$  на обоих крутильных весах. В то же время, одновременно, измеряют с помощью гравиметра, вариации относительных или абсолютных значений силы тяжести, по которым также определяют значение гравитационной постоянной  $G$ .

В случае, если три измеренных значения  $G$ , отражающих взаимодействие масс вдоль трех взаимно перпендикулярных осей координат, имеют волнообразные изменения, при которых значения,

привязанные к одной из координатных осей, находятся в противофазе по отношению к значениям, привязанным к двум другим осям координат, судят о прохождении гравитационной волны.

Как уже отмечалось в предыдущих разделах, особенностью гравитационной волны является то, что при прохождении через пространство и тела, она деформирует их следующим образом: сначала вытягивает по направлению своего распространения и, одновременно, сжимает перпендикулярно ему, затем процесс деформации происходит в обратном порядке.

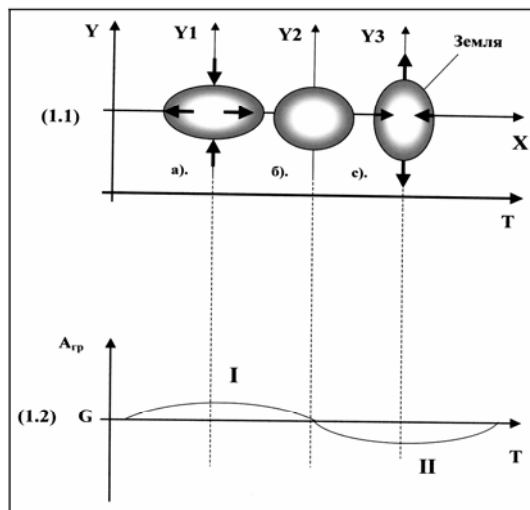


Рис. 81. Схема влияния сверхдлинной гравитационной волны на деформацию Земли и околоземного пространства. (1.1.) – Схематическое изображение деформации формы Земли и околоземного пространства при прохождении сверхдлинной гравитационной волны; (1.2.) - График изображающий распространение гравитационной волны вдоль оси времени; I и II - первый и второй полупериоды гравитационной волны.

Проходя через Землю, низкочастотные гравитационные волны, квадрупольно деформируют Землю и околоземное пространство в соответствии с изображением на рис.81.

На графике (1.1) рис.81 показана модель деформации Земли при прохождении через нее сверхдлинной гравитационной волны, изображенной на графике (1.2).

Ось  $T$  обозначает время, ось  $Y$  на графике (1.1) обозначает линейные размеры Земли по вертикали, а ось  $x$  по горизонтали.

Ось  $A_{zp}$  на графике (1.2) обозначает амплитуду гравитационной волны, а  $G$ - истинное значение гравитационной постоянной.

Как видно из графика (1.1):

а) при прохождении первого полупериода гравитационной волны, обозначенной на графике (1.2) I, Земля и околоземное пространство, вытягивается по направлению распространения волны и сжимается перпендикулярно ему;

б) в момент смены полупериодов, когда амплитуда гравитационной волны равна 0, Земля приобретает свою естественную форму (1.1), после чего происходит обратный процесс деформации;

с) на графике (1.2) показано, что при прохождении второго полупериода волны на графике (1.2) II, Земля (1.1), сжимается по направлению распространения волны и расширяется перпендикулярно ему.

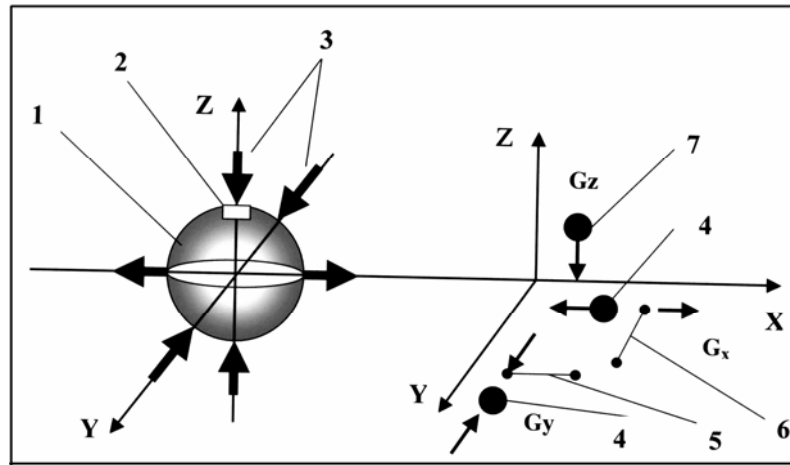
При регистрации периодически меняющихся (последовательно увеличивающихся и уменьшающихся) значений  $G$  на обоих весах, судят о появлении низкочастотных гравитационных волн.

Низкочастотные гравитационные волны, проходящие через Землю, влияют на взаимное притяжение малых и больших грузов крутильных весов, в результате чего фиксируются вариации во времени измеренных значений гравитационной постоянной  $G$ . В зависимости от ориентации грузов по отношению к фронту проходящей гравитационной волны, притяжение между грузами, усиливается или ослабляется относительно среднего (истинного) значения гравитационной постоянной  $G$ .

Для повышения достоверности регистрации низкочастотных гравитационных волн, одновременно регистрируют в непрерывном режиме (дискретно) непривлинные вариации относительных или абсолютных значений силы тяжести с помощью гравиметра. При появлении указанных вариаций с периодом циклов равным периоду циклов вариаций  $G$ , судят о прохождении низкочастотных гравитационных волн. При этом изменение во времени измеренных значений гравитационной постоянной, привязанное, как минимум, к одной из координатных осей, будет находиться в противофазе по отношению к изменениям во времени  $G$ , привязанным к двум другим координатным осям.

Рассмотрим на конкретном примере регистрацию низкочастотных гравитационных волн проходящих через Землю.

На рис.82 изображена Земля 1 при прохождении через нее первого полупериода гравитационной волны, распространяющейся вдоль оси  $X$ .



**Рис. 82.** Схема, изображающая направления изменений метрики пространства и взаимодействие грузов в весах Кавендиша, в зависимости от их ориентации по отношению к направлению распространения гравитационной волны. (При прохождении первой полуволны).

Измерение гравитационной волны производится на площадке 2. Стрелками 3 обозначено направление деформационных напряжений в Земле и околоземном пространстве. Оси координат обозначены, соответственно  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . В правой части рис.82 показано размещение и ориентация коромысел 5 и 6 с грузами весов Кавендиша. Как видно, коромысла 5 и 6 с грузами размещены взаимно перпендикулярно и параллельно, соответственно, осям  $X$  и  $Y$ . На схеме, для ее упрощения, изображено по одному большому грузу 4 (обычно в весах Кавендиша применяются по два больших груза), к которым притягиваются малые грузы коромысел. Груз гравиметра 7, в свою очередь, притягивается по направлению к центру Земли. Значения  $G$ , измеренные с помощью коромысел 5 и 6, нами обозначены, соответственно  $G_y$  и  $G_x$ , а значение  $G$ , измеренное с помощью гравиметра - обозначено  $G_z$ .

Как видно из рис.82, при прохождении первого полупериода гравитационной волны, груз коромысла 5, параллельно оси  $X$  приближается (притягивается) к большому грузу 4, по сравнению с тем моментом, когда волна не проходила через Землю. В результате этого, при измерении гравитационной постоянной  $G_y$ , ее значения будут выше средних (истинных) значений.

В то же время, груз коромысла 6 параллельно оси  $Y$  притягивается к большому грузу 4 слабее (отдаляется), по сравнению с тем моментом, когда волна не проходила через Землю. В результате этого, при измерении гравитационной постоянной  $G_x$ , ее значения будут ниже средних (истинных) значений.

С помощью гравиметра также определяется  $G_z$ .

При этом  $G_z$  определяется по следующим формулам:

$$g = G_z m_3 / R_3^2 \quad (7.1)$$

где  $g$  – сила тяжести,  $G_z$  – гравитационная постоянная измеренная по оси  $Z$ ,  $m_3$  – масса Земли,  $R_3$  – радиус Земли.

$$G_z = gR_3^2 / m_3 \quad (7.2)$$

При этом,

$g = 978,049(1 + 0,005288 \sin\varphi - 0,000006 \sin^2 2\varphi) - 0,0003086H$  см/с<sup>2</sup>, где  $\varphi$  – широта места,  $H$  – высота над уровнем моря /222/.

Как видно из рис.82, значение  $G_z$ , будет выше истинного (среднего) значения  $G$ .

Истинное (среднее) значение гравитационной постоянной  $G$  определяется следующим образом. Производят непрерывные или дискретные измерения значений  $G_x$ ,  $G_y$  и  $G_z$  в течение одного полупериода вариаций гравитационной постоянной. После этого определяют одновременно измеренные максимальные и минимальные значения  $G$  по двум координатным осям. Вычисляют среднее арифметическое между максимальным и минимальным значением  $G$  измеренным одновременно по двум разным осям координат и принимают полученное среднее арифметическое за истинное (среднее) значение  $G$ .

Например, определим значение  $G$  для случая приведенного на рис.82 и рис.83.

$$G = (G_{x,min} + G_{y,max})/2 \quad (7.3)$$

или

$$G = (G_{x,min} + G_{z,max})/2 \quad (7.4)$$

Для определения значений отклонений измеренных значений  $\Delta G_x$ ,  $\Delta G_y$  и  $\Delta G_z$  находим разницу, между измеренными

значениям  $G_{x,y,z}$  для каждой оси координат и истинными значениями  $G$ :

$$\Delta G_x = G_x - G \quad (7.5)$$

$$\Delta G_y = G_y - G \quad (7.6)$$

$$\Delta G_z = G_z - G, \quad (7.7)$$

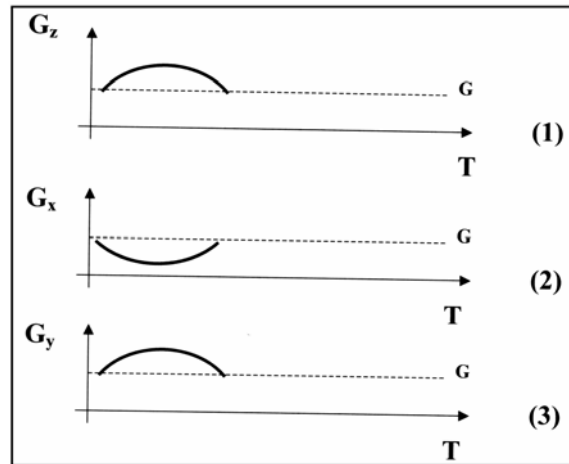
При этом будут получены следующие результаты:

$$\Delta G_x < G \quad (7.8)$$

$$\Delta G_y > G \quad (7.9)$$

$$\Delta G_z > G \quad (7.10)$$

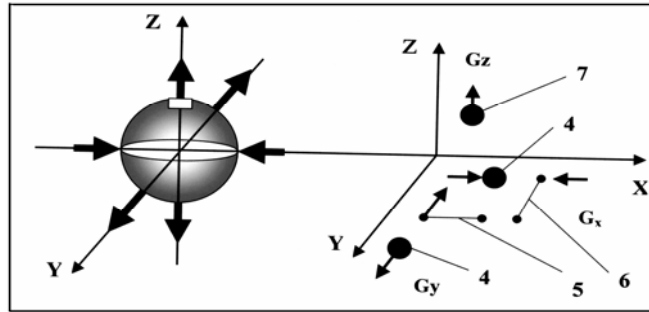
Производится непрерывное или дискретное измерение значений  $\Delta G_x$ ,  $\Delta G_y$  и  $\Delta G_z$  и составляются соответствующие графики (1), (2) и (3), приведенные на рис.83.



**Рис. 83. Графики, отражающие результаты измерений гравитационной постоянной  $G$  вдоль осей координат  $X, Y, Z$  при прохождении первого полупериода гравитационной волны.**

На всех трех графиках, изображены кривые, показывающие изменения во времени значений  $G_{x,y,z}$  при прохождении через Землю первой полуволны. Как видно из графиков, в данном случае, на графиках (1) и (3) полуволна имеет положительное значение, а на графике (2) - отрицательное. Измерение гравитационной волны в период смены ее первого полупериода (полуволны) на второй не

изображено, так как в этот период времени значения  $\Delta G_x$ ,  $\Delta G_y$  и  $\Delta G_z$  будут равны значениям  $G$  (средним или истинным значениям гравитационной постоянной). На рис.84 показан пример регистрации гравитационной волны при прохождении второй полуволны.



**Рис. 84. Схема изображающая направления изменений метрики пространства и взаимодействие грузов в весах Кавендиша, в зависимости от их ориентации по отношению к направлению распространения гравитационной волны. (При прохождении второй полуволны).**

Как видно, в данном случае, груз коромысла 5 удаляется (слабее притягивается) от большого груза 4, а груз коромысла 6 – сильнее притягивается к большому грузу 4 весов Кавендиша, относительно средних (истинных) значений  $G$ . Груз 7 гравиметра, также слабее притягивается к Земле и показывает более низкое значение  $G$ .

При этом будут получены следующие результаты:

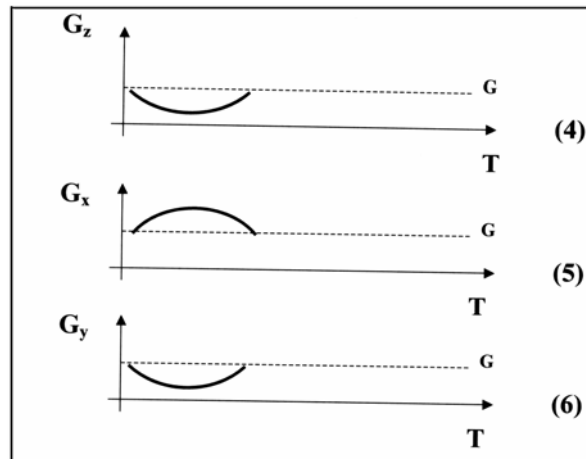
$$\Delta G_x > G \quad (7.11)$$

$$\Delta G_y < G \quad (7.12)$$

$$\Delta G_z < G \quad (7.13)$$

Далее производится непрерывное или дискретное измерение значений,  $\Delta G_x$ ,  $\Delta G_y$  и  $\Delta G_z$  и составляются соответствующие графики (4), (5) и (6), приведенные на рис.85.



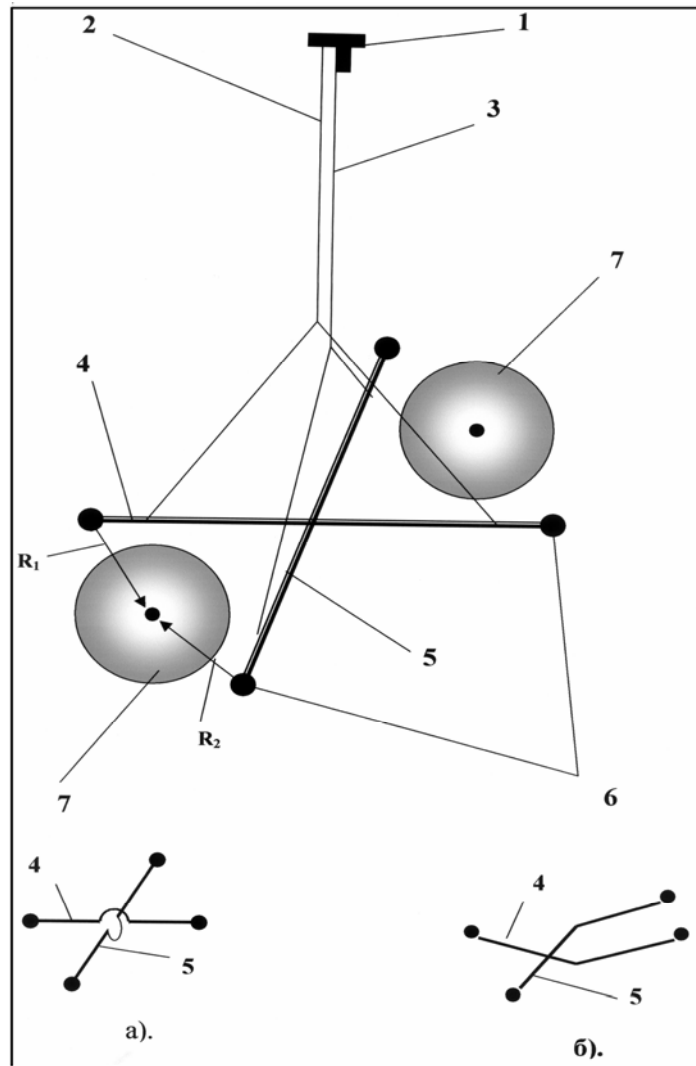


**Рис. 85. Графики, отражающие результаты измерений гравитационной постоянной  $G$  вдоль осей координат  $X, Y, Z$  при прохождении второго полупериода гравитационной волны.**

Как видно из графиков, в данном случае, на графиках (4) и (6) полуволна имеет отрицательное значение, а на графике (5) - положительное.

В зависимости от географического положения места проведения измерений и ориентации всей измерительной системы по отношению к фронту гравитационной волны, возможны различные варианты соотношений амплитуд и знаков полученных значений  $G$  для различных осей координат. Между тем, во всех случаях, при прохождении гравитационной волны, значения волнового изменения  $\Delta G$ , привязанного к одной из координатных осей, будут находиться в противофазе по отношению к значениям, привязанным к двум другим осям координат.

Устройство для регистрации сверхдлинных гравитационных волн (рис.86) включает держатель 1, на котором крепятся нити 2 и 3 с подвешенными коромыслами 4 и 5, расположенными взаимно перпендикулярно с грузами 6, закрепленными на концах коромысел. Большие грузы 7, расположены, между грузами двух коромысел таким образом, чтобы центры грузов 6 крутильных весов были равноудалены от центров больших грузов 7 на расстояние  $R_1 = R_2$ .



**Рис. 86. Принципиальная схема конструкции устройства для регистрации сверхдлинных гравитационных волн – детектора Халилова.**

Коромысла 4 и 5, являются идентичными и размещены, таким образом, чтобы элементы обоих крутильных весов при повороте коромысел не соприкасались. Это достигается с помощью крепления нити 3, имеющей одинаковую длину с нитью 2, ниже места крепления нити 2 и смещения по горизонтали относительно места крепления нити 2 на минимальную величину,

обеспечивающую свободный поворот коромысел друг относительно друга на угол, позволяющий максимальное приближение грузов крутильных весов, к большим грузам, без соприкосновения между собой элементов систем подвесов с коромыслами. При этом, могут быть использованы различные конструктивные особенности коромысел, позволяющие не смещать по вертикали место крепления нити 3, относительно нити 2.

На рис.86 а) и б) показаны варианты конструктивного исполнения коромысел, позволяющего не смещать по вертикали места крепления нитей 2 и 3.

На рис.86 а) в центральной части коромысел 4 и 5, устанавливаются выемки, направленные на верхнем коромысле вверх, а на нижнем вниз, что позволяет свободно поворачиваться коромыслам в горизонтальной плоскости, не соприкасаясь.

На рис.86 б) коромысла 4 и 5 согнуты в центральной части таким образом, чтобы на верхнем коромысле, угол изгиба был направлен вверх, а на нижнем вниз, что обеспечивает свободный поворот коромысел в горизонтальной плоскости, без взаимного соприкосновения.

Принцип действия устройства заключается в следующем. При прохождении гравитационной волны, в зависимости от ее направления, учитывая ее квадрупольный характер воздействия на окружающее пространство и тела, грузы 6 на концах коромысел 4 и 5, будут смещаться относительно больших грузов 7. Изменяя одновременно углы поворотов коромысел, судят о прохождении гравитационной волны, при этом непрерывное изменение углов поворотов, будет иметь волновой характер.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Настоящая работа высветила совершенно новые аспекты гравитационно-волновых исследований, прежде всего, в преломлении через призму наук о Земле, в частности, геодинамики.

Мы попытались показать, что казавшаяся чисто астрофизической, проблема гравитационных волн, на самом деле, также входит в круг интересов геофизики и геологии и, прежде всего - геодинамики, изучающей динамику геологических и геофизических процессов.

Как влияют на геодинамические процессы, проходящие через Землю гравитационные волны, обладающие различной амплитудой и длиной, каким образом они отражаются на деформации формы Земли, движении литосферных плит, проявлении внутренней энергетики планеты, отражающейся в виде изменений сейсмической и вулканической активностей и т.д.

С помощью технических средств, пока что астрофизикам не удалось зафиксировать гравитационные волны. Но Земля, сама является сложной энергофункциональной системой, чутко реагирующей на любые внешние воздействия. Так может быть, мы попытаемся использовать в качестве детектора гравитационных волн - саму Землю, точнее, реакцию геодинамических процессов на прохождение гравитационных волн.

В монографии описан ряд идей, концепций и результатов научных исследований автора, каждая из которых имеет различную степень обоснованности и притязаний.

В главе 1 рассмотрены актуальные проблемы современной геодинамики, в частности, вопросы проявления цикличности в глобальных геодинамических процессах и их возможной связи с космическими факторами. Основная мысль автора в первой главе сводится к тому, что Землю и происходящие геологические процессы, необходимо рассматривать в тесном контексте с космосом. На основе обзора существующих концепций и теорий, автор показывает, что проявления энергетики нашей планеты отражаются во всем многообразии геодинамики, начиная от горизонтальных движений литосферных плит и кончая периодическими вариациями радиуса и формы Земли.

### **ВЫВОД 1**

В главе 2 подробно освещается проблема метрологического обеспечения измерений гравитационной постоянной.

Основным выводом данной главы является то, что фактически измеряемые вариации гравитационной постоянной не являются результатом некорректности измерений или погрешностей приборов. Измеренные в разных странах, ведущими научными центрами, вариации значений  $G$ , примерно на порядок превышают погрешность современных установок по измерению гравитационной постоянной.

В то же время, мониторинг значений  $G$ , проведенный в течение 16 лет российскими учеными показал, что вариации  $G$  во времени имеют статистически достоверный волновой характер.

### **ВЫВОД 2**

В главе 3 приводится детальный обзор различных типов детекторов гравитационных волн, и излагаются физические принципы их действия.

Основополагающими в данном разделе являются два основных аспекта:

1. Детально рассмотрена логическая ошибка, допущенная при проектировании лазерных интерферометрических и масс-резонансных детекторов. Эта ошибка заключается в нарушении принципа относительности *ОТО* при проектировании гравитационно-волновых детекторов, в соответствии с которым, все узлы детекторов и их физические характеристики изменяются инвариантно изменению амплитуды возмущения метрики пространства. В поле проходящей гравитационной волны. Это касается не только механических систем детекторов, но и параметров лазерного луча, с помощью которого измеряются микро-смещения массивных зеркал в интерферометрах. При этом, длина волны лазера, изменяется в поле гравитационной волны таким образом, что эти изменения, полностью компенсируют изменения расстояния между зеркалами, что делает невозможным с помощью лазерного луча измерить микро-смещения зеркал.

Автором предлагается способ реконструкции детектора LIGO, позволяющий исключить указанную логическую ошибку.

2. Приводится конструкция нового типа детектора сверхдлинных гравитационных волн - торсионного детектора «АТРОПАТЕНА-1» разработанного и изготовленного автором.

### **ВЫВОД 3**

Глава 4 включает в себя основополагающий раздел, в котором описываются математические и методологические принципы обработки временных рядов. Одним из основных аспектов, отраженных в первой части главы, является показанное различие в физической сути волновых и циклических процессов. В связи с этим, необходимо использовать различные подходы при анализе и оценке циклических и волновых процессов.

Главным отличием волнового процесса от циклического является то, что в волновом процессе, отрицательная часть полуволны несет энергию равную той, которая содержится в положительной части, но противоположную по знаку. В то же время, в циклических процессах, минимальные значения отражают наименьшее выделение энергии, а максимальные - наибольшее. Это необходимо учитывать при корреляционном анализе циклических и волновых процессов.

В главе 4 детально описывается механизм влияния прохождения сверхдлинной гравитационной волны на показания весов Кавендиша, при измерении гравитационной постоянной  $G$ . Выдвинута концепция о том, что зарегистрированные различными учеными мира вариации измеренных  $G$ , являются результатом прохождения через Землю сверхдлинных гравитационных волн ( $СГВ$ ).

Показано, что при прохождении через Землю  $СГВ$ , зарегистрированные в различных точках земного шара, значения гравитационной постоянной, будут отличаться друг от друга, в зависимости от ориентации весов Кавендиша по отношению к направлению распространения  $СГВ$ . Получение одинаковых значений  $G$ , зарегистрированных одновременно в разных точках земного шара, возможно только в одном случае - в момент смены полуволн  $СГВ$ .

#### **ВЫВОД 4**

Глава 5 посвящена исследованию возможного влияния сверхдлинных гравитационных волн на деформацию формы и геодинамику Земли.

1. Анализ вариаций измеренных значений  $G$ , с 1985 по 2000 годы, привел нас к заключению о том, что они отражают волновые изменения  $G$ , являющиеся результатом наложения сверхдлинных гравитационных волн трех порядков - с периодами 40-60 лет; 7,7 лет и 2-2,5 года.

Прохождение  $СГВ$  вызывает квадрупольную деформацию Земли, что подтвердилось недавним открытием, сделанным Кристофером Кохом (Christopher Cox) из исследовательской компании Raytheon и Бениамином Чао (Benjamin Chao) из центра НАСА в Мэриленде, сделанном на основании изучения долгосрочных вариаций в зональном коэффициенте сферической гармонике Земли второй степени, так называемого коэффициента  $J_2$ . Они обнаружили, с помощью искусственных спутников Земли и лазерных измерений, квадрупольное изменение формы и размеров Земли, уменьшение ее радиуса в полюсах и его увеличение по экватору. Именно такая реакция формы и размеров Земли возможна при прохождении через нее гравитационной волны.

2. Исследование корреляционных связей вариаций измеренных значений  $G$  и различных геодинамических факторов с 1985 по 2000 годы, позволило установить корреляционную связь между  $СГВ$ , сейсмической и вулканической активностью Земли и изменениями угловой скорости ее вращения.

3. Анализ пространственно-временных изменений интегральной оси напряжений Земли показал, что они отражают квадрупольный характер деформационных процессов в Земле, что полностью соответствует сформированной автором модели реакции геодинамики Земли на прохождение  $СГВ$ .

4. На наш взгляд, прохождение через Землю сверхдлинных гравитационных волн, формирует основные циклы общепланетарной геодинамической активности. Кроме того, прохождение через нашу планету гравитационных волн различных частот и направлений, будет приводить к сложной интерференционной картине, что также должно найти свое отражение в природных процессах.

5. Автором предложен новый механизм влияния сверхдлинных гравитационных волн на геодинамические процессы и деформацию Земли. Сверхдлинная гравитационная волна,

проходя через Землю, создает в каждой точке пространства энергетический пространственный приоритет (*ЭПП*) для распределения энергетических потоков атмосферы, гидросферы и твердой среды Земли. *ЭПП* формируется тензором напряжений в гравитационном поле *СГВ* в каждой точке пространства в конкретный момент времени.

Фактически, гравитационная волна, пространственно перераспределяет поток энергии в Земле и околоземном пространстве, затрачивая на это несопоставимо меньшую энергию, чем получаемый при этом эффект. В физике известно множество аналогий, широко используемых в электронике, гидродинамике и других сферах для управления и перераспределения электромагнитной или иных видов энергии.

### **ВЫВОД 5**

Земля является космическим объектом и ее реакция на прохождение сверхдлинных гравитационных волн, безусловно, свидетельствует о том, что другие космические объекты – звезды, планеты и т.д., будут реагировать на *СГВ* аналогичным образом.

О реакции Земли на *СГВ*, мы можем судить по изменениям геодинамических процессов, при этом и мы сами, в это время, находимся в поле гравитационной волны. Но о реакции других космических тел на *СГВ*, мы можем судить как сторонние наблюдатели, находящиеся вне сферы воздействия *СГВ* (в другой системе координат), что создает для нас дополнительные преимущества, исходя из принципа относительности *ОТО*.

Деформация космических объектов в поле *СГВ* может быть зафиксирована с помощью эффекта Доплера.

Автором, зафиксированы с помощью оптических систем космические объекты, по определенной закономерности меняющие окраску в различных областях. Они были проанализированы по специальной методике, учитывающей эффект Доплера. В результате перевода зарегистрированных изменений длин волн, испускаемых объектом, в красные и синие смещения, был обнаружен квадрупольный характер деформации наблюдаемых космических объектов.

Результаты этих исследований позволили автору разработать новую методику наблюдения *СГВ* и исследования их параметров.

По сути, система наблюдатель на Земле – наблюдаемый космический объект, представляет собой детектор гравитационных



волн, аналогично одному из плеч детектора LIGO. При этом, наблюдатель на Земле является приемником, а космический объект (планета, звезда) - зеркалом, от которого исходят лучи, принимаемые наблюдателем. Но в данной системе имеются неоспоримые преимущества, по сравнению с лазерными интерферометрами - это астрономические расстояния, отделяющие «приемник» от «зеркала». Но самым важным отличием, является то, что «приемник» (наблюдатель), находится вне поля действия гравитационной волны, а «зеркало» - внутри поля действия *ГВ*, т.е. приемник (наблюдатель) и резонатор (космический объект) находятся в разных системах координат. Это основополагающее требование ко всем типам детекторов гравитационных волн.

### **ВЫВОД 6**

Результаты проведенных исследований позволили автору разработать принципиально новый способ регистрации сверхдлинных гравитационных волн и устройство для его осуществления.

Данные способ и устройство основаны на регистрации влияния возмущения метрики пространства при прохождении *СГВ* на взаимодействие грузов в весах Кавендиша. Устройство основано на том, что в весах Кавендиша устанавливают дополнительное коромысло с грузиками, расположенное перпендикулярно первому.

Это позволяет фиксировать возмущения метрики пространства во взаимно перпендикулярных направлениях и регистрировать гравитационные волны.

Таким образом, в настоящей монографии, впервые фундаментально рассмотрена проблема гравитационно-волновых исследований с точки зрения современной геофизики и геодинамики. Основополагающие результаты данной работы, автор попытался сформулировать в виде следующих постулатов:

- Измеренные значения вариаций гравитационной постоянной имеют статистически достоверный характер и на порядок превышают погрешности измерительных приборов;
- Вариации измеренных значений гравитационной постоянной имеют волновой характер;
- Гравитационная постоянная является неизменной константой, а наблюдаемые вариации измеренных

значений гравитационной постоянной, являются следствием воздействия, проходящих через Землю сверхдлинных гравитационных волн на взаимодействие масс в весах Кавендиша;

- Измерение точного значения гравитационной постоянной, (выше третьего знака) с помощью применяемых на сегодня методов, в принципе невозможно, из-за постоянного наличия во Вселенной гравитационных волн, влияющих на показания весов Кавендиша. Это можно сделать с помощью разработанного автором способа и устройства для регистрации сверхдлинных гравитационных волн;
- Обнаружена логическая ошибка в конструкциях всех типов детекторов гравитационных волн, не позволяющая зарегистрировать *ГВ* и заключающаяся в нарушении принципа относительности *ОТО*. В частности, показано, что при прохождении гравитационных волн через чувствительную систему детектора LIGO, не только изменяется расстояние между массивными зеркалами лазерного интерферометра, но и длина волны лазера, с помощью которого должны регистрироваться эти изменения. Изменения длины волны лазера компенсируют изменения расстояния между зеркалами, что делает невозможным зафиксировать гравитационные волны при данной конструкции детектора.
- Прохождение через Землю сверхдлинных гравитационных волн, вызывает ее квадрупольную деформацию и вариации напряженного состояния ее слоев, что влияет на ход геодинамических процессов, вызывая соответствующую цикличность в их проявлениях (в сейсмичности, вулканизме, движениях литосферных плит и т.д.);
- Пространственно-временное распределение извержений вулканов, отражает квадрупольные вариации радиуса Земли;
- Прохождение сверхдлинных гравитационных волн через космические объекты (планеты и звезды), может быть зарегистрировано с помощью использования эффекта Доплера. Квадрупольная деформация поверхности космических объектов, будет отражаться в виде красных

и синих смещений длин волн излучений, принимаемых от объектов наблюдателем на Земле.

*Безусловно, что выводы автора не являются бесспорными и могут претерпеть дополнения или изменения при проведении дальнейших исследований, а также в результате исследований других ученых. Между тем, автор надеется, что эта работа не оставит читателя равнодушным и предоставит ему широкое поле для дальнейших размышлений.*

## CONCLUSION

This work enlightened absolutely new aspects of gravitational wave researches, first of all, in refraction through prism of science about the Earth, particularly, geodynamics.

We attempted to indicate that problem of gravitational waves, which seemed purely astrophysical one, as a matter of fact, is also within the interests of geophysics and geology, and first of all, geodynamics, studying the dynamics of geological and geophysical processes.

How gravitational waves, passing via the Earth and possessing different amplitude and length, influence on geodynamic processes, how gravitational waves are reflected on deformation of the Earth shape, movement of lithosphere plates, development of internal energetics of planet, reflecting in the form of variations of seismic and volcanic activities etc.

So far, applying technical means, astrophysicists failed fixing gravitational waves. However, the Earth itself is a complex energy-functional system, sensitively reacting on every external effect.

So, maybe we shall attempt to apply, the Earth itself, as a detector of gravitational waves, saying precisely, the reaction of geodynamic processes on passage of gravitational waves.

Several ideas, conceptions and results of scientific researches of the author are described in monograph, and each of them has different degree of justification and claims.

Actual problems of modern geodynamics, particularly, issues of development of cyclic recurrence in global geodynamic processes and its possible connection with cosmic factors are considered in the chapter 1. The main idea of the author in the chapter 1 comes to the point that it is necessary to consider the Earth and occurring geological processes in close context with space. On the basis of review of existing conceptions and theories the author indicates, that developments of energy of our planet are reflected in whole diversity of geodynamics, starting from horizontal movements of lithosphere plates and finishing by periodical variations of radius and shape of the Earth.

### **DEDUCTION 1**

Problem of metrological provision of measurements of gravitational constant is enlightened in detail in chapter 2.

Main deduction of this chapter is that, actually measured variations of gravitational constant are not the result of non-correctness of measurements or errors of devices. Variations of G values, measured by leading scientific centers of different countries, exceed errors of modern installations on measurement of gravitational constant by 10 times.

At the same time, monitoring of G values, conducted by Russian scientists for 16 years period, indicated that G variations in time had statistically reliable wave character.

### **DEDUCTION 2**

Detailed review of different types of detectors of gravitational waves is cited in chapter 3, and physical principles of its action are stated.

Two main aspects in this part are basic:

1. Logical error, admitted during designing of laser interferometer and mass-resonance detectors, is considered in detail. This error lies in violation of principle of relativity GRT during designing of gravitational-wave detectors in accordance with which, all components of detectors and its physical characteristics are being change invariantly to change of amplitude of disturbance of space metrics in the field of passing gravitational wave. This refers not only to mechanical systems of detectors, but also the parameters of laser ray, by means of which micro-displacements of massive mirrors in interferometers are measured. At that, wavelength of laser varies in the field of gravitational wave in such manner, that these variations completely equilibrate variations of distance between mirrors, which makes impossible measuring of micro-displacement of mirrors by means of laser ray.

The author proposes the method of reconstruction of detector LIGO, which allows excluding of indicated logical error.

2. Construction of new type of detector of super long gravitational waves-torsion detector “ATROPATENA”, developed and produced by the author, is cited.

### **DEDUCTION 3**

Chapter 4 includes the basic part, where mathematical and methodological principles of processing of temporary series are depicted. One of the main aspects reflected in the first part of the chapter is the indicated difference of wave and cyclic processes in physical essence. In connection with this, it is necessary to apply different approaches during analysis and evaluation of cyclic and wave processes.

The main difference of the wave process from cyclic one is that in wave process, the negative part of half-wave carries energy equal to that one, which is contained in positive part, but opposite by sign. At the same time in cyclic processes minimal values reflect the lowest liberation of energy and maximal- the highest energy. This must be taken into account during correlation analysis of cyclic and wave processes.

Mechanism of influence of passage of super long gravitational wave on indications of Cavendish balance during measurement of gravitational constant  $G$  is described in detail in chapter 4. Conception about the point, that  $G$  variations, registered by different scientists of the world, are the result of passage of super long gravitational waves (SGW) via the Earth, is advanced.

It is indicated, that during passage of SGW via the Earth, values of gravitational constant registered in different parts of the world will differ one from another, depending on orientation of Cavendish balance in relation to direction of distribution of SGW. Obtaining of equal  $G$  values, registered simultaneously at different points of the world is possible only in one case- at the moment of change of half-waves of SGW.

### **DEDUCTION 4**

Chapter 5 is dedicated to research of possible influence of super long gravitational waves on deformation of the shape and geodynamics of the Earth.

1. Analysis of variations of measured  $G$  values from 1985 to 2000 led us to conclusion, that they reflect wave variations of  $G$ , which are the result of imposition of super long gravitational waves of three orders with periods of 40-60 years; 7,7 years and 2-2,5 years. Passage of SGW causes quadruple deformation of the Earth, which was confirmed by recent discovery made by Christopher Cox from research company Raytheon and Benjamin Chao from NASA center in Maryland, made on the basis of study of long term variations in zonal coefficient of spherical harmonics of the Earth of the second

degree, of the so-called coefficient  $J_2$ . By means of artificial satellites of the Earth and laser measurements, they discovered quadruple change of the shape and size of the Earth, decrease of its radius in poles and its increase by equator. Namely, such reaction of the shape and size of the Earth is possible during passage of gravitational waves via it.

2. The research of correlation variations of measured  $G$  values and different geodynamical factors from 1985 to 2000 allowed establishing of correlation between SGW, seismic and volcanic activity of the Earth and variations of angular velocity of its rotation.
3. Analysis of spatial-temporary variations of integral axis of stresses of the Earth indicated, that they reflect quadruple character of deformation processes in the Earth, what completely corresponds to model of reaction of geodynamics of the Earth on passage of SGW, formed by the author.
4. In our opinion, passage of super long gravitational waves via the Earth forms main cycles of general planetary geodynamic activity. Additionally, passage of gravitational waves of different frequencies and directions via our planet will lead to complex interference picture, which also must be reflected in natural processes.
5. The author proposed new mechanism of influence of super long gravitational waves on geo-dynamic processes and deformation of the Earth. Super long gravitational wave, passing via the Earth, forms energy spatial priority (ESP) in every point of space for distribution of energy flows of atmosphere, hydrosphere and solid environment of the Earth. ESP is formed by tensor of stresses in gravitational field of SGW in every point of space, in concrete of time.

Actually, gravitational wave spatially redistributes flow of energy in the Earth and near-Earth space spending on it incomparably less energy, than effect obtained at it. Many analogues, widely distributed in electronics, hydrodynamics and other areas for control and redistribution of electric magnetic or other types of energy are known in physics.

### **DEDUCTION 5**

The Earth is the cosmic object and its reaction on passage of super long gravitational waves, undoubtedly, witnesses about the point, that other cosmic objects- stars, planets etc. will similarly react on SGW.

We may judge about reaction of the Earth on SGW by variations of geodynamic processes, at that, we ourselves, at this time, are in the field of gravitational waves. However, we may judge about reaction of other cosmic bodies on SGW, as foreign observers, being beyond the area of influence of SGW (in other system of coordinates), which creates for us additional advantages, proceeding from the principle of GRT.

Deformation of cosmic objects in the field of SGW may be fixed by means of Doppler Effect.

By means of optical systems the author fixed cosmic objects changing color in different areas by definite regularity, which were analyzed by special methodic, taking into account Doppler Effect. As a result of transition of registered variations of wavelength, radiated by object to red and blue displacements, the quadruple character of deformation of observed cosmic objects was discovered.

Results of these researches allowed the author developing new methodic of observation of SGW and researches of their parameters.

In essence, the system, observer on the Earth- observed cosmic object, represents the detector of gravitational waves, similarly to one of shoulders of detector LIGO. At that, observer in the Earth is the receiver, and cosmic object (planet, star) is mirror, from which rays perceived by observer are radiated. However, there are incontestable advantages in this system, comparing with laser interferometers- these are astronomical distances separating “receiver” from “mirror”. But the most important difference is that “receiver” (observer) is beyond the field of action of gravitational wave, and “mirror” is within the field of action of GW, i.e. “receiver” (observer) and resonator (cosmic object) are in different systems of coordinates. This is the basic requirement to all types of detectors of gravitational waves.

## **DEDUCTION 6**

Results conducted of researches allowed the author developing basically new method of registration of super long gravitational waves and device for its realization.

These method and device are based on registration of influence of disturbance of metrics of space during passage of SGW on interaction of loads in Cavendish balance. The device is based on the point, that in Cavendish balance the additional shoulder with loads, located perpendicularly to the first one, is installed.



This allows registering disturbances of space metrics in mutually perpendicular directions and registering gravitational waves.

Thus, in this monograph, for the first time, the problem of gravitational-wave researches from the view point of modern geophysics and geodynamics is considered. Basic results of this work are formulated by the author in the form of following postulates:

- Measured values of variations of gravitational constant have statistically reliable character and exceed the errors of measurement devices by order;
- Variations of measured values of gravitational constant have wave character;
- Gravitational constant is invariable constant, and observed variations of measured values of gravitational constant are sequence of influence of super long gravitational waves passing via the Earth, on interaction of masses in Cavendish balance;
- Basically, it is impossible to measure accurate value of gravitational constant (higher than the third sign) by means of applied modern methods to day, due to the permanent presence in the Universe of gravitational waves, influencing on indications of Cavendish balance. However, it is possible to do by means of method, developed by the author and device for registration of super long gravitational waves;
- Logical error is discovered in constructions of all type detectors of gravitational waves, which does not allow registering of GW and which is formed in violation of principle of relativity of GRT. Particularly, it is indicated, that during passage of gravitational waves via sensitive system of detector LIGO, not only distance between massive mirrors of laser interferometer is changed, but wavelength of laser by means of which these variations must be registered. Variations of the laser wavelength equilibrate distance variations between mirrors, which makes impossible fixing of gravitational waves in case of such construction of detector.
- Passage of super long gravitational waves via the Earth causes its quadruple deformation and variation of stressed condition of its layers, which influences on process of geodynamic processes, causing corresponding cyclic recurrence in their developments (in seismicity, volcanism and movement of lithosphere plates etc.);
- Spatial-temporary distribution of volcano eruptions reflects quadruple variations of the Earth radius;
- Passage of super long gravitational waves via cosmic objects (planets and stars) may be registered by application of Doppler Effect. Quadruple deformation of the surface of cosmic objects will be reflected in the form of

red and blue displacements of lengths of wave radiations, received from objects by the observer on the Earth;

*Undoubtedly, these deductions of the author are not indisputable and may be subjected to additions or changes during conducting of further researches, and also, as a result of researches of other scientists. However, the author hopes, that this work will not leave the reader indifferent and will give him wide field for further meditations.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абакелия М.С. Об изменениях силы тяжести во времени в связи с геотектоническими движениями на Кавказе. – Проблемы советской геологии, т.6, № 2, 1936, с.117-122.
2. Агачев А.Р., Балакин А.Б., Кисунько Г.В. и др. Спектр фазового шума в пентагональном кольцевом интерферометре «Дулкын» и тестовые эксперименты по обнаружению слабого периодического сигнала. Письма в ЖТФ, т.24, № 22, 1998, с.86-92.
3. Агачев А.В., Балакин А.Б., Буйнов Г.Н. и др. Пентагональный двухконтурный кольцевой интерферометр. ЖТФ, т. 68, № 5, с.121-125.
4. Адушкин В.В., Ан В.А. О регистрации ранее необъявленных подземных ядерных испытаний США сейсмическими станциями бывшего Советского Союза. Геофизика, ДАН СССР, т.349, № 4, 1996, с.525-529.
5. Адушкин В.В., Соловьев С.П. Низкочастотные электрические поля в приземном слое атмосферы при подземных взрывах. Геофизика, ДАН СССР, т. 299, № 4, 1988, с.840 – 844.
6. Адушкин В.В., Ан В.А., Овчинников В.М. Структурные особенности внутреннего строения Земли по результатам сейсмических наблюдений за подземными ядерными взрывами. Физика Земли, № 12, 2000, с.3-26.
7. Алешкина Е.Ю., Красинский Г.А., Питьева Е.В., Свешников М.Л. Экспериментальная проверка релятивистских эффектов и оценка величины изменения гравитационной постоянной по наблюдениям внутренних планет и Луны. УФН, 1987, с. 720-724.
8. Альберт Эйнштейн. Собрание научных трудов в 4-ех томах. М.: Наука, 1965 г.
9. Альберт Эйнштейн. Собрание научных трудов. т.1, М.: Наука, 1965, с.642.
10. Антонюк П.Н., Бронников К.А., Мельников В.Н. Определение гравитационной постоянной на спутнике Земли при движении частицы в окрестности точки либрации. Письма в Астрономический журнал. т.20, № 1, 1994, с. 72-75.
11. Анна Висенс, Михаил Висенс. В поисках гравитационных волн. <http://zhurnal.relarn.ru/articles/2001/081.pdf>
12. Анисимов С.В., Гохберг М.Б., Иванов Е.А. и др. Короткопериодные колебания электромагнитного поля Земли

- при промышленном взрыве. Геофизика, ДАН СССР, т. 281, № 3, 1985, с.556 – 559.
13. Артюшков Е.В. Геодинамика. М.: Наука, 1979.
  14. Астрофизич. Обсерватор. №105, 2003, с.13-21.
  15. Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Циклическая динамика в природе и обществе., М.: Научный мир, т.2, 1998, 429 с.
  16. Афанасьева В.И., Калинин Ю.Д., Могилевский Э.И. Изменения от дня ко дню скорости суточного вращения Земли и возможные причины этих изменений. – Геомагнетизм и аэрономия. т. 5, 1965, с.1098-1099.
  17. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И. Курс общей астрономии. М.: Наука, 1966, 527 с.
  18. Баландин Р. Пульс земных стихий. М.: Мысль, 1975.
  19. Балакин А.Б., Кисунько Г.В., Мурзаханов З.Г., Русяев Н.Н. Новый подход к обнаружению гравитационных волн. ДАН СССР, т. 316, № 5, 1991, с.1122 – 1125.
  20. Балакин А.Б., Кисунько Г.В., Мурзаханов З.Г. Гравитационно-волновой детектор на базе активных рециркуляторов как иглочувствительный элемент антенной решетки. ДАН СССР, т. 319, № 5, 1991, с. 1137 – 1140.
  21. Балакин А.Б., Кисунько Г.В., Мурзаханов З.Г., Скочиллов А.Ф. Пентагон как уникальная геометрическая конфигурация лазерного кольцевого интерферометра для детектирования периодического гравитационного излучения. ДАН РФ, т. 346, № 1, 1996, с.39-42.
  22. Балакин А.Б., Вахрушев Д.В., Кисунько Г.В., Мурзаханов З.Г., Скочиллов А.Ф. О возможности обнаружения приливного гравитационно-оптического взаимодействия. ДАН РФ, т.345, №1, 1995, с.43-45.
  23. Баннов Ю.А., Грудный Л.Г., Мирзоев К.М., Негматуллаев С.Х. Акустические излучения перед землетрясениями. В кн. Прогноз землетрясений, № 1, Дониш, 1982, с.242 – 251.
  24. Барсуков В.Л., Урусов В.С. Фазовые превращения в переходной зоне и нижней мантии и возможные изменения радиуса Земли. В кн. Проблемы расширения и пульсации Земли. М.: Наука, 1984, с.34-36.
  25. Бенькова Н.П., Могилевский Э.И. Эволюционные и импульсные изменения главного геомагнитного поля, вращения Земли и солнечная активность. Phys. Solariterr., Potsdam, № 36, 1976, с.3-12.

26. Берестецкий В.Б. Проблемы физики элементарных частиц. М.: Наука, 1979.
27. Берке У. Пространство-время, геометрия, космология: Пер.с англ./Берке У.; Ред.Д.В.Гальцов-М.: Мир,1985,416 с.
28. Бильде Ю.А. Оценка неравномерности вращения Земли, вызванной магнитными возмущениями Солнца. *Астрономия и астрофизика*. Киев: вып.28, 1976, с.14-21.
29. Болт Б. Землетрясения. М.: Мир, 1981.
30. Борн М. Эйнштейновская теория относительности, Пер. с англ., М.: 2-е испр. изд.-М.: Мир, 1972, 368 с.
31. Брагинский В.Б., Митрофанов В.П., Токмаков К.В. Доклады РАН, 345, 324 (1995).
32. Брагинский В.Б., Назаренко В.С. О приеме гравитационного излучения от некоторых источников внеземного происхождения с помощью гетероидного детектора. В кн. *Гравитация, проблемы, перспективы*. Киев: Наукова Думка, 1972, с.9 – 17.
33. Брагинский В.Б., Гинзбург В.Л. О возможности измерения зависимости гравитационной постоянной от времени. *ДАН СССР*, т. 216, № 2, 1974, с.300 – 302.
34. Брагинский В.Б. Экспериментальная проверка теории относительности. М.: Знание, 1977.
35. Брагинский В.Б., Полнарев А.Г. Удивительная гравитация. М., Наука, 1985, 159 с.
36. Брагинский В.Б. и др. Письма в ЖЭТФ 10,157, 1972.
37. Брагинский В.Б. *УФН.*, 86, 1965, 433.
38. Брагинский В.Б. Гравитационно-волновая астрономия: новые методы измерений. *УФН*, т.170, № 7, 2000, с.743-752.
39. Бронштэн В.А. Как движется луна? М.: Наука,1990, 205 с.
40. Буланже Ю.Д. Некоторые результаты изучения неприливных изменений силы тяжести. *Докл. АН СССР*, 1981, т.256, № 6, с.1330-1331.
41. Буланже Ю.Д. Неприливные изменения силы тяжести. В кн.: *Повторные гравиметрические измерения. Вопросы теории, результаты: Сб. науч.* М.: ВНИИГеофизика, 1980, с.4-21.
42. Буланже Ю.Д. По поводу неприливных изменений силы тяжести. *Изв. АН СССР*, № 3, 1983.
43. Буланже Ю.Д. Некоторые результаты изучения неприливных изменений силы тяжести. В кн. *Проблемы расширения и пульсации Земли*. М.: Наука, 1984, с.73-84.

44. Быковский О.А. Проблемы современной физики. Алма-Ата: Гылым, 1995, 128 с.
45. Варшалович Д.А., Левшаков С.А. Потехин А.Ю. Проверка неизменности фундаментальных констант за космологическое время. УФН, т.163, № 7, 1993, 111-113.
46. Веселов К.Е., Долицкая Т.В. Формирование земной коры континентов и океанов с позиций гипотезы расширяющейся Земли. В кн. Проблемы расширения и пульсации Земли. М.: Наука, 1984, с.159-165.
47. Веселов К.Е. Гравитационное поле и геологическое развитие Земли. – Сов. Геология, 1976, № 5, с.70-81.
48. Веселов К.Е. Изменение силы тяжести во времени и корпускулярная теория тяготения. В сб.: Прикладная геофизика, М.: Недра, 1977.
49. Веселов К.Е. Случайные совпадения или явления природы? Геофиз. Журн., № 3, 1981, с.50-61.
50. Визгин В.П. Идея множественности миров. – М.: Наука, 1988.
51. Винник Л.П. Сейсмическая эмиссия и сейсмическая голография. Физика Земли, № 8, 1989, с.108-111.
52. Витинский Ю.И. Солнечная активность. М.: Наука, 1983.
53. Вольвовский Б.С., Кунин Н.Я., Терехин Е.И. Краткий справочник по полевой геофизике. М.: Недра, 1977.
54. Военные обнаружили новый магнитный полюс Земли. <http://www.gazeta.ru/2002/02/12/last43349.shtml>
55. Вознесенский Е.А. Землетрясения и динамика грунтов. Соросовский образовательный журнал, 1998 г.
56. Гальперин Е.И., Ситников А.В., Кветинский С.И. и др. Опыт и результаты экспериментального изучения высокочастотных сейсмических шумов. Физика земли, № 10, 1989, с.98-109.
57. Геологический словарь. В двух томах. М.: Недра, 1973 г.
58. Геофизика океана. Геодинамика., М.: Наука, т.2, 1979, 416 с.
59. Гейзенберг В. Введение в единую полевую теорию элементарных частиц. М.: Мир, 1968.
60. Герценштейн М.Е., Пустовойт В.И. ЖЭТФ 16, 433,1962.
61. Гинзбург В.Л. Как устроена Вселенная и как она развивается во времени.- М.: Знание, 1968, 62 с.
62. Гинзбург В.Л. О теории относительности. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит, 1979, 38 с.
63. Голицын Г.С. Некоторые закономерности наведенной сейсмичности. Геофизика, ДАН СССР, т. 361, № 6, 1998, с.822-824.

64. Горелик И. Гравитационная постоянная. Массы Земли, Луны, Солнца. От 10 июля 1998 г. <http://webcenter.ru/~igorelic/gru.html>
65. Горелик Г.Е. Космология Дирака в историко-методологическом контексте (к статье Х.Крага). В кн. Поль Дирак и физика XX века. М.: Наука, 1990, с.92 – 94.
66. Гохберг М.Б., Адушкин В.В., Войтов Г.И. и др. О реакции свободных газов хибин на мощный промышленный взрыв. Геофизика, ДАН СССР, т. 308, № 5, 1989, с.1082-1087.
67. Гравиразведка. Справочник геофизика. /Под. ред Е.А.Мудрецовоу./- М.: Недра, 1981.
68. Гравитация и топология. Актуальные проблемы. Сб. статей. М.: Мир, 1966.
69. Гравитация. Проблемы и перспективы. Сб. трудов. Киев: Наукова Думка, 1972.
70. Грайзер В.М. Сейсмические данные об остаточных смещениях при взрывах и землетрясениях. Геофизика, ДАН СССР, т. 306, № 4, 1989, с.822-825.
71. Грайзер В.М., Кузнецов О.П., Недошивин Н.И., Султанов Д.Д. Об измерении наклона земной поверхности вблизи эпицентра взрыва. Геофизика, ДАН СССР, т. 305, № 2, 1989, с.314-318.
72. Грищук Л.П., Липуков В.М., Постков К.А., Прохоров М.Е., Сатьянрекаш Б.С. Гравитационно-волновая астрономия: в ожидании первого зарегистрированного источника. УФН, т.171, № 1, 2001, с.3-59.
73. Губерман Ш.А. Проверка прогноза землетрясений по D-волнам за 1978 – 1983 гг. Геофизика, ДАН СССР, т. 282, № 6, 1985, с.1330-1332.
74. Гущенко И.И. Извержения вулканов мира. Каталог. М.: Наука, 1979.
75. Дараган С.К. Лунные и сезонные вариации параметров сейсмических волн от подземных ядерных взрывов. Геофизика, ДАН СССР, т. 352, № 3, 1997, с.396-399.
76. Даглас Д.Х., Брагинский В.Б. В кн. Общая теория относительности, М.: Мир, 1983.
77. Делинжер П. Морская гравиметрия. М.: Недра, 1982.
78. Депонир. Ст. КазГосИНТИ 02.03.2000, Регистр. № 8755-Ка 00.
79. Деч В.Н., Кноринг Л.Д. Методы изучения периодических явлений в геологии. Л.: Недра, 1985.

80. Дикке Р. Влияние переменного во времени гравитационного взаимодействия на Солнечную систему. В кн. Гравитация и относительность. М.: Мир, 1965, с.251 – 294.
81. Дирак П.А. М. Космологические постоянные. В кн. Альберт Эйнштейн и теория гравитации. М.: Мир, 1979.
82. Дибай Э.А., Каплан С.А. Размерности и подобие астрофизических величин. М., Наука, 1977.
83. Дэвис П. Случайная Вселенная.- М.: Мир, 1985.
84. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1973.
85. Жуков А.И. Введение в теорию относительности. - М.: Гос. изд-во физ. мат. лит., 1961.-171 с.
86. Зайцев Н.А., Колесников С.М. Самосогласованное взаимодействие скалярного и тензорного гравитационных полей. В сб.: Проблемы теории гравитации и элементарных частиц. Вып.4., Под. Ред. К.П. Станюковича, М., Атомиздат, 1970, с.24.
87. Зайдель А.Н. Элементарные оценки ошибок измерений. – Л.: Наука, 1968, 96 с.
88. Захаров А.В. Макроскопические уравнения Эйнштейна для системы самогравитирующих частиц с точностью до членов второго порядка малости по взаимодействию. ЖЭТФ, т. 110, вып. 1(7), 1996, стр. 3-16.
89. Зверев С.М. Некоторые результаты ГСЗ в морских эпицентральных зонах. В кн.: Физические основания поисков методов прогноза землетрясений. – М.: Наука, 1970, с. 142-145.
90. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Релятивистская астрофизика. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит, 1967. 654 с.
91. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Строение и эволюция Вселенной. М.: Наука, 1975.
92. Зельдович Я.Б., и др. Пер. с англ. Крупномасштабная структура Вселенной, М.: Мир, 1981, 515 с.
93. Зельдович Я.Б. Вселенная. – Квант, № 3, 1984, с.2.
94. Зельдович Я.Б. Почему расширяется Вселенная. – Природа, №2, 1985
95. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Теория тяготения и эволюция звезд. М.: Наука, 1971.
96. Зельдович Я.Б. Современная космология. – Природа, 1983.
97. Зельников М.И., Муханов В.Ф. Спектр гравитационных волн в сценарии двойной инфляции. Письма в ЖЭТФ, т. 54, вып.4, 1991, с.201-204.



98. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. т. III, М.: Наука, 1972.
99. Иваненко Д. Актуальные проблемы гравитации. В кн. Гравитация и топология. М.: Мир, 1966, с.5-33.
100. Иваненко Д.Д., Фролов Б.Н. Деформация Земли и современная теория гравитации. В кн. Проблемы расширения и пульсации Земли. М.: Наука, 1984, с.93-97.
101. Иваненко Д.Д., Сагитов М.У. О гипотезе расширения Земли. Вестн. МГУ, Сер.3. Физика, астрономия, № 6, 1961, с.83-87.
102. Измайлов В.П., Карагиоз О.В., Кузнецов В.А., Мельников В.Н., Росляков А.Е. Временные и пространственные вариации измеряемых значений гравитационной постоянной. Измерительная техника, № 10, 1993, с 3-5.
103. Измайлов В.П., Карагиоз О.В., Пархомов А.Г. Исследования вариаций результатов измерений гравитационной постоянной. Физическая мысль России. № 12, 1999, с.20-26.
104. Ильичев В.И., Черепанов Г.П. О возможном инициировании сильного землетрясения при помощи взрыва. Геофизика, ДАН СССР, т. 315, № 3, 1990, с.576 – 579.
105. Исследования Акустико-Гравитационных волн. Восточно-Сибирский центр исследования ионосферы Земли (ЦКП ВСЦИИЗ). Институт Солнечно-Земной физики СО РАН. <http://rp.iszf.irk.ru/esceir/nr/agv.htm> (АГВ)
106. Йордан П. Геофизические следствия гипотезы Дирака. В кн. Гравитация и топология. М.: Мир, 1966, с.292 – 301.
107. Калинин М.И., Мельников В.Н. Возможные временные изменения фундаментальных «констант». В кн. Проблемы теории гравитации и элементарных частиц. Вып.6., М.: Атомиздат, 1975, с.70 – 82.
108. Карус Е.В., Кузнецов О.Л. Прогноз землетрясений. Серия: Физика Земли, т.6., М.: 1980, 182 с.
109. Карагиоз О.В., Измайлов В.П. Гравитационная постоянная G. Мировой Центр Данных по физике твердой Земли. М.:Россия. <http://zeus.wdcb.ru/wdcb/sep/GravConst/welcome.html>
110. Карагиоз О.В., Измайлов В.П., Кузнецов А.И. Методика и результаты исследований путей повышения точности гравитационной постоянной Кавендиша. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка, № 2, 1992, с.91-101.

111. Карагиоз О.В., Измайлов В.П., Силин А.А., Духовской Е.А. В кн. Всемирное тяготение и теории пространства и времени. М.: Издательство УДН, 1987, с.102-126.
112. Карагиоз О.В., Измайлов В.П. Измерение гравитационной постоянной крутильными весами. Измерительная техника. Исследование вариаций результатов измерений гравитационной постоянной. № 10, 1996, с.3-9.
113. Карташев И. Ученые не согласны с результатами измерения скорости гравитации. <http://www.compulenta.ru/2003/1/20/36895/>.
114. Каррыев Б.С., Курбанов М.К., Николаев А.В. и др. Динамический режим сейсмической эмиссии: хаос и самоорганизация. Геофизика, ДАН СССР, 1986, т. 290, №1, с.67-71.
115. Кедров О.К. Идентификация подземных взрывов и землетрясений по сейсмическим записям в телесеismicком диапазоне эпицентральных расстояний. Физика Земли, № 5, 1998, с.54-64.
116. Кедров О.К. О влиянии рыхлого слоя в эпицентре подземного ядерного взрыва на форму записи и частотный состав телесеismicких Р-волн. Геофизика, ДАН СССР, т.309, № 5, 1990, 1085 – 1090.
117. Кендал М. Дж., Стьюарт А. Многомерный статический анализ и временные ряды. М.:Наука, 1976, 736 с.
118. Киселев В.М. Неравномерность суточного вращения Земли. Новосибирск: Наука, 1980, 160 с.
119. Кип Торн. Черные дыры и гравитационные волны. Вестник Российской Академии Наук. т. 71, № 7, 2001, с. 587-590.
120. Китов И.О., Дараган С.К., Кузнецов О.П. Иерархическая структура геофизической среды и излучение сейсмических волн при подземных взрывах. Геофизика, ДАН СССР, т. 315, № 5, 1990, с.1090-1092.
121. Китов И.О. Энергия, высвободившаяся в афтершоковой последовательности взрыва. Геофизика, ДАН СССР, т. 315, №4, 1990, с.838 – 846.
122. Климшчик И.А. Релятивистская астрономия.- М.: Наука, 1983.
123. Колосницын Н.И., Патругин Е.А. Термодинамические ограничения в лазерно-интерферометрической гравитационной антенне. В кн.: Гравитация и гипотетические взаимодействия. М.: Университет Дружбы Народов, 1989, с.26-30.

124. Копвиллем У.Х. О возможности обнаружения гравитационных эффектов посредством сверхрассеяния. В кн. Гравитация, проблемы, перспективы. Киев: Наукова Думка, 1972, с.100 – 112.
125. Копп М.Л., Расцветов Д.М. О линеаментх, выявленных по космическим снимкам восточной части альпийского пояса. – Изв. ВУЗов. Геолог. и разв., № 11, 1976, с. 26-35.
126. Копп М.Л. О происхождении поперечных складчатых зон эпигеосинклинальных орогенических поясов (на примере восточной части альпийского пояса Евразии). – Геотектоника, № 2, 1979, с. 94-107.
127. Ковалевский И.В. Энергетические аспекты солнечно-земных связей. – В кн.: Результаты исследований по международным геофизическим проектам. – М.: Наука, 1976, 52 с.
128. Краг Х. Поль Дирак и космологическая теория. В кн. Поль Дирак и физика XX века. М.: Наука, 1990, с.78-91.
129. Крамаровский Я.М., Чечев В.П. Постоянны ли физические константы. М.: Природа, № 5, 1972, с.46-51.
130. Кропоткин П.Н. Возможная роль космических факторов в геотектонике. Геотектоника, 1978, № 6.
131. Кропоткин П.Н. Пульсационная геотектоническая гипотеза В.А.Обручева и мобилизм. В кн. Проблемы расширения и пульсации Земли. М.: Наука, 1984, с.24-33.
132. Кропоткин П.Н. Проблемы геодинамики. В кн.: Тектоника в исследованиях Геологического института АН СССР. М.: Наука, 1980, с.176-247.
133. Кропоткин П.Н. Трапезников Ю.А. Вариации угловой скорости вращения Земли, колебаний полюса и скорости дрейфа геомагнитного поля и их возможная связь с геотектоническими процессами. Изв. АН СССР, Сер. Геол., №14, 1963, с.32-50.
134. Ландау Л.Д. Квантовая теория поля. В сб. Нильс Бор и развитие физики. М., Изд-во иностр. Лит., 1958, с.75.
135. Ле Пишон К., Франшто Ж., Бонин Ж. Тектоника плит. М.: Мир, 1977.
136. Левин Дж., Левшенко В.Т., Садовский А.М. О некоторых особенностях регистрации землетрясений безинерционным сейсмометром. ДАН СССР, Геофизика, 1987, с.326-328.
137. Левин Б.В., Сасорова Е.В. Низкочастотные сейсмические сигналы как региональные признаки подготовки землетрясений. Вулканология и сейсмология, № 4-5, 1999, с.108-115.

138. Левин Б.В., Сасорова Е.В. Сейсмоволновой низкочастотный предвестник подготовки землетрясения. Вулканология и сейсмология. № 4-5, 1994, с 128-133.
139. Линьков Е.М., Петрова Л.Н., Осипов К.С. Сейсмогравитационные пульсации Земли и возмущения атмосферы как возможные предвестники сильных землетрясений. Геофизика, ДАН СССР, 1990, т. 313, № 5, 1990.
140. Линьков Е.М., Петрова Л.Н., Зурошвили Д.Д. Сейсмогравитационные колебания Земли и связанные с ними возмущения атмосферы. Геофизика, ДАН СССР, т. 306, № 2, 1989, с.314-317.
141. Линде А.Д., Фаломкин И.В., Хлопов М.Ю. Аннигиляция антипротонов в гелии как тест моделей, основанных на  $N = 1$  супергравитации. Сообщения объединенного института ядерных исследований. Дубна: 1984.
142. Линде А.Д. Калибровочные теории и переменность гравитационной постоянной в ранней Вселенной. Письма в ЖЭТФ, т. 30. вып.7, 1989, с.479-482.
143. Линде А.Д. Физика элементарных частиц и инфляционная космология. – М.: Наука, 1990.
144. Ляховец В.Д. Проблемы метрологического обеспечения измерений гравитационной постоянной. В кн. Проблемы современной физики. Алма-Ата: Гылым, 1995, 113 с.
145. Маженов Н. Уточненный закон всемирного тяготения Ньютона. Депонир. Ст. КазГосИНТИ 02.03.2000, Регистр. №8755-Ка 00.
146. Маламуд А.С., Николаевский В.Н. Распознавание промышленных взрывов и слабых землетрясений по их сейсмической энергии. Физика Земли, № 2, 2001, с.69-74.
147. Манк У., Макдональд Д. Вращение Земли. М.: Мир, 1964, 384 с.
148. Медведев С.В. Инженерная сейсмология. М.: Госстройиздат, 1962, 284 с.
149. Мельников В.Н. Метрологические аспекты гипотез и теорий, связывающих фундаментальные физические величины. В кн. Проблемы гравитации и элементарных частиц. Вып.7, М.: Атомиздат, 1976, с. 190-200.
150. Мехтиев Ш.Ф., Халилов Э.Н. Пространственно-временное распределение извержений вулканов как отражение пульсации Земли. Докл. АН Азерб. ССР, т.39, №11, 1983, с.76-80.

151. Мехтиев Ш.Ф., Халилов Э.Н. Как развивается Земля. (Гипотезы и факты). Баку: Знание, 1984, 72 с.
152. Мехтиев Ш.Ф., Халилов Э.Н. О возможности выявления связи извержений вулканов с активностью Солнца. Вулканология и сейсмология, № 3, 1985, с.64-67.
153. Мехтиев Ш.Ф., Хаин В.Е., Исмаил-Заде Т.А., Халилов Э.Н. Пространственно-временные закономерности вулканических извержений. Докл. АН СССР, т. 289, № 4, 1986, с.1462-1464.
154. Мехтиев Ш.Ф., Халилов Э.Н. Вулканизм и геодинамика. М.: Природа, № 3, 1987, с.46-49.
155. Мехтиев Ш.Ф., Халилов Э.Н. О периодичности вулканической активности. ДАН Азерб. ССР, т. XLIII, №11, 1987, с.35-39.
156. Мехтиев Ш.Ф., Халилов Э.Н. Отражение геодинамических процессов в пространственно-временном распределении извержений вулканов мира. Изв. АН Туркмен. ССР, серия геол., № 2, 1987.
157. Мехтиев Ш.Ф., Халилов Э.Н. Ритмы Земных катастроф. Баку: Элм, 1988, с.80-90.
158. Милановский Е.Е. Развитие и современное состояние проблем расширения и пульсаций Земли. В кн. Проблемы расширения и пульсации Земли. М.: Наука, 1984, с.8-24.
159. Милюков В.К. Изменяется ли гравитационная постоянная? М.: Природа, № 6, 1986, с. 96-104.
160. Мирзоев К.М., Негматуллаев С.Х. Влияние механических вибраций на сейсмичность. Геофизика, ДАН СССР, т. 313, №1, 1990, с.78-83.
161. Михайлов А.А. Земля и ее вращение. М.: Наука, 1984, 78 с.
162. Молоденский М.С., Молоденский С.М. О возможной связи изменений силы тяжести и скорости вращения Земли. Изв. АН СССР, Физика Земли, № 6, 1975, с.3-11.
163. Муратов М.В. Происхождение материков и океанических впадин. М.: Наука, 1975, 176 с.
164. Мурти Т.С. Сейсмические морские волны цунами. Л.: Гидрометеиздат, 1981, 448 с.
165. Нарликар Дж. Неистовая Вселенная. М.: Мир, 1985.
166. Нейман В.Б. О причинах ритмичности в природе, геологические и физико-математические аспекты. Математические методы анализа цикличности в геологии, №7, 1984, с.165-167.

167. Николаев А.В., Верещагина Г.М. Удаленные афтершоки землетрясений и подземных ядерных взрывов. Геофизика, ДАН СССР, т. 364, № 1, 1999, с.110-113.
168. Никишин А.М. Характер и масштаб проявлений расширения и сжатия в эволюции планетных тел солнечной системы. В кн.: Проблемы расширения и пульсации Земли. М.: Наука, 1984, с.61-72.
169. Николаев Н.И. Влияние инженерной деятельности человека на изменение режима эндогенных процессов. Изв. ВУЗов, Геол. и разведка, № 4, 1977, с.99-110.
170. Николсон И. Тяготение, черные дыры и Вселенная. М.: Мир, 1983 г., 240 с.
171. Новиков И.Д. Эволюция Вселенной.3-е, перераб. и доп. изд.- М.: Наука, 1990, 189 с.
172. Овчинников В.М., Пасечник И.П. Землетрясение, вызванное взрывом Болида в бассейне р.Чулым. Геофизика, ДАН СССР, т. 299, № 3, 1988, с.595-598.
173. Окунь Л.Б. Фундаментальные константы физики. УФН, т. 161, № 9, 1971, с.177-194.
174. Осипов В.И. Природные катастрофы на рубеже XXI века, Вестник Российской Академии Наук, т.71, № 4, 2001,с.291-302.
175. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. М.: Мир, 1982, 428 с.
176. Парийский Н.Н. Неравномерность вращения Земли. М.: АН СССР, 1954, 47 с.
177. Парийский Н.Н. О нерегулярных изменениях скорости вращения Земли и возможной связи их с деформациями Земли и изменениями силы тяжести. В кн.: Проблемы расширения и пульсации Земли. М.: Наука, 1984, с.84-93.
178. Парийский Н.Н. Неравномерность вращения Земли. Тр. Геофиз. ин-та АН СССР, Изд-во АН СССР, т.22, вып.2,1955.
179. Парийский Н.Н., Кузнецов М.В., Кузнецова Л.В. Влияние океанических приливов на вековое замедление вращения Земли. Изв. АН СССР, Физика Земли, № 2, 1972, с.3-12.
180. Парийский Н.Н. Нерегулярные изменения силы тяжести и вращения Земли. – Письма в Астроном. Журн., т.8, № 6, 1982, с.378-380.
181. Парийский Н.Н., Перцев Б.П., Крамер М.В. Влияние перераспределения атмосферных масс на значение силы тяжести. М.: Межвед. Геофиз. Ком. При Презид. АН СССР, 1983, 161 с.

182. Париж: Гравитационную постоянную измеряет ртуть.  
<http://anomalija.narod.ru/news/540.htm>
183. Петрова Л.Н., Савина Н.Г. Низкочастотный спектр Земли. Изучение строения Земли по сейсмологическим данным. Киев.: Наук. Думка, 1986, с.67-73.
184. Переворот в теории гравитации. Новости РУФОС: 21.10.02 06:36:55.  
<http://rufon.r2.ru/newsprint.php?mode=printversion&file=021021063655>
185. Пиблс П. Физическая космология. М.: Мир, 1975.
186. Писаренко В.Ф. Вычислительная сейсмология. М.: Наука, вып.10, 1973, с.118-149.
187. Поиски предвестников землетрясений. Баку: ИГ АНА, 1979, части 1 и 2.
188. Ранняя история Земли. М.: Недра, 1980, 620 с.
189. Раст Х. Вулканы и вулканизм. М.: Мир, 1982, 344 с.
190. Ротанова Н.М., Пушков А.Н. Глубинная электропроводность Земли. М.: Наука, 1982, 296 с.
191. Розенталь И.Л. Физические закономерности и численные значения фундаментальных постоянных. УФН, т. 131, вып.2, 1980, 238 – 256.
192. Розенталь И.Л. Геометрия, динамика, вселенная. Розенталь И.Л.; Ред. Линде А.Д. АН СССР, М.: Наука, 1987, 144 с.
193. Розенталь И.Л. Элементарные частицы и структура Вселенной. Розенталь И.Л., Ред. Подгорецкий М.И. АН СССР, М.: Наука, 1984, 112 с.
194. Руденко В.Н., Гусев А.В., Кравчук В.К., Виноградов М.П. Поиск астро-гравитационных корреляций. Письма в ЖЭТФ, том 118, вып.5, 2000, с.1-17.
195. Руссо П. Землетрясения. М., Прогресс, 1966.
196. Рыкунов Л.Н., Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В. Еще раз о модуляции региональных высокочастотных сейсмических шумов. Физика Земли, №12, 1989, с.94-99.
197. Рябов Ю.А. Движение небесных тел. М., Наука, 1988, 238 с.
198. Савина Н.Г., Типисев С.Я., Линьков Е.М., Яновская Т.Б. Наблюдения длиннопериодных колебаний Земли. Изв. АН СССР, Физика Земли, № 8, 1984, с.3-12.
199. Садовский М.А., Кедров О.К., Лаушкин В.А., Пасечник И.П. Сейсмический эффект подземных взрывов и проблема оценки полной энергии землетрясений. Геофизика, ДАН СССР, т. 281, № 4, 1985, с.825-829.

200. Сакс Р. Гравитационное излучение. В кн.: Гравитация и топология. М.: Мир, 1966, с. 84-151.
201. Сафронов В.С. Современное состояние теории происхождения Земли. Изв. АН СССР, Физика Земли, № 6, 1982, с.3-25.
202. Сажин М.В., Устюгов С.Д., Чечеткин В.М. Гравитационное излучение при взрывах сверхновых звезд. Письма в ЖЭТФ, том.64, вып.12, 1996, с.817-822.
203. Серебренников М.Г., Первозванский А.А. Выявление скрытых периодичностей. М.: Наука, 1965, 244 с.
204. Сидоренков Н.С. Неравномерность вращения Земли по данным астрономических наблюдений. – Астроном. Ж., т. 52, 1975, с.1108-1112.
205. Сидоренков Н.С. Неравномерность вращения Земли и движение полюсов. Природа, № 4, 1982, с.82-90.
206. Смирнов Л.С., Любина Ю.Н. О возможности изучения изменения силы тяжести с геологическим временем. ДАН СССР, т.187, № 4, 1969, с.874 – 877.
207. Соловьев С.Л. Некоторые статистические распределения землетрясений и тектоническое строение сейсмических зон. – Изв. АН СССР, сер. геофизика, № 1, 1961, с. 13-20.
208. Сорохтин О.Г. Глобальная эволюция Земли. М.: Наука, 1974.
209. Станюкович К.П. К вопросу о возможном изменении гравитационной постоянной. ДАН СССР, т. 147, № 6, 1962, с. 1348 – 1351.
210. Станюкович К.П. Гравитационное поле и элементарные частицы. М.: Наука, 1965.
211. Станюкович К.П. К вопросу о теории связи космологических и квантовых «констант». В сб. Теория относительности и гравитация. М.: Изд. МОИП, 1971, с. 3-19.
212. Станюкович К.П., Мельников В.Н. Гидродинамика, поля и константы в теории гравитации. М.: Энергоатомиздат, 1983, 254 с.
213. Стивен Хокинг. Краткая история времени от большого взрыва до черных дыр. Санкт-Петербург: Амфора, 2000, 268с.
214. Сытинский А.Д. О влиянии солнечной активности на сейсмичность Земли. ДАН СССР, т.208, 1973, № 5.
215. Тарасов Н.Т. Изменение сейсмичности коры при электрическом воздействии. Геофизика, ДАН СССР, т. 353, № 4, 1997, с.542-545.



216. Так ли постоянна гравитационная постоянная.  
[http://www.rol.ru/news/misc/spacenews/02/09/27\\_007.htm](http://www.rol.ru/news/misc/spacenews/02/09/27_007.htm)
217. Тейлор Э.Ф., Уилер Дж.А. Физика пространства – времени. М.: Мир, 1969.
218. Троицкий В.С. Об эволюции фундаментальных констант. Квантовая электроника. 14, № 9, 1987, с.1902 – 1903.
219. Успенский Г.Р. Космонавтика XXI - Гравитация-Гравитация вещества.1997,2000.  
<http://www.space21.boom.ru/PHTML/P1/p1.htm>
220. Фейнман Р. КЭД Странная теория света и вещества. М.: Наука, 1988, 144 с.
221. Федоров Ф.И. пер с итал. Астрофизика, кванты и теория относительности. - М: Мир, 1982, 550с.
222. Физический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1983, 928 с.
223. Филонович С.Р. Самая большая скорость. М.: Наука, 1983, 175 с.
224. Фокс С., Дозе К. Молекулярная эволюция и возникновение жизни. М.: Мир, 1975.
225. Хаин В.Е. Современные представления о механизме тектонических движений и деформаций. Известия ВУЗов, №2, 1984, с.8-12.
226. Хаин В.Е., Михайлов А.Е. Общая геотектоника. М.: Недра, 1985.
227. Хаин В.Е. Два главных направления о современных науках о Земле: ранняя история Земли и глубинная геодинамика. Вестн. Моск. Ун-та, геол., № 6, 1993, с.3-20.
228. Хаин В.Е. Основные проблемы современной геологии. М.: Наука, 1994.
229. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М.: МГУ, 1995, 479 с.
230. Хаин В.Е. Современная геология: Проблемы и перспективы. Соросовский образовательный журнал. Науки о Земле. 1996.
231. Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов (Год 2000). М.: Научный Мир, 2001, 604 с.
232. Хаин В.Е. Современная геодинамика: достижения и проблемы. М.: Природа, 2002, № 1, с.51-59.
233. Хаин В.Е., Халилов Э.Н., Исмаил-Заде Т.А. Периодичность активности вулканов разных геодинамических обстановок и возможная пульсация радиуса Земли. Пятое геофизическ.

- Чтения им. В.В.Федынского. Тез. Докл. 27 февр. – 01 марта 2003 г., с.145-146.
234. Халилов Э.Н. Опыт математической обработки данных стохастических систем в геологии (на примере сведений об извержениях грязевых вулканов). – ЭИ ВИЭМС, Отечеств. производств. опыт. Общ. и регион. геол. геологич. картирование. М., вып. 10, 1986с. 1-6.
235. Халилов Э.Н. Выявление некоторых особенностей вулканической активности по оценкам функций спектральных плотностей. Вулканология и сейсмология. М.: № 3, 1987, с.104-107.
236. Халилов Э.Н. Цикличность природных катаклизмов и некоторые проблемы гравитации (Под редакцией Академика Ш.Ф.Мехтиева). Баку: Гянджлик, 1989, 42 с.
237. Халилов Э.Н. Пространственно-временные закономерности современных проявлений вулканизма и сейсмичности и их связь с глубинными процессами. Автореферат диссерт. на соискание учен. степени док. геол.-мин. наук, М.: МГУ, 1989, 33 с.
238. Халилов Э.Н. Пространственно-временные закономерности современных геодинамических процессов. Азерб. Нефт. Хозяйство, № 6, 1998, с.1-7.
239. Халилов Э.Н. К вопросу о возможности взаимосвязи вариаций гравитационной постоянной с геодинамическими и космическими процессами. Новости геологии и геофизики. В сб. Материалы конференции. Баку, 28-30 октября 1999 г., т.2., Баку: Sada, 1999, с.3-40.
240. Халилов Э.Н. О некоторых результатах экспериментальных исследований гравитационных квантовых эффектов. В сб.: Материалы II межд. науч. прак. конференции. Значение снижения влияния чрезвычайных ситуаций на интенсивное развитие экономики страны. Баку: Элм, 2003, с. 63-66.
241. Халилов Э.Н. Новые данные о наличии зоны Бенъофа в Кавказско-Каспийском регионе. Azərbaycan Beynəlxalq Geofiziki konfrans, Bakı 19-21 oktyabr, 2000, с.240.
242. Халилов Э.Н. Детектор землетрясений. Патент № S 2002 0006 от 26.12.2002. Опубл. Евразийское Патентное Ведомство, 200100719, дата публикации 2002/10/31. Дата подачи заявки 2001/07/26.

243. Халилов Э.Н. О выявлении зоны Бенъофа на большом Кавказе и Каспии в свете новых данных. Азербайджанское Нефтяное хозяйство, № 2, 2001, с.51-54.
244. Халилов Э.Н. Некоторые аспекты среднесрочного прогноза сильных землетрясений в пределах Альпийско-Гималайской системы зон Бенъофа. Fizika Riyaziyyat yer elmləri, N1, 2001, s. 39-43.
245. Халилов Э.Н. К вопросу о корреляционных зависимостях вариаций гравитационной постоянной и сейсмической активности Земли. Азербайджанское нефтяное хозяйство, №10, 2002, с.54-59.
246. Халилов Э.Н. О происхождении нефти в акватории Каспия с позиций тектоники литосферных плит. Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, № 10, 1983, с.1-5.
247. Халилов Э.Н. Некоторые особенности цикличности природных катастроф. Proceedings of the scientific-practical Conference “Khazarneftgazyatag – 2002, Baku, 2002, p.29-34.
248. Халилов Э.Н. Пространственно-временные закономерности выделения сейсмической энергии в Альпийско-Гималайском складчатом поясе и возможности среднесрочного прогноза сильных землетрясений. АНХ, № 2, 2002 г., с.50-55.
249. Халилов Э.Н. К вопросу о корреляционных зависимостях вариаций гравитационной постоянной и сейсмической активности Земли. АНХ, № 2, 2002 г., с.54-59.
250. Халилов Э.Н. Новые данные о наличии зоны Бенъофа в Кавказско-Каспийском регионе (Представлено Академиком В.Е.Хаиным). ДАН РФ, 2003, т. 388, № 4, с.542-544.
251. Халилов Э.Н. О некоторых особенностях современной цикличности активизации магматических и грязевых вулканов мира. АНХ, № 6, 2003, с.54-56.
252. Халилов Э.Н. О возможном влиянии гравитационных волн на деформацию и сейсмичность Земли. Циркуляр Шамахинской Астрофизической Обсерватории № 105, 2003, с.13-21.
253. Халилов Э.Н. Устройство для регистрации гравитационных волн. Приоритетная справка, по заявке на изобретение № а 2003 0169 от 24.07.03.
254. Халилов Э.Н. Способ регистрации низкочастотных гравитационных волн и устройство для их измерения. Международная заявка на изобретение № PCT/ AZ03/00001.

255. Халилов Э.Н. Способ регистрации низкочастотных гравитационных волн, заявка на изобретение № а 20030179 от 04.08.03.
256. Хойл Ф. Галактики, ядра и квазары. М.: Мир, 1968.
257. Хокинг С. Природа пространства и времени. Ижевск: Науч. изд. центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2000, 160 с.
258. Чернин А.Д. Космический вакуум. УФН, т.171, № 11, с.1153-1175.
259. Чернин А.Д. Звезды и физика. М.: Наука, 1984, 160 с.
260. Чижевский А.Л. В ритме Солнца. М.: Наука, 1969, 105 с.
261. Чечев В.П., Крамаровский Я.М. Радиоактивность и эволюция Вселенной. М.: Наука, 1978.
262. Шалимов С.Л. О влиянии длиннопериодных колебаний Земли на верхнюю атмосферу. Физика Земли, № 7, 1992, с.89 – 94.
263. Шама Д.В. Современная космология: Пер. с англ. Шама Д.В.; Ред. Кардашов Н.С., М.: Мир, 1973, 254 с.
264. Шейдеггер А. Основы геодинамики. М.: Недра, 1987.
265. Шелест В.П. ред.: Гравитация. Проблемы. Перспективы, Киев: Наук. думка, 1972, 360 с.
266. Шнейер Р., Бассолото В., пер с англ. Наблюдательные основы космологии, М.: Мир, 1965, 369 с.
267. Шубин А.С. Курс общей физики. М.: Высшая школа, 1976.
268. Эйби Дж. А. Землетрясения. М.: Недра, 1982, 264 с.
269. Эйнштейн А., Инфельд А. Эволюция физики. М.: Наука, 1965, 326 с.
270. Эйби Дж. Землетрясения. М.: Недра, 1982, 264 с.
271. Яншин А.Л. О так называемых мировых трансгрессиях и регрессиях. Бюл. МОИП. № 2, 1977.
272. Aleksandrov A.D. The Spase-time of the Theory of relativity, Helvetica Physica Acta, Supplement, 4, 4, 1955.
273. Australian International Gravitational Observatory. (AIGO) <http://www.gravity.uwa.edu.au/AIGO/AIGO.html>
274. ASTROPHYSICAL CONSTANTS. <http://pdg.lbl.gov/2000/astrorpp.pdf>.
275. Barone M., G. Calamai, M. Mazzoni, R. Standa, F. Vetrano. World Scientific Publishihg, oct. 2000, 512 pp.
276. Behram N.Kursunoglu, Stephan L.Mintz, Arnold Perlmutter. Quantum Gravity, Generalized Theory of Gravitation and

- Superstring Theory-Based Unification. Kluwer Academic/Plenum Publishers Hardbound, November 2000, 248 pp.
277. Bruno Bertotti, F.de Felice, A. Pascolini. General Relativity and Gravitation. D.Reidel Publishing Company Hardbound, September 1984, 534 pp.
278. Blair, David G (Ed.) The Detection of Gravitational Waves. Cambridge, England: Cambridge University Press, 1991.
279. Blair, David G. and McNamara, Geoff. Ripples on a Cosmic Sea: The Search for Gravitational Waves. New York: Perseus, 1999, 224 pp.
280. Cavallo G. Interpretation of the Dirac Relationship between Fundamental Constants. "Nature", v.245,1973, p.99.
281. Ciulini I, Gorini V, Moschella U, Fre P. Gravitational wave Series in High Energy Physics, Cosmology and Gravitation IOP Publishing, Jan. 2000, 412 pp.
282. Chen W.Y., Stegen C.R. J. Geophys. Res., 79, 1974, p. 3019-3022.
283. Chao, B.F., Dehant V., Gross R.S., Ray R.D., Salstein D.A., Watkins M.M., Wilson C.R. Space Geodesy Monitors Mass Transports in Global Geophysical Fluids, in press, EOS, Trans. Amer. Geophys. Union, 2002 b.
284. Courtillot V., Le Moul L. J. Geophys. Res., 81, 1976, p. 2941-2950.
285. Cosmology and Gravitation. Kluwer Academic. Plenum Publishers, Hardbound, October 1980, 519 pp.
286. Cox C. and Chao B.F., Detection of large-scale mass redistribution in the terrestrial system since, 1998, Science, vol. 297, 2, August 2002, p. 831.
287. Currie R.G. South African Journal Science, 1973, 69, p.379-383.
288. De Witt B. "Phys. Rev. Lett.", v.13, 1964, p.114.
289. Dicke R.H. Phys. Rev., 125, 2163, 1962.
290. Dicke R.H. Nature, 194, 329, 1962.
291. Dirac P.A.M. Nature, 139, 323, 1937.
292. Dirac P.A.M. Proc. Roy. Soc., A165, 199, 1938.
293. Dirac P.A.M. Proc. Roy. Soc. Lond. A333, 403, 1937.
294. Dyson F. Gravity, Fondation Prize Essay, 1962.
295. Experimental physics of gravitational waves.
296. Einstein A. Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss., 1916, 688.
297. Einstein A. Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss., 1917, 142.
298. Einstein A. Über Gravitationwellen. Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss, 1, 1918, 154-167.

299. Einstein A. Théorie unitaire de champ physique. Ann. Inst. H. Poincare, 1, 1930, 1-24.
300. Einstein A. Einheitliche Theorie von Gravitation und Elektrizität. (Mit W.Mayer), Sitzungsber.preuss. Akad. Wiss. phys.-math. Kl., 1931, 541-557.
301. Excess of the duration of the day to 86400 s and angular velocity of the earth's rotation, since 1623. <http://www.iers.org/iers/earth/>.
302. Fujii Y. Dilaton and Possible non-newtonian gravity. – Nature, Phys, Sci, v.234, 1971, p.5-7.
303. Gamov G. Electricity, Gravity and Cosmology. “Phys. Rev. Lett.”, v.19, 1967, p.759.
304. GEO 600 Home Page (Hannover). <http://www.geo600.uni-hannover.de/>
305. Gravitational Waves at DAS. <http://www.das.inpre.br/~graviton/>
306. Grishchuk L.P., Lipunov V.M., Postnov K.A., Prokhorov M.E, Sathyaprakash B.S. Gravitational Wave Astronomy. In Anticipation of First Sources to be detected/ UFN, No 1 (astro-ph|0008481). 2001.
307. High Energy Physics, Cosmology and Gravitation IOP Publishing., Jan 2001, 412 pp
308. Hirshberg J. Upper Limit of the torque of the solar wind on the Earth, J. Geophys. Res., v.77, 1972, p.4855-4857.
309. Hoyle F., Burbidge G. and Narlikar V.J. Different approach to Cosmology. Cambridge University press, 2000, 357 p.
310. Hoyle F., Narlikar J.V. The Physics Astronomy Frontier. San Francisco^ W.H.Freeman, 29, 1980.
311. <http://www1.msfc.nasa.gov/NEWSROOM/news/releases/2002/02-html>
312. <http://bowie.gsfc.nasa.gov/926/highlight/j2dot.html>
313. <http://www.gsfc.nasa.gov/topstory/20020801gravityfield.html>
314. <http://www.aip.org/physnews/graphics/html/newgrav.html>
315. <http://gravity.uwa.edu.au/bar/bar.html>
316. <http://www.phy.cam.ac.uk/cavendish/view/index.asp?Picture=2>
317. <http://www.aps.org/meet/APROO/baps/vpr/layp11-03.html>
318. <http://the-nickel.h1.ru/album/nukes/065-1.htm>
319. International Gravitational Event Collaboration. <http://igec.lnl.infn.it/>
320. Ihmle P.F., Harabagia P., Jordan T.H. Science.1993, V.261. P.177.

321. Ihmle P.F., Jordan T.H. Teleseismic Search for Slow Precursors to Large Earthquake, Science. V.266, 1994, p.1547-1561.
322. Jens H. Gundlach and Stephen M. Merkowitz. Measurement of Newton's Constant Using a Torsion Balance with Angular Acceleration Feedback Department of Physics, Nuclear Physics Laboratory, University of Washington, Seattle, Washington 98195, December 10, 2001.
323. Jordan P. Recent Development in General Relativity, New York, 1962, p.289.
324. Jordan P. *Schwerkraft und Weltall*, Braunschweig, 1955.
325. Khalilov E.N. About some aspects of inconstancy of gravitational constant. В кн.: Третий сборник Азербайджанского палеонтологического общества. Баку: Седа, 1999, с.171-174.
326. Khalilov E.N. Some Features of Long-term Forecast on Regional Geodynamics. Geophysics'news in Azerbaijan, №1, Activity, 2000, 23-26 pp.
327. Khalilov E.N. Features of intermediate-term forecast of severe earthquakes in the Alpine-Himalayan seismic zone. Geophysics news in Azerbaijan, № 1, 2001, с.24-27.
328. Khalilov E.N., Khalilova T.Sh. Cyclicity of natural calamities and cosmic factors. In Proceedings Global conference: "Creation of lasting peace", Sao Paulo, Brazil, October 23-25, 2002, pp.372-378.
329. Khalilov E.N. The Earth is universal detector of gravitational waves. Proceedings International Symposium: Cyclicity and cosmological problems, Pirgulu, Y. Mamedaliyev settlement, 2-4 may 2003, pp.10-30.
330. Khalilov E.N. Doppler effects during passage of gravitational waves vid cosmic objects. Physics, mathematics, Earth science.№3, 2003,p.p48-56.
331. Khalilov E.N. About possible influence of super long gravitational waves on duration of terrestrial day. Proceedings International Symposium: Cyclicity and cosmological problems, Pirgulu, Y. Mamedaliyev settlement, 2-4 may 2003, pp. 123-137.
332. Khain V.Y., Khalilov E.N. About cyclic recurrence of global geodynamical processes. Proceedings International Symposium: Cyclicity and cosmological problems, , Pirgulu, Y. Mamedaliyev settlement, 2-4 may 2003, pp.91-100.
333. Kip S.Thorne, Black holes and time warps. Einstein's Outrageous Legacy. W.W.Nortonn company. New York-London, 1994, 619 p.

334. Kosenko D.I., Postnov K.A. Fluctuations of gravitational wave noise from unresolved extragalactic sources. *Astron. Astrophys.* V.355, 2000, p.1209 – 1213.
335. Long D.R. Experimental examination of the gravitational inverse square law. – *Nature*, v.260, 1976, p.1677 – 1680.
336. LISA – Детектор гравитационных волн от черных дыр. <http://www.univer.kharkov.ua/astron/sw/news/universe/lisa.htm>
337. Linde A. Inflation and Quantum Cosmology. Stanford University Preprint ITP-878, September 1990.
338. LSU Gravity: ALLEGRO Group. <http://gravity.phys.lsu.edu/>
339. Mbelek J.P., Lachieze-Rey M. Possible evidence from laboratory measurements for a latitude and longitude dependence of G. Service d’Astrophysique, C.E.Saclay F-91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France, April 19, 2002.
340. Milne E.A. *Proc. Roy. Soc.*, A158, 324, 1937.
341. MiniGRAIL Gravitational Radiation Antenna In Leiden. <http://www.minigrail.nl/main.html>
342. Morganstern R. Cosmological Upper Limit on Time Variation of G. “*Nature*”, v.232, 1971, p.109.
343. Morganstern R. Curved space Geophysical Bounds of the Time Variations of G of “*Nature Phys. Sciences.*” v.237, No, 74, 1972., p.70.
344. Munk W.H., Mc Donald G.J.F. *The Rotation of the Earth*, Cambridge, 1960.
345. NASA. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html>
346. Narlikar J.V. Lepton Creation and the Dirac Relationship between Fundamental Constants. “*Nature*”, v.247, 1974, p.99.
347. Narlikar J.V. *The Structure of the Universe.*- Oxford University Press, 1977.
348. Nolting F., Schurr J., Schlamminger St., and Kindig W. Determination of the gravitational constant G by means of a beam balance. Institute of Physics, University of Zurich, Zurich, Switzerland. *Europhysics News* 2000, Vol. 31 No.4, 2000.
349. Pariyskiy N.N. Irregular changes of gravity and rotation of the Earth. *Letters to the Astronomical Journal*, vol. 8, No. 6, 1982, p. 378-380.
350. Peter R Saulson. *Fundamentals of interferometric gravitational wave detectors.* World Scientific Publishing Co, Oct.1994, 316 pp.
351. Pochoda P., Schwarzschild M. “*Astrophys.J.*”, v.139, 1964, p.587.



352. Postnov K.A., Prokhorov M.E. Binary black hole formation and mergings. Rencontres de Moriond Workshop Series, vol. 34, World Publishers, Hanoi, 2000, p.113-118.
353. Publishing Co, Oct.2000, 512 pp.
354. Reid H.F. The mechanics of the earthquake. In.: The California Earthquake of April 18, 1906. Report of the State Earthquake Investigation Commission, 2. Carnegie Institution of Washington, Q.C., 1910, 192 pp.
355. Rudenko V.N. New approach to the gravitational wave experiment. In “Gravitational Waves and Experimental Gravity”. Moriond Workshop Series, vol. 34, 2000, p. 269-275.
356. Salam A., Strathdee J. Preprint IC/70/38, Trieste, 1970.
357. Salwi D.M. Large earthquakes wobble earth, Sci., Report., № 3, 1977, p.176-178.
358. Sánchez N, Zichichi A, de Sabbata V. Gravitational and Modern Cosmology Kluwer Academic. Plenum Publishers, Hardbound, 1992, 228 pp.
359. Sanjeev Dhurandhar, Thanu Padmanabhan. Gravitation and Cosmology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Hardbound, April 1997, 316 pp.
360. Sanders A., Deeds W.E. Phys. Rev. D., 1992, v.46, p.489. Stacey F.D., Tuck G.J. Geophysical evidence for non – newtonian gravity. Nature, v.292, 1981, p.230-238.
361. Satellite Laser Ranging and Earth Science. NASA Space Geodesy Program. [www.ilrs.gsfc.nasa.gov](http://www.ilrs.gsfc.nasa.gov)
362. Schuster A. On the investigation of hidden periodicities, Terrest, Magn, 3 , 1898, 13-14.
363. Schutz B.F. Gravitational wave data analysis. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop, Dyffryn House, St.Nicholas, Cardiff, Wales, july 6-9, 1987, Dept. of Applied Mathematics and Astronomy, University College, Cardiff, Wales, UK.
364. Schaffner S. John Michell and Black Holes, Journal for the History of Astronomy, 10, 42, 1979.
365. Schatzman E. Sur La nouveau regime de rotation de la Terre, etabli en juillet, 1959. Ann. Geophys., v.16, 1960, p.495-506.
366. Shapiro L.L., Smith W.B., Ash M. B. e.a. “Phys. Rev. Lett.”, v.26, 1971, p.27.
367. Shuster A. On the investigation of hidden periodicities, Terrest, Magn, 3, 1898, p.13-41.
368. Shuster A. The periodogram and its optical analogie, Roc. Roy. Soc, 77, 1906, p.136.

369. Shimshoni M., Dishon M. On the cause of sidereal periodicities in earthquake occurrences. – J. Geophys. Res., 80, № 32, 1975, p.4497-4498.
370. Shlien S. Earthquake – tide correlation. - Geophys. J.Roy, Astron. Soc., 28, N-1, 1972, p.27-34.
371. Simkin T. et al. Volcanoes of the World. Stroudsburg, Penn., USA: Hutchinson Ross Publ. Comp., 1981, 233 p.
372. Simpson I.F. Earth Planet. Sci. Lett. 3, 1968, p.147.
373. Simpson I.F. Earth tides a triggering mechanism for earthquakes. – Earth and Planetary Sc. letters, v.2, № 5, 1967, p.473-478.
374. Simpson I.F. Solar activity as a triggering mechanism for earthquakes. Earth and Planet. Sci. letter, 1968, v.3, № 5, p. 417-425.
375. Slaucitaja L., Observ. astr. nas. Plata.Ser.geophys., Affolter H.R., 1966, p.4
376. Slaucitajs L. Periodicities in geomagnetic secular variation at Hololulu. Hawaii Inst.Geophys. Univ., 6, 1966, p.1.
377. Smith W.D. 1974. The application of finite element analysis to body wave propagation problems. Geophys.J.R.Astron. Soc.42:747-768.
378. Smithson S.B. Modeling continental crust:structural and chemical constraints. Geophys.Res.Let., v.5, 1978, p.749-752.
379. Smithson S.B. Deep crustal structure and genesis from con – Johnson R.A., trasting reflections:an integrated approach Hurich C.A., Geophys. J.R. astr. Soc.(1987), 89, 67-72.
380. Spherical Antennae.  
[http://sam.phys.lsu.edu/Overview/spherical\\_antennas.html](http://sam.phys.lsu.edu/Overview/spherical_antennas.html)
381. Stacey F.D. Gravity. Sci. Progr. Oxf., 1984, v.69., p.1-17. Sakurai Y., Sein O., Shoichi, Chishi, Tadanao. Measurement of earth strains with a laser interferometer. “Jap.J.Appl.Phys.”, 15, N-9, 1976, 1859-1860.
382. Stokes G. Procued. Roy. Soc. 29, 122, 1877, p.303.
383. Stoyko A., Stoyko N. Roration de la terra, phenomenes geophysiques et activite du soleil. – Bull.Cl.Sci.Acad.Poy.Belg., t.55, 1969, p.279-285.
384. Stakhovsky I.R., Belousov T.P. Statistical relations between scaling characteristics of fault and seismic fields. Journal of Earthquake Prediction Research. V.5, № 4, 1996, pp.505-524.
385. Sytinaskiy A.P. Geomagn. Aeron. 3:120, 1963.
386. TAMA300 The 300m Laser Interferometer Gravitational Wave Antenna. <http://tamago.mtk.nao.ac.jp/>

387. Taxlon, Hulse R., Astron. J. Lett. 1955 L 51, 1975.
388. Takagi S. The earthquakes are not produced by occurrence of fault. "Pap.Meteorol.and Geophys", 25, № 2, 1974, p.111-123.
389. Teller E. On the change of Physical Constants. "Phys. Rev.", v.73, 1948, p.801.
390. Thorne K.S., in 300 years of Gravitation (Eds S.M. Hawking, W. Israel) Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1987.
391. Thorne, Kip S. and Kenan, William R. Gravitational Radiation: A New Window onto the Universe. Cambridge, England: Cambridge University Press, 1988.
392. Thorne K.S. in Proc. Conf. in Memory of Chandrasekhar ( Ed. R. Wall) ( Chicado: Univ. of Chicago Press, 1997 ).
393. The EXPLORER Gravitational Wave Antenna. <http://www.romal.infn.it/rog/explorer/explorer.html>
394. The indication the ory of the development of the earths, crust, Proc. 16<sup>th</sup> Intern.Geol.Congr.Washington, D.C., 2, 1933, p.965-982.
395. The NAUTILUS Gravitational Wave Antenna. <http://www.romal.infn.it/rog/nautilus/nautilus.html>
396. Ulrich T.I., Clayton R.W. Physics of Earth and Planetary Interiors., 12, 1976, p.188-200.
397. Ulrich T.I., Bishop T.N. Revs Geophys and space Phys., 13, 1975, p. 183-200.
398. USGS Earthquakes Hazards Program. Significant Earthquakes of the World for 1985–2000. [http://neic.usgs.gov/neis/eglists/sig\\_19....\\_\(1985-2003\)](http://neic.usgs.gov/neis/eglists/sig_19...._(1985-2003)). <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2001/081.pdf>
399. VIRGO Home Page. <http://www.virgo.infn.it/central.html>
400. Welcome to the AURIGA detector. <http://www.auriga.inl.infn.it/>
401. Weber J. Phys. Rev. Lett. 21, 1968, p.395.
402. Wilson I.T. Hypothesis of Earth's behavior. Nature, v. 198, 1963, p.925-929.
403. Zakharov A.F., Sazhin M.V. Gravitational lenses as natural amplifiers of gravitational radiation. In Proceedings of XXXIV Rencontres de Moriond "Gravitational Waves and Experimental Gravity". World Publishers, 2000, p. 269-275.

## ОСНОВНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О ЗЕМЛЕ

*Земля является третьей планетой от Солнца* и крупнейшей из 4-х внутренних планет, имеющих схожую с земной внутреннюю структуру. В процессе ее движения по орбите вокруг Солнца, плоскость земного экватора (наклоненная к плоскости орбиты на угол  $23^{\circ}45'$ ) перемещается параллельно самой себе таким образом, что в одних участках орбиты земной шар наклонен к Солнцу своим северным полушарием, а в других – южным. Это и является причиной смены времен года. Расстояние от Земли до Солнца в различных точках орбиты неодинаковые, в перигелии (3 января) оно приблизительно на 2,5 млн. км. меньше, а в афелии (3 июля) - на столько же больше среднего расстояния, составляющего 149,6 млн. км. Большую часть поверхности Земли занимает Мировой океан (361 млн. км.<sup>2</sup>, или 71%), суша составляет 149 млн.км.<sup>2</sup> (29%).

*Средняя глубина Мирового океана – 3 900 м.* Существование осадочных пород, возраст которых (по данным радиоизотопного анализа) превосходит 3,7 млрд. лет, служит доказательством существования на Земле обширных водоемов уже в ту далекую эпоху, когда, предположительно появились первые живые организмы. Форма Земли, как известно близкая к шарообразной, при более детальных измерениях оказывается очень сложной, даже если обрисовать ее ровной поверхностью океана (не искаженной приливами, ветрами и течениями). Такая поверхность называется геоидом. Геоид (с точностью порядка сотен метров) совпадает с эллипсоидом вращения, экваториальный радиус которого 6 378 км., а полярный радиус на 21,38 км. меньше экваториального. Разница этих радиусов возникла за счет центробежной силы, создаваемой суточным вращением Земли.

*Одна из особенностей Земли как планеты - ее магнитное поле,* благодаря которому, мы можем пользоваться компасом. Магнитный полюс Земли, к которому притягивается северный конец стрелки компаса, не совпадает с Северным географическим полюсом, а находится в пункте с координатами приблизительно  $76^{\circ}$  с.ш.  $101^{\circ}$  з.д. Магнитный полюс, расположенный в южном полушарии Земли, имеет координаты  $66^{\circ}$  ю.ш. и  $140^{\circ}$  в.д. (в Антарктиде). Кроме того, ось магнитного поля проходит не через центр Земли, а в стороне от него на 430 км. Магнитное поле Земли несимметрично. Под действием

исходящего от Солнца течения плазмы (солнечного ветра), магнитное поле Земли искажается и приобретает "шлейф" в направлении от Солнца, который простирается на сотни тысяч километров.

***Полюса нашей планеты постоянно находятся в движении.***

Объясняется это не только прецессией оси гироскопа. Наша планета окружена обширной атмосферой, которая благодаря присутствию небольшого озонового слоя, нейтрализует опасное для жизни коротковолновое солнечное и космическое излучение. Из-за содержащегося в атмосфере углекислого газа, на нашей планете, имеет место парниковый эффект. Он проявляется не так сильно, как на Венере, но все же поднимает среднюю (равновесную) температуру на Земле с теоретических минус 23 до плюс 15. Действуя подобно хорошей одежде, атмосфера оберегает земную поверхность и от температурных перепадов. В отсутствие атмосферы в некоторых точках Земли температура в течение суток колебалась бы между 160-ю тепла и 100 градусами мороза.

***Основными газами, входящими в состав нижних слоев атмосферы Земли,*** являются азот (~78%), кислород (~21%) и аргон (~1%). Других газов в атмосфере Земли очень мало, например, углекислого газа около 0,03%. Атмосферное давление на уровне поверхности океана составляет при нормальных условиях ~0,1 МПа. Полагают, что земная атмосфера сильно изменилась в процессе эволюции: обогатилась кислородом и приобрела современный состав в результате длительного химического взаимодействия с горными породами и при участии биосферы, то есть растительных и живых организмов.

***Принято считать, что древняя атмосфера произошла*** из газообразных продуктов вулканических извержений; о ее составе судят по химическому анализу образцов газа, "замурованных" в полостях древних горных пород. В исследованных образцах, возраст которых более 3,5 млрд. лет, содержится приблизительно 60% углекислого газа, а остальные 40% - это соединения серы (сероводород и сернистый газ), аммиак, а также хлористый и фтористый водород. В небольшом количестве были найдены азот и инертные газы. Доказательством того, что в земной атмосфере в течение первых 4 млрд. лет ее существования не было свободного кислорода, являются обнаруженные в геологических пластах соответствующего возраста чрезвычайно легко

окисляемые, но не окисленные вещества такие, как сернистый натрий. Кислород, который выделялся в ничтожном количестве из водяного пара под действием солнечного облучения, полностью затрачивался на окисление содержащихся в атмосфере горючих газов: аммиака, сероводорода, а также, вероятно, метана и окиси углерода. В результате окисления аммиака освобождался азот, который постепенно накапливался в атмосфере. 600 млн. лет назад количество свободного кислорода в земной атмосфере достигло 1% от его современного содержания. В это время уже существовало значительное число различных примитивных одноклеточных живых организмов. Около 400 млн. лет назад, содержание свободного кислорода в земной атмосфере, стало быстро увеличиваться, благодаря широкому распространению зарослей крупных растений, характерных для этой эпохи.

**В результате естественного распада радиоактивных элементов** и некоторых других процессов, в недрах Земли, в течение долгого времени, выделялась и накапливалась тепловая энергия. Это привело к сильному разогреву и частичному расплавлению вещества в недрах и к постепенному формированию и росту центрального ядра из наиболее тяжелых элементов и наружной коры из менее плотных веществ.

**О внутреннем строении Земли,** прежде всего, судят по особенностям прохождения сквозь различные слои Земли сейсмических волн, возникающих при землетрясениях или взрывах. Ценные сведения дают, также изменения величины теплового потока, выходящего из недр, результаты определений общей массы, момента инерции и полярного сжатия нашей планеты.

**Масса Земли** найдена из экспериментальных измерений физической постоянной тяготения и ускорения силы тяжести (на экваторе ускорение силы тяжести равно 978,05 гал; 1 гал =  $1 \text{ см}/\text{с}^2$ ). Для массы Земли получено значение  $5,976 \cdot 10^{24}$  кг., что соответствует средней плотности вещества  $5517 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Определено, что средняя плотность минералов на поверхности Земли, приблизительно вдвое меньше средней плотности Земли. Из этого следует, что плотность вещества в центральных частях планеты, выше для всей Земли. Полученный из наблюдений момент инерции Земли, который сильно зависит от распределения плотности вещества вдоль радиуса Земли,

свидетельствует также о значительном увеличении плотности от поверхности к центру.

**Поток тепла из недр**, различных в разных участках поверхности Земли, в среднем близок к  $1,6 \cdot 10^{-6}$  кал·см<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup>, что соответствует суммарному выходу энергии  $10^{28}$  эрг в год. Поскольку тепло, может передаваться только от более нагретого к менее нагретому веществу, температура вещества в недрах Земли, должна быть выше, чем на ее поверхности. Действительно, согласно измерениям, проведенным в шахтах и буровых скважинах, температура повышается приблизительно на 20° на каждый километр глубины. У нижней границы мантии давление достигает 130 ГПа, температура там не выше 5 000К. В центре Земли температура, возможно, поднимается до 10 000К.

**Собственные колебания Земли.** В 1911 году математик Ляв (Love), вычислил период собственных колебания стального шара, размером с Землю. Оказалось, что он будет равен одному часу. Первые собственные колебания Земли с периодом 57 мин, обнаружены Беньюффом в 1952 году, после землетрясения на Камчатке. Зарегистрированы колебания Земли, с периодом 54 мин, после чилийского землетрясения в 1960 году. Поскольку Земля - не однородный стальной шар, а имеет значительно более сложное строение, то и собственные колебания, имеют достаточно богатый спектр.

**Существуют два типа собственных колебаний упругого шара**, которые называют модами. Сфероидальные колебания, дают моду **S** (с периодом 54 мин, что на 6 мин, меньше теоретического значения, полученного Лявом. Это отличие указывает, прежде всего, на отличие Земли от однородного стального шара.), а крутильные колебания - моду **T**. Этому крутильному колебанию, соответствует только одна поверхность, секущая поверхность Земли по экватору. При этом северное и южное полушария, смещаются в противоположные стороны. Среди других мод (своего рода гармоник), существуют и такие, период которых значительно отличается от теоретического. Собственные колебания - прекрасный материал для тестирования принятой модели Земли. Они могут быть вычислены заранее, теоретически. С другой стороны, - получены путем наблюдений, с использованием, например, того факта, что сила тяжести зависит от

высоты точки, где она наблюдается. Вертикальный градиент силы тяжести составляет приблизительно 300 мкГал/м. Заметим, что 1 мкГал составляет приблизительно  $10^{-9}$ g. Изменение высоты всего на 1 мм, вызывает изменение силы тяжести на 0,3 мкГал. Сейчас существуют приборы, способные зарегистрировать значительно меньшие изменения силы тяжести - это криогенные гравиметры. Сопоставление теоретических и наблюдательных данных, дает основание принять решение о правильности или ошибочности принятой модели. На основе всего комплекса современных научных данных и построена модель внутреннего строения Земли, которая хорошо удовлетворяет измеренным значениям всех перечисленных выше параметров.

### **МОДЕЛЬ СТРОЕНИЯ ЗЕМЛИ ( ПО БУЛЛЕНУ)**

Зона	наименование слоя	глубина (км)	плотность (г/см <sup>3</sup> )
A	кора	35	3,2
B	силикаты	400	3,5
C	фазовые переходы	900	4,0
D	нижняя мантия	2700	5,0
D'	переходная зона	2883	
E	внешнее ядро	4980	10-11
F	переходная зона	5120	
G	внутреннее ядро	6371	12

Зоны B и C образуют так называемую *верхнюю мантию*, а зона D - нижнюю мантию. Мантия Земли состоит из силикатных пород. По мере увеличения давления и температуры в веществе происходят фазовые переходы: определенные виды пород из твердой фазы переходят в жидкую. Такие фазовые переходы отмечены в зоне C и в зоне D'. Причем, в последнем случае, весь металл выплавляется и внешнее ядро (зона E) целиком состоит из расплавленного металла. Через эту зону поперечные волны не проходят, так как модуль сдвига равен нулю. В переходной зоне F, жидкая фаза металла переходит в твердую фазу и внутреннее ядро, состоит из твердого металла с плотностью 12. Но полагают, если изменить физические условия и



поместить этот металл в условия "нормальной" температуры и давления, то его плотность окажется равной 7.

**Твердая оболочка Земли называется литосферой.** Литосфера Земли, состоит из нескольких крупных блоков - литосферных плит, медленно перемещающихся одна относительно другой в горизонтальной плоскости. По их границам концентрируется подавляющее большинство очагов землетрясений. Верхний слой литосферы - эта земная кора, минералы которой состоят преимущественно, из окислов кремния и алюминия, окислов железа и щелочных металлов. Земная кора имеет неравномерную толщину: 35-65 км. на континентах и 6-8 км. под дном океанов.

**Верхний слой земной коры состоит из осадочных пород,** нижний - из базальтов. Между ними находится слой гранитов, характерный только для континентальной коры. Под корой расположена, так называемая мантия, имеющая иной химический состав и большую плотность. Граница между корой и мантией называется *поверхностью Мохоровичича*. В ней скачкообразно увеличивается скорость распространения сейсмических волн.

На глубине 120-250 км. под материками и 60-400 км., под океанами, залегает слой мантии, называемой астеносферой. Здесь вещество находится в близком к плавлению состоянию, вязкость его сильно понижена.

Все литосферные плиты, как бы плавают в полужидкой астеносфере, как льдины в воде. Более толстые участки земной коры, а также участки, состоящие из менее плотных пород, поднимаются по отношению к другим участкам коры. В то же время, дополнительная нагрузка на участок коры, например, вследствие накопления толстого слоя материковых льдов, как это происходит в Антарктиде, приводит к постепенному погружению участка. Такое явление называется изостатическим выравниванием.

Ниже астеносферы, начиная с глубины около 410 км, "упаковка" атомов в кристаллах минералов уплотнена под влиянием большого давления. Резкий переход обнаружен сейсмическими методами исследований в 1906 м году на глубине 2880 - 2 920 км. Выше этой отметки плотность вещества составляет  $5\,560 \text{ кг/м}^3$ , а ниже ее -  $10\,080 \text{ кг/м}^3$ . Здесь начинается земное ядро, или, точнее говоря,

внешнее ядро, так как в его центре находится еще одно- внутреннее ядро, радиус которого 1 250 км. С существованием жидкого внешнего ядра связывают происхождение магнитного поля Земли.

Граница раздела внешнего ядра характерна тем, что на ней резко падает скорость продольной волны от 13,6 км/с до 8,1 км/с. Поперечная волна вообще через внешнее ядро не проходит, что говорит о том, что оно жидкое. Твердое, внутреннее ядро обнаружила Леман (Дания) в 1936 году. Она показала, что оно расположено на глубине приблизительно равной 5000 км

**Гравитационные аномалии.** Термин *аномалии* означает отклонения от некоторой "нормы", т.е. значения, которое можно предсказать, вычислив его по формуле. Вычисленное значение силы тяжести, называют "нормальным", а наблюдаемое - аномальным. Если принять Землю равновесным эллипсоидом вращения, со сжатием, вычисленным по спутниковым данным 1 : 298,256, то значение силы тяжести, можно вычислить по формуле, принятой Международным Геофизическим и Геодезическим союзом на своей Генеральной Ассамблее в августе 1971 года.

Известно, что сила тяжести, зависит от высоты точки наблюдения. Наблюдения производятся, в крайнем случае, на уровне моря, то есть на высоте, равной нулю. Все сухопутные определения силы тяжести выполняются на разных высотах. Так как поверхность эллипсоида не совпадает с поверхностью уровня моря, поэтому развита теория приведения гравитационной аномалии (редукции) к одной и той же поверхности. Кроме того, сила тяжести зависит и от масс, лежащих между эллипсоидом и геоидом. Чтобы учесть и эти факторы, развита теория геологических редукций. В таком случае, вместе с гравитационными аномалиями, обязательно должен указываться и вид редукций, с которыми данная аномалия вычислена. Существуют аномалии *в свободном воздухе*, аномалии *Фая*, аномалии *Буге*, изостатические аномалии и т. п.

Гравитационные аномалии на Земле, как правило, меньше 100 мГал ( $1\text{Гал} = 1\text{см}/\text{с}^2$ ), их среднеквадратическая вариация по Земле, составляет величину около 20 мГал. Следовательно, гравитационное поле Земли достаточно гладкое. Для экстремальных условий (островные дуги, глубоководные впадины), гравитационные аномалии достигают величины 400 мГал, что в 12,5 раз меньше разницы в

значениях силы тяжести на полюсе и экваторе и составляют всего 0,04% от величины силы тяжести. Потому для получения данных, по которым можно судить о внутреннем строении нашей планеты, необходимо изучать аномалии на уровне не только миллигалов, но и микрогалов, чего и добиваются геофизики. Другой характеристикой гравитационного поля является отклонение отвесной линии (вертикали) от нормали к эллипсоиду. Это отклонение невелико и составляет секунды дуги. Геодезические работы в Индии близ горного массива Гималаев показали, что координаты астрономических пунктов из-за отклонений отвесной линии, отличаются от геодезических на 5,2", тогда как вычисленное отклонение, связанное с притяжением гор, составляет 27,9". Для объяснения этого явления английский геодезист Пратт высказал мысль, что под горами плотность пород гораздо меньше, чем у коренных породы под равнинами. Иными словами, если все породы разбить на блоки, то плотность этих блоков, должна зависеть от их толщины: чем толще блок, тем меньше плотность. При этом, вес всех блоков на некоторой поверхности, называемой *поверхностью компенсации*, один и тот же. Вся земная кора, таким образом, находится в равновесии. Эта гипотеза Пратта получила название *изостатической*. Французский геодезист Эри, предложил более правдоподобную схему: земные блоки по Эри подобно айсбергами на море плавают на более плотной, но и более пластичной среде - верхней мантии. В этом случае, так же как и у айсбергов, должна образоваться под горными массивами "подводная часть" с плотностью, меньшей, чем плотность вмещающих пород. Таким образом, эффект гравитационной компенсации должны создавать *корни гор*, существование которых сейсмологи подтверждают.

### СТРОЕНИЕ И СОСТАВ ЗЕМЛИ

<i>Слой</i>	<i>Толщина</i>	<i>Состав</i>
<i>Кора</i>	<i>6-40 км</i>	<i>Твердые кремниевые породы</i>
<i>Мантия</i>	<i>2800 км</i>	<i>В основном, твердые кремниевые породы</i>
<i>Внешнее ядро</i>	<i>2300 км</i>	<i>Расплавленные железо и никель</i>
<i>Ядро (радиус)</i>	<i>1200 км</i>	<i>Твердые железо и никель</i>

Геофизики применяют все доступные им методы для изучения глубинного строения Земли, прежде всего сейсмологический и

гравиметрический. По современным представлениям, земная кора имеет разную толщину в разных регионах. В горах, толщина ее достигает 60 и более километров. Состоит она из разных слоев. Большой объем занимают кислые (гранитные) породы с плотностью 2,67. Равнины покрыты осадочными породами, толщиной несколько километров и с плотностью 2,2. Ниже этих слоев лежат основные породы - базальты с плотностью 2,8. Толщина коры для равнинных регионов равна 30 км. Горные районы и равнины образуют основные морфологические особенности континентов. При переходе к океану, гранитный слой постепенно выклинивается, а осадочные породы, покрывают на абиссальных котловинах, в основном, базальтовые породы. При этом, толщина коры становится меньше и, в среднем, составляет 10-15 км. Особенно тонкой кора становится в глубоководных впадинах (4-5 км).

## **ОСНОВНЫЕ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕРМИНЫ**

**АКУСТИКО - ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ (АГВ)** представляют собой распространение в атмосфере и ионосфере волнообразных возмущений естественного и искусственного происхождения. Примером естественных возмущений являются АГВ, распространяющиеся из авроральной области в средние широты.

В период возмущений в высоких широтах АГВ дают косвенную информацию о происходящих там процессах. Эти волны генерируются в области полярного овала и распространяются под углом  $\approx 45$  градусов с северо-запада на юго-восток в утреннем секторе и с северо-востока на юго-запад в вечернем секторе. При этом, в случае достаточно высокой концентрации электронов, вариации фазы Фарадеевских замираний, являются более чувствительным индикатором возмущений и дают лучшее пространственно-временное разрешение. В период высокой солнечной активности, возмущения такого типа наблюдаются достаточно регулярно.

Аналогичный тип волновых ионосферно-атмосферных возмущений также называют **внутренними гравитационными волнами (ВГВ)**. Ряд исследователей считают, что ВГВ могут вызываться волновыми явлениями в литосфере Земли, в частности, так называемыми сейсмогравитационными волнами (см. сейсмогравитационные волны).

Несмотря на некоторое сходное созвучье, АГВ и ВГВ с гравитационными волнами, этот тип волн по своей природе не имеет никакого отношения к гравитационным волнам, предсказанным А.Эйнштейном.

**ГЕОДИНАМИКА** – наука о процессах развития твердой Земли. Процессы эти носят характер, с одной стороны, физико-химических преобразований, а с другой - механических, в широком смысле, движений и деформаций.

**ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ** – процессы в твердой Земле физико-химического и механического характера, отражающие пространственно-временную динамику различных энергетических проявлений в Земле, например, деформации земной

коры, конвективные потоки в мантии, движения литосферных плит, землетрясения и извержения вулканов и т.д.

**ГИПОЦЕНТР ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ (фокус землетрясения)**  
- центр очага землетрясения (см. очаг землетрясения).

**ГРАВИТАЦИОННАЯ ПОСТОЯННАЯ** – обозначается буквой  $G$ , коэффициент пропорциональности в законе тяготения Ньютона. Как известно, между двумя массами по 1 кг каждая, удаленными на расстоянии 1 м друг от друга, существует сила притяжения, вызывающая у каждой массы ускорение, равное  $6,667 \times 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}$  и направленное от одной массы к другой. Это значение и является гравитационной постоянной  $G$ .

**ГРАВИТАЦИОННАЯ ЭНЕРГИЯ** – гравитационная энергия тел, обусловленная их гравитационным взаимодействием. Термин «гравитационная энергия» широко применяется в астрофизике. Гравитационная энергия какого-либо массивного тела (звезды, облака межзвездного газа), состоящего из частиц, взаимодействующих с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния, в 2 раза больше по абсолютному значению кинетической энергии поступательного теплового движения частиц тела (это следует из так называемой теоремы вириала).

**ГРАВИТАЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ** – универсальное, присущее всем видам материи, взаимодействие, самое слабое из фундаментальных взаимодействий элементарных частиц; имеет характер притяжения.

**ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ (ПОЛЕ ТЯГОТЕНИЯ)** – физическое поле, создаваемое любыми физическими объектами; через гравитационное поле осуществляется гравитационное взаимодействие тел.

**ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ** – переменное гравитационное поле, свободно распространяющееся в пространстве со скоростью света и проявляющееся в возникновении относительных ускорений тел. Гравитационные волны крайне слабо взаимодействуют с веществом, и считается, что в настоящее время они не обнаружены с высокой степенью достоверности. Гравитационные волны были предсказаны А.Эйнштейном в 1916

году в работе по общей теории относительности. В январе 2003 года Эд Фомаломом из Национальной радиоастрономической обсерватории США в г. Шарлоттсвилль (Штат Виржиния) и Сергеем Копейкиным из университета Миссури, было впервые экспериментально установлено, что скорость гравитационного взаимодействия равна скорости света, что также было предсказано Альбертом Эйнштейном. Поскольку непосредственно измерить скорость распространения гравитационных волн, в настоящее время, технически не представляется возможным, С.Копейкин с помощью математического аппарата теории относительности, получил выражение, описывающее гравитационное поле движущегося тела через его массу, скорость движения и скорость распространения гравитационных волн. В результате оказалось возможным определить скорость передачи гравитации, измеряя гравитационное поле массивного небесного тела (планеты Юпитер), скорость орбитального движения которого и масса известны / New Scientist, 2003/.

**ГРАВИТАЦИОННЫЙ КОЛЛАПС** – катастрофически быстрое сжатие массивных тел под действием гравитационных сил. Гравитационным коллапсом может заканчиваться эволюция звезд с массой свыше двух солнечных масс. После исчерпания в таких звездах ядерного горючего они теряют свою механическую устойчивость и начинают с увеличивающейся скоростью сжиматься к центру. Если растущее внутреннее давление останавливает гравитационный коллапс, то центральная часть звезды становится сверхплотной нейтронной звездой, что может сопровождаться сбросом оболочки и наблюдаться как вспышка сверхновой звезды. Однако, если радиус звезды уменьшился до значения гравитационного радиуса, то никакие силы не могут воспрепятствовать ее дальнейшему сжатию и превращению в черную дыру.

**ГРАВИТАЦИОННЫЙ РАДИУС** - в теории тяготения гравитационный радиус сферы ( $r_{zp}$ ), на которой сила тяготения, создаваемая массой  $m$ , лежащей внутри этой сферы, стремится к бесконечности;  $r_{zp} = 2mG/c^2$ , где  $G$  – гравитационная постоянная,  $c$  – скорость света в вакууме. Гравитационные радиусы обычных небесных тел ничтожно малы. Например, для Солнца гравитационный радиус равен 3 км, для Земли – 0,9 см. Если тело сожмется до размеров, меньших его гравитационного радиуса, то

никакое излучение или частицы не смогут преодолеть поле тяготения и выйти из под сферы радиуса  $r_{zp}$  к удаленному наблюдателю. Такие объекты называют черными дырами.

**ГРАВИТОН** – квант гравитационного поля, имеющий нулевую массу покоя, нулевой электрический заряд и спин. Экспериментально пока не обнаружен.

**ДЕТЕКТОР ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН** – прибор, предназначенный для регистрации гравитационных волн. Впервые детектор гравитационных волн, был построен и введен в действие Дж.Вебером из Мэрилендского университета. Существует несколько типов детекторов гравитационных волн, использующих различные физические принципы, в числе которых: резонансные детекторы, наземные лазерные интерферометры, космические лазерные интерферометры, сферические детекторы и торсионные детекторы (детектор Халилова). Описание принципов действия данных детекторов приведены в настоящей монографии.

**ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ КАРТИНА** - регулярное чередование областей повышенной и пониженной интенсивности света, получающееся в результате наложения *когерентных* световых пучков, т.е. в условиях постоянной (или регулярно меняющейся) разности фаз между ними. Для сферической волны, максимальная интенсивность, наблюдается при разности фаз, равной четному числу полуволн, а минимальная – при разности фаз, равной нечетному числу полуволн.

**ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ВОЛН** – сложение в пространстве двух или нескольких волн, при котором в разных его точках получается усиление или ослабление амплитуды результирующей волны. Интерференция характерна для волн любой природы. При интерференции волн, результирующее колебание в каждой точке, представляет собой геометрическую сумму колебаний, соответствующих каждой из складывающихся волн. Этот так называемый *суперпозиции принцип*, соблюдается обычно с большой точностью. Интерференция волн возможна, только в случае, если они *когерентны*.

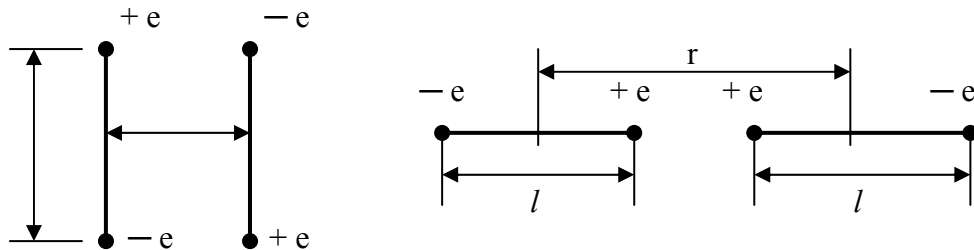
**ИНТЕРФЕРОМЕТР** – измерительный прибор, основанный на *интерференции волн*. Существуют интерферометры для звуковых волн и для электромагнитных волн (оптических и радиоволн).



Оптические интерферометры применяются для измерения оптических длин волн спектральных линий, показателей преломления прозрачных сред, абсолютных и относительных длин объектов, угловых размеров звезд, для контроля качества оптических деталей и т.д.

Принцип действия всех интерферометров одинаков и они различаются лишь методами получения когерентных волн и тем, какая величина непосредственно измеряется. Пучок света, с помощью того или иного устройства, пространственно разделяется на два или большее число когерентных пучков, которые проходят различные оптические пути, а затем сводятся вместе, и наблюдается результат их интерференции. Вид интерференционной картины, зависит от способа разделения пучка света на когерентные пучки, от числа интерферирующих пучков, оптической разности хода, относительной интенсивности, размеров источника, спектрального состава света.

**КВАДРУПОЛЬ** – электрически нейтральная система заряженных частиц, которую можно рассматривать как совокупность двух диполей с равными по величине, но противоположными по знаку дипольными моментами, расположенных на некотором расстоянии  $r$  друг от друга. Основная характеристика квадруполя - его квадрупольный момент  $Q$  (для квадруполей, изображенных на рисунке,  $Q = 2el_a$ , где  $e$  – абсолютная величина электрического заряда,  $l$  – размер диполей).



**Примеры относительного расположения диполей в квадруполе.**

На больших расстояниях  $R$  от квадруполя, напряженность электрического поля  $E$ , убывает обратно пропорционально  $R^4$ , а зависимость  $E$ , от зарядов и их расположения, описывается в

общем случае, набором из пяти независимых величин, которые вместе составляют квадрупольный момент системы.

**КВАДРУПОЛЬНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ** – взаимодействие систем заряженных частиц, обусловленное наличием у этих систем квадрупольного момента.

Квадрупольное взаимодействие существенно для взаимодействия атомов на больших расстояниях, если квадрупольный момент обоих атомов отличен от нуля. Энергия квадрупольного взаимодействия атомов (не обладающих электрическим дипольным моментом), убывает с увеличением расстояния  $R$  пропорционально  $1/R^5$ , в то время, как энергия взаимодействия дипольных моментов, наводимых в этих атомах вследствие их взаимной поляризуемости, меняется с расстоянием пропорционально  $1/R^6$ .

**КОГЕРЕНТНОСТЬ** – согласованное протекание во времени и в пространстве нескольких колебательных или волновых процессов, проявляющееся при их сложении. Колебания называются *когерентными*, если разность их фаз остается постоянной (или закономерно изменяется) во времени и при сложении колебаний определяет амплитуду суммарного колебания.

**МАГНИТУДА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ** – более универсальная и физически обоснованная характеристика землетрясения, чем интенсивность. Она характеризуется максимальной амплитудой записи, полученной сейсмографом стандартного типа на фиксированном расстоянии от эпицентра землетрясения. Первая шкала магнитуд была изобретена в 1935 году американским профессором Чарльзом Фрэнсисом Рихтером (1900-1985) и носит его имя. В настоящее время используется несколько магнитудных шкал. В шкале локальных магнитуд (первоначальная шкала Рихтера) за магнитуду толчка принимается величина  $ML = \lg A_{max}$ , где  $A_{max}$  – максимальная амплитуда колебаний (в мкм) по записи стандартного короткопериодного (0,8 с) крутильного сейсмографа на эпицентральной расстоянии 100 км.

При осуществлении оценки удаленных землетрясений (более 2000 км от эпицентра), где короткопериодные сейсмографы не эффективны, используется телесеismicкая магнитудная шкала для поверхностных волн с периодом 18 – 22 с:

$$M_S = \lg(A/T) + 1,66 \lg D + 3,30,$$

где  $A$  – максимальная амплитуда колебаний почвы (в мкм),  $T$  – соответствующий период колебаний (в секундах),  $D$  - расстояние до эпицентра (в градусах).

Между тем, глубокие землетрясения не вызывают поверхностных волн, в связи с чем американский сейсмолог Бено Гутенберг (1889-1960) предложил для землетрясений с расстоянием от их эпицентров до регистрирующих станций 600 – 2000 км унифицированную магнитуду, определяемую по амплитуде объемных (обычно продольных) волн с периодом 4-5 с:

$$mb = \lg(A/T) + Q(D, h),$$

с учетом поправки  $Q$ , зависящей кроме эпицентрального расстояния и от глубины гипоцентра землетрясения  $h$ .

**МЕТРИКА ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ** – в теории относительности, задает расстояния (интервалы) между точками пространства-времени (событиями) и, таким образом, полностью определяет геометрические свойства четырехмерного пространства-времени.

**ОЧАГ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ** - область внутри Земли, где под влиянием внутренних причин внезапно выделяется потенциальная энергия, вызывающая излучение сейсмических волн и как следствие землетрясение.

**ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ (ОТО)** – современная физическая теория пространства, времени и тяготения. Окончательно сформулирована Эйнштейном в 1915 г. В основе ОТО, лежит теоретически и экспериментально доказанный, факт равенства инертной массы (входящей во второй закон Ньютона) и гравитационной массы (входящей в закон тяготения) для любого тела, приводящий к принципу эквивалентности.

Равенство инертной и гравитационной масс проявляется в том, что движение тела в поле тяготения не зависит от его массы. Это позволяет ОТО трактовать тяготение, как искривление пространственно-временного континуума. Таким образом, ОТО, является теорией тяготения, построенной на основе теории относительности.

**Основы частной теории относительности**, были заложены А.Эйнштейном в 1905 г. и содержат следующие основополагающие принципы:

**1. Принцип относительности:**

Все инерциальные системы отсчета эквивалентны друг другу в отношении постановки в них любых физических экспериментов. Т.е. равномерное и прямолинейное движение такой лабораторной системы никак не отражается на результатах проводимых в ней опытов, если она не ускоряется и не вращается. Все равномерно движущиеся друг относительно друга наблюдатели, из результатов своих экспериментов, должны вывести одни и те же физические законы.

**2. Постоянство скорости света** – ничто не может двигаться быстрее скорости света – 300 000 км/сек. Результаты измерения места и времени одного и того же события, полученные наблюдателями, находящимися в равномерном относительном движении, связаны между собой соотношениями, которые называются преобразованиями Лоренца.

**3. Сокращение длины.** Как отмечали ранее Лоренц и Фицджеральд, движение любого объекта, влияет на измеренную величину его длины. Если тело с наблюдателем, движется мимо неподвижного наблюдателя, с определенной скоростью, то неподвижному наблюдателю, покажется длина движущегося тела короче истинной на величину, зависящую от скорости движения тела.

В то же время, для наблюдателя, находящегося на движущемся теле, покажется уменьшение длины тела неподвижного наблюдателя.

**4. Замедление времени.**

В быстро движущемся объекте время течет медленнее, чем в неподвижном.

**5. Увеличение массы.**

Масса движущегося тела, с точки зрения неподвижного наблюдателя, оказывается больше массы покоя того же тела. Чем ближе скорость тела к скорости света, тем больше его масса, и при равенстве скорости света, масса становится бесконечно большой. Поэтому, чтобы разогнать до скорости света чрезвычайно малую массу, потребуется бесконечно большая энергия.

**6. Эквивалентность массы и энергии.**

Масса может превращаться в энергию, а энергия в массу.

Если какая-то масса превращается в энергию, то количество высвобожденной энергии равна:  $E = mc^2$ .

**ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ** - категории, обозначающие основные формы существования материи. Пространство, выражает порядок сосуществования отдельных объектов, время – порядок смены (последовательности) явлений.

Специальная теория относительности выявила зависимость пространственных и временных характеристик объектов от скорости их движения относительно определенной системы отсчета и объединила пространство и время в единый четырехмерный **пространственно-временной континуум** – **пространство-время**.

**СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ** - упругие колебания распространяющиеся в слоях Земли и несущие упругую энергию землетрясения. При землетрясениях излучаются два основных типа сейсмических волн – продольные  $P$  - волны, по физической сути напоминающие акустические волны. При ее прохождении, каждая частица породы перемещается вперед и назад вдоль направления движения волны. Таким образом, среда попеременно испытывает ряд сжатий и растяжений. Вторым типом сейсмической волны, излучаемой очагом землетрясения, является поперечная  $S$  – волна. При прохождении поперечной волны, частицы породы перемещаются перпендикулярно к направлению, в котором она распространяется. Скорость продольной волны выше поперечной, поэтому она всегда подходит к поверхности земли раньше поперечной. Однако, поперечная волна является значительно более разрушительной для зданий и сооружений, чем продольная.

**СЕЙСМИЧНОСТЬ** – характеризует степень подверженности территории землетрясениям. Сейсмичность региона характеризуется распределением землетрясений по площади, повторяемостью землетрясений разной силы во времени, характером разрушений и деформаций и площадью разрушений, связью очагов землетрясений с геологическим строением.

**СЕЙСМОГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ** - это такие движения Земли, при которых на ее поверхности возникают сравнимые по величине инерциальные и гравитационные ускорения.

Так называемые сейсмогравитационные колебания Земли регистрируются специальными длиннопериодными сейсмографами и имеют период 0,5 – 4 часа /10-11/. В указанный диапазон, также попадают собственные колебания Земли, имеющие период около 54 мин. Ряд авторов считают, что и более длиннопериодные колебания, также отражают собственные колебания Земли.

Сейсмогравитационные колебания обычно наблюдаются в отсутствие сильных землетрясений и интерес к ним в исследованиях литосферно-ионосферных связей, прежде всего, связан с установленной экспериментально глобальной интенсификацией колебаний перед сильными землетрясениями. В то же время, согласно измерениям, сейсмогравитационные колебания выступают, как источник сопутствующих им колебаниям атмосферы.

Сейсмогравитационные волны, также по своей природе, не имеют никакого отношения к гравитационным волнам.

**СЕЙСМОГРАММА** – автоматическая запись на различных носителях информации (светочувствительной бумаге, магнитной ленте, жестких дисках, лазерных *CD, DVD* – дисках и т.д.) колебаний сейсмоприемников.

**СЕЙСМОПРИЕМНИК** – электромеханический прибор для преобразования воспринимаемых им механических колебаний почвы в электрические сигналы.

**СИЛА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ** – отражает интенсивность толчка, являющуюся мерой оценки разрушений, вызванных землетрясением. Максимальное число градаций сотрясения в современных шкалах интенсивностей – двенадцать (их называют баллами). Наиболее распространены модифицированная шкала Меркалли (ММ) и Международная шкала MSK (Медведев – Спонец-Карник). Шкалы, отражающие силу (интенсивность) землетрясения, достаточно условны и их точность в определенной степени, зависит от ряда субъективных факторов: качества строительства, плотности застройки территории, плотности населения и т.д.

**СКАЛЯРНОЕ ПОЛЕ** – поле физическое, которое описывается функцией, в каждой точке пространства не изменяющейся при повороте системы координат. В квантовой

теории поля, квантами скалярного поля, являются частицы со спином 0. По поведению относительно пространственной инверсии, скалярные поля делят на собственно скалярные, если полевая функция не меняет знака при инверсии, и псевдоскалярные, если меняет. Отвечающие им частицы имеют, соответственно, положительную и отрицательную внутреннюю четность и называются скалярными и псевдоскалярными.

**СПИН** – от английского слова spin, что означает - вращаться. Спин – собственный момент количества движения элементарных частиц, имеющий квантовую природу и не связанный с перемещением частицы, как целого. Спин называют, также собственным моментом количества движения атомного ядра (и иногда атома); в этом случае спин определяется, как векторная сумма (вычисленная по правилам сложения моментов в квантовой механике) спинов элементарных частиц, образующих систему, и орбитальных моментов этих частиц, обусловленных их движением внутри системы.

**ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ** - области сверхсильных гравитационных полей, образующихся, вероятно, при коллапсе вещества (см. коллапс), например при катастрофически быстром сжатии массивных звезд в конце их жизни. Никакое излучение, даже свет, не может уйти из черной дыры. Черные дыры оказывают гигантское гравитационное воздействие на окружающее пространство.

**ЭНЕРГИЯ** – общая количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи. Энергия не возникает из ничего и не исчезает, она может только переходить из одного вида в другой.

**ЭНЕРГИИ СОХРАНЕНИЯ ЗАКОН (Э.С.З.)** один из наиболее фундаментальных законов природы, согласно которому важнейшая физическая величина – энергия, сохраняется в изолированной системе. В изолированной системе энергия может переходить из одной формы в другую, но ее количество остается постоянным.

Э.С.З. для механических процессов установлен Г.В.Лейбницем (1686 г.), для немеханических явлений –

Ю.Р.Майером (1845 г.), Дж.П.Джоулем (1843-1850) и Г.Л.Гельмгольцем (1847 г.).

В термодинамике Э.С.З. назван первым началом термодинамики.

До создания А.Эйнштейном специальной теории относительности (1905 г.), законы сохранения массы и энергии существовали, как два независимых закона. В теории относительности они были слиты воедино.

**ЭНЕРГИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ** – для расчетов высвобожденной при землетрясении упругой энергии, с 1956 года, пользовались эмпирической зависимостью Гутенберга-Рихтера:

$$Lg E = 11,8 + 1,5 M_S,$$

где энергия  $E$  выражена в эргах, несмотря на то, что телесеismicкая магнитуда  $M_S$ , рассчитывается по амплитудам волн в узком частотном диапазоне и игнорирует высокочастотные составляющие толчка. Современные же цифровые сейсмографы чувствительны к колебаниям, обладающим периодами 0,1 – 100 с, что делает возможным определение потока упругой энергии в широком частотном диапазоне.

Зависимость между энергией упругих волн в джоулях и магнитудой землетрясения, не вполне однозначна, но в настоящее время большинство сейсмологов использует уравнение, предложенное Маркусом Батом:

$$Log E = 5,24 + 1,44 M_S (Дж),$$

Значения магнитуд по шкалам  $M_L$  и  $m_S$  вначале должны быть преобразованы с помощью следующих уравнений:

$$m = 1,7 + 0,8 M_L + 0,01 M_L^2 ;$$

$$m = 0,56 M_S + 2,9.$$

При увеличении магнитуды землетрясения на единицу, его энергия возрастает, примерно в 32 раза (в то время, как амплитуда колебаний земной поверхности в 10 раз). При самых сильных землетрясениях с магнитудой около 9, излучается энергия, равная  $1,6 \times 10^{18}$  Дж, что можно сравнить с взрывом 300 мегатонной атомной бомбы.



Энергия, выделяемая землетрясением с магнитудой 8,9, могла бы обеспечить электроэнергией город, с населением 100 тыс. человек в течение 600 лет.

**ЭПИЦЕНТР ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ** – проекция гипоцентра землетрясения на поверхность Земли.

**ЭПИЦЕНТРАЛЬНАЯ ОБЛАСТЬ** – проекция очага землетрясения на поверхность Земли.

**ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЕ РАССТОЯНИЕ** – расстояние, между эпицентром землетрясения и рассматриваемой точкой, измеренное вдоль поверхности Земли. Выражается в линейных (км) или угловых (градус) величинах.

## НЕКОТОРЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

Наименование	Значение
Площадь поверхности Земли	$5 \cdot 10^{18} \text{ см}^2$
Радиус Земли:	
Экваториальный	6 378 164 м
Полярный	6 356 799 м
Средний	6 371 030 м
Масса Земли	$5,976 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Радиус Солнца	$6,9599 \cdot 10^8 \text{ м}$
Масса Солнца	$1,989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
Светимость Солнца	$3,826 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$
Масса Луны	$7,35 \cdot 10^{22} \text{ кг}$
Средний радиус Луны	1737 530 м
Среднее расстояние между Землей и Луной	$3,84400 \cdot 10^5 \text{ м}$
Минимальное расстояние от Земли до Марса (27 августа 2003 г)	$5,6 \cdot 10^7 \text{ м}$
Масса Марса	$6,4 \cdot 10^{23} \text{ кг}$
Астрономическая единица (среднее расстояние от Земли до Солнца)	$1,49597870 \cdot 10^{11} \text{ м}$
Парсек	$3,085678 \cdot 10^{16} \text{ м}$

## ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ

Гравитационная постоянная	$G = 6,6720 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$
Скорость света в вакууме	$c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 1,25663706144 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,85418782 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Постоянная Планка	$h = 6,626176 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Масса покоя электрона	$m_e = 9,109534 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Масса покоя протона	$m_p = 1,6726485 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя нейтрона	$m_n = 1,6749543 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Заряд электрона	$e = 1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Атомная единица массы	$1,660565 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Постоянная Авогадро	$N_A = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Постоянная Фарадея	$F = 96484,56 \text{ Кл/моль}$
Молярная газовая постоянная	$R = 8,31441 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Постоянная Больцмана	$k = 1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Нормальный (молярный) объем идеального газа при нормальных условиях	$V_0 = 2,241 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{моль}$
Нормальное атмосферное давление	$P_{\text{атм.}} = 101325 \text{ Па}$
Радиус первой борновской орбиты	$a_0 = 5,2917706 \cdot 10^{-11} \text{ м}$
Ускорение свободного падения	$g = 9,80665 \text{ м/с}^2$

**ПЛОТНОСТЬ ТВЕРДЫХ ТЕЛ**

Твердое тело	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Твердое тело	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Алюминий	$2,7 \cdot 10^3$	Медь	$8,9 \cdot 10^3$
Барий	$3,5 \cdot 10^3$	Никель	$8,9 \cdot 10^3$
Ванадий	$6,0 \cdot 10^3$	Свинец	$11,3 \cdot 10^3$
Висмут	$9,8 \cdot 10^3$	Серебро	$10,5 \cdot 10^3$
Железо	$7,8 \cdot 10^3$	Цезий	$1,9 \cdot 10^3$
Литий	$0,53 \cdot 10^3$	Цинк	$7,1 \cdot 10^3$

**ПЛОТНОСТЬ ЖИДКОСТЕЙ**

Жидкость	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Жидкость	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Вода (при 4 <sup>0</sup> С)	$1,00 \cdot 10^3$	Ртуть	$13,6 \cdot 10^3$
Глицерин	$1,26 \cdot 10^3$	Спирт	$0,80 \cdot 10^3$
		Сероуглерод	$1,26 \cdot 10^3$

**ПЛОТНОСТЬ ГАЗОВ (ПРИ НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ)**

Газ	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Газ	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Водород	0,09	Гелий	0,18
Воздух	1,29	Кислород	1,43

**УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ МЕТАЛЛОВ**

Металл	Удельное сопротивление, Ом·м	Металл	Удельное сопротивление, Ом·м
Желез	$9,8 \cdot 10^{-8}$	Медь	$1,7 \cdot 10^{-8}$
Нихро	$1,1 \cdot 10^{-6}$	Серебро	$1,6 \cdot 10^{-8}$

**ЭНЕРГИЯ ИОНИЗАЦИИ**

Вещество	Дж	эВ
Водород	$2,18 \cdot 10^{-18}$	13,6
Гелий	$3,94 \cdot 10^{-18}$	24,6
Ртуть	$1,66 \cdot 10^{-18}$	10,4
Литий	$8,62 \cdot 10^{-17}$	5,39

**ПОДВИЖНОСТЬ ИОНОВ В ГАЗАХ, М<sup>2</sup>/(В·С)**

<b>Газ</b>	<b>Положительные ионы</b>	<b>Отрицательные ионы</b>
Азот	$1,27 \cdot 10^{-4}$	$1,81 \cdot 10^{-4}$
Водород	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$
Воздух	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$

**ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ**

<b>Вещество</b>	<b>Показатель</b>
Вода	1,33
Глицерин	1,47
Стекло	1,5
Алмаз	2,42

**РАБОТА ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНОВ**

Металл	Дж	эВ
Калий	$3,5 \cdot 10^{-19}$	2,2
Литий	$3,7 \cdot 10^{-19}$	2,3
Платина	$10 \cdot 10^{-19}$	6,3
Рубидий	$3,4 \cdot 10^{-19}$	2,1
Серебро	$7,5 \cdot 10^{-19}$	4,7
Цезий	$3,2 \cdot 10^{-19}$	2,0
Цинк	$6,4 \cdot 10^{-19}$	4,0

**МАССА И ЭНЕРГИЯ ПОКОЯ НЕКОТОРЫХ ЧАСТИЦ**

Частица	$m_0$		$E_0$	
	кг	а.е.м.	Дж	МэВ
Электрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,16 \cdot 10^{-14}$	0,511
Протон	$1,672 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1,50 \cdot 10^{-10}$	938
Нейтрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,51 \cdot 10^{-10}$	939
Дейтрон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3,00 \cdot 10^{-10}$	1876
$\alpha$ -частица	$6,64 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3733
Нейтральный $\pi$ -мезон	$2,41 \cdot 10^{-28}$	0,14498	$2,16 \cdot 10^{-11}$	135

**ВНЕСИСТЕМНЫЕ ЕДИНИЦЫ**

Наименование величины	Единица		
	Название	Обозначение	Соотношение с единицей СИ
<i>а) Допущенные к применению наравне с единицами СИ</i>			
Масса	тонна	т	$1 \text{ т} = 10^3 \text{ кг}$
Время	минута	мин	$1 \text{ мин} = 60 \text{ с}$
	час	ч	$1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}$
	сутки	сут	$1 \text{ сут} = 86400 \text{ с}$
Плоский угол	градус	... °	$1^\circ = 1,75 \cdot 10^{-2} \text{ рад}$
	минута	... '	$1' = 2,91 \cdot 10^{-4} \text{ рад}$
	секунда	... "	$1'' = 4,85 \cdot 10^{-6} \text{ рад}$
Площадь	гектар	га	$1 \text{ га} = 10^4 \text{ м}^2$
Объём	литр	л	$1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3$
Относительная величина	процент	%	$1\% = 10^{-2}$
	промилле	‰	$1\text{‰} = 10^{-3}$
	миллионная доля	млн <sup>-1</sup>	$1 \text{ млн}^{-1} = 10^{-6}$
Температура Цельсия	градус Цельсия	°С	$1^\circ\text{С} = 1 \text{ К}$
Логарифмическая величина	бел	Б	—
	децибел	дБ	—
<i>б) Допущенные к применению временно</i>			
Длина	ангстрем	А	$1 \text{ А} = 10^{-10} \text{ м}$
Масса	центнер	ц	$1 \text{ ц} = 100 \text{ кг}$



Частота вращения	оборот в секунду	об/с	$1 \text{ об/с} = 1 \text{ с}^{-1}$
	оборот в минуту	об/мин	$1 \text{ об/мин} = 1/60 \text{ с}^{-1} = 0,0167 \text{ с}^{-1}$
Сила (вес)	килограмм-сила	кгс	$1 \text{ кгс} = 9,81 \text{ Н}$
	тонна-сила	тс	$1 \text{ тс} = 9,81 \cdot 10^8 \text{ Н}$
Давление	килограмм-сила на квадратный сантиметр (техническая атмосфера)	кгс/см <sup>2</sup>	$1 \text{ кгс/см}^2$
	миллиметр водяного столба	(ат) мм вод.ст.	$= 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па}$
	миллиметр ртутного столба	мм рт.ст.	$1 \text{ мм вод.ст.} = 9,81 \text{ Па}$
	бар	бар	$1 \text{ мм рт.ст.} = 133 \text{ Па}$ $1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}$
Напряжение (механическое)	килограмм-сила на квадратный миллиметр	кгс/мм <sup>2</sup>	$1 \text{ кгс/мм}^2 = 9,81 \cdot 10^6 \text{ Па}$
Мощность	лошадиная сила	л.с.	$1 \text{ л.с.} = 737 \text{ Вт}$
Теплота	калория	кал	$1 \text{ кал} = 4,19 \text{ Дж}$
Доза излучения	рад	рад	$1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Дж/кг}$
Мощность дозы излучения	рад в секунды	рад/с	$1 \text{ рад/с} = 0,01 \text{ Вт/кг}$
Экспозиционная доза фотонного излучения	рентген	Р	$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$
Активность изотопа	кори	Ки	$1 \text{ Ки} = 3,700 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$
<b>в) Допущенные к применению в специальных разделах физики и астрономии</b>			

Длина	икс-единица	X	$1 X = 1,00 \cdot 10^{-13}$
	астрономическая единица	а.е.	$1 \text{ а.е.} = 1,50 \cdot 10^{11} \text{ м}$
	световой год	св.год	$1 \text{ св.год} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ м}$
	парсек	пк	$1 \text{ ПК} = 3,09 \cdot 10^{16} \text{ м}$
Масса	атомная единица массы	а.е.м.	$1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Площадь	барн	б	$1 \text{ б} = 10^{-28} \text{ м}^2$
Энергия	электрон-вольт	эВ	$1 \text{ эВ} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

**КРАТКАЯ БИОГРАФИЧЕСКАЯ  
ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

**Халилов Эльчин Нусрат оглы** родился в 1959 г. в г. Баку в семье геолога-нефтяника. Его отец - доктор геолого-минералогических наук, профессор, заслуженный геолог Азербайджана Нусрат Юсиф оглы Халилов, а мать – Халилова Рена Гусейн кызы, известный в Азербайджане педагог-врач более 25-ти лет проработавшая в Азербайджанском педагогическом Университете им. Н.Туси.

В 1981 году Эльчин Халилов окончил Азербайджанский институт нефти и химии им. М.Азизбекова. По специальности - геофизик. В 1977 году женился. Жена – Тамила, кандидат исторических наук. Имеет двоих сыновей, старший – Анар, студент Братиславского экономического университета, младший – Фарид - школьник.

Лауреат премии Ленинского комсомола Азербайджана в области науки и техники за 1984 год. С 1981 г. по 1989 г. год работал в Южном отделении Всесоюзного Научно-исследовательского института Геофизики в должностях инженера, младшего научного сотрудника, старшего научного сотрудника, руководителя лаборатории.

С 1987 по 1989 годы Э.Н.Халилов был избран первым заместителем Председателя Совета молодых ученых и специалистов Азербайджана.

С 1989 года, по настоящее время Президент Международного научно-технического комплекса «ИНТЕРГЕО-ТЕТИС». В 1990 году защитил докторскую диссертацию в Московском Государственном Университете им. М.В.Ломоносова (г. Москва) в области изучения и прогноза землетрясений и извержений вулканов.

С 1991 по 1995 годы, был избран депутатом Бакинского Городского Совета народных депутатов, председателем постоянной депутатской комиссии по экологии.

Автобиография Эльчина Халилова, опубликована в Международных биографических справочниках в Кембридже, в книге «100 лидеров промышленности и науки Содружества», в энциклопедической информационной книге «Кто есть кто в Азербайджане», в справочнике «Геофизики Азербайджана: Кто

есть кто», в книге «Азербайджанская Секция Международной Академии Наук», в книге «Известные ученые Азербайджана».

С 1999 года Э.Н. Халилов избран Сопредседателем Постоянной комиссии по аномальным явлениям при Президиуме Национальной Академии Наук Азербайджана и членом Высшей Аттестационной Комиссии (ВАК) при Президенте Азербайджанской Республики.

В 2000-ом году Э.Н.Халилов назначен заместителем председателя Экспертного Совета Высшей Аттестационной Комиссии при Президенте Азербайджана.

В 1999 году стал лауреатом конкурса «100 лидеров промышленности и науки содружества (СНГ)».

В 2001 году Э.Н. Халилов награжден золотой медалью «Лауреат Всероссийского Выставочного Центра».

В 2002 году Э.Н.Халилов избран действительным членом (академиком) Международной Академии Наук/Международного Совета по научному развитию (Австрия, г. Инсбрук) и Сопрезидентом – Председателем Бюро Президиума Азербайджанской Секции Международной Академии Наук/МСНР.

С 2002 года, по настоящее время, Э.Н.Халилов является директором Научно-исследовательского института по прогнозу и изучению землетрясений Международной Академии Наук.

В 2002 году Э.Н. Халилов избран членом Президиума Международного Совета по научному развитию/Международной Академии Наук и ему вручен золотой нагрудный знак имени Лауреата Нобелевской Премии Павлова – высшая награда Международной Академии Наук/МСНР (октябрь, Бразилия, г. Сан-Паоло). В этом же году он избирается Вице-президентом Восточно-Европейской Секции Международной Академии Наук (ноябрь, Германия, Берлин).

В 2003 году Э.Н.Халилов возглавил Научный Центр Фундаментальных и Прикладных Исследований Международной Академии Наук, созданный по его инициативе.

15 октября 2003 г. Э.Н.Халилову вручен диплом на первое научное открытие в истории азербайджанской науки под №239, официально утвержденное и внесенное в международный регистр открытий. В это же время ему вручена серебряная медаль «Автору научного открытия» имени Лауреата Нобелевской премии П.Л.Капицы.

Открытие сделано Э.Н.Халиловым в соавторстве с академиком Национальной Академии Наук Азербайджана Ш.Ф.Мехтиевым, академиком РАН В.Е.Хаиным и академиком

РАЕН, проф. Т.А.Исмаил-Заде. Название научного открытия: «Закономерность пространственно-временного распределения извержений вулканов» с датой приоритета от 20 сентября 1983 г.

Э.Н.Халилов принимал участие с научными докладами в международных конференциях, симпозиумах и других научных форумах, проходящих в Германии, Англии, России, Турции, Бразилии, Испании, Болгарии, Иране, Китае, Словакии, ОАЭ, Украине и ряде других стран. Он является членом Евро-Азиатского геофизического общества и национального геофизического общества Азербайджана.

В 2004 году Э.Н.Халилову вручена Национальная премия «УГУР» за научные достижения в 2003 г.

Э.Н.Халилов специалист в области современных геодинамических процессов и сейсмологии, изучения и прогноза землетрясений и извержений вулканов. Автор одного научного открытия, более 350 публикаций, в том числе, 200 опубликованных научных статей, трех брошюр и четырех монографий, более тридцати изобретений, в том числе имеет патенты на устройство для прогнозирования землетрясений и на детектор землетрясений, а также на устройство и способ регистрации сверхдлинных гравитационных волн.

## **BRIEF BIOGRAPHICAL INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

Khalilov Elchin Nusrat was born in 1959 in c. Baku in the family of petroleum geologist. His father Nusrat Yusif Khalilov is the doctor of geological-mineralogical sciences, Professor, the honored geologist of Azerbaijan, and his mother Khalilova Rena Hyseyn - famous pedagogue-doctor in Azerbaijan, who worked for more than 25 years at the Azerbaijan Pedagogical University after N.Tusi.

Khalilov Elchin graduated from Azerbaijan Institute of Petroleum and Chemistry after M.Azizbeyov in 1981 on specialty of geophysicist. He was married in 1977. His wife Tamila is the candidate of historical sciences. Elchin Khalilov has two sons, senior son Anar is a student of Bratislava Economical University, and junior son Farid is a schoolboy.

Khalilov Elchin is the laureate of prize of Lenin Komsomol of Azerbaijan in the area of science and technology during 1984. From 1981 to 1989 he worked in the Southern department of All-Union Scientific-research Institute of Geophysics in positions of engineer, junior scientific specialist, senior chief specialist and chief of laboratory. Since 1989 up to present time he is the President of International scientific technical complex "INTERGEO-TETHYS". In 1990 he defended doctoral thesis at Moscow State University after M.V.Lomonosov (c. Moscow) in the area of study and prediction of earthquakes and volcano eruptions.

From 1991 to 1995 he was elected as the deputy of Baku State Council of People's deputies, the chairman of permanent deputy commission on ecology.

Autobiography of Elchin Khalilov is published in the International biographical books in Cambridge, in the book "100 leaders of industry and science of Commonwealth", in the encyclopedic information book "Who is who in Azerbaijan", in information book "Geophysicists of Azerbaijan: Who is who", in the book "Azerbaijan Section of International Academy of Sciences", in the book "Famous scientists of Azerbaijan".

Since 1999 Khalilov E.N. has been elected as the Co-chairman of Permanent commission on abnormal phenomena at the Presidium of National Academy of Sciences of Azerbaijan and the member of the

Supreme Certifying Commission (SCC) at the President of Azerbaijan Republic.

In 2000, Khalilov E.N was appointed as deputy chairman of Advisory Council of Supreme Certifying Commission at the President of Azerbaijan.

In 1999, he became the laureate of the competition “100 leaders of industry and science of Commonwealth (CIS)”.

In 2001, Khalilov E.N. was awarded by golden medal “Laureate of All-Union Exhibition Center”.

In 2002, Khalilov E.N. was elected as the acting member (Academician) of International Academy of Science/International Council for Scientific Development (Austria, Innsbruck) and Co-president-Chairman of Bureau of Presidium of Azerbaijan Section of International Academy of Science/ICSD.

From 2002 up to present time E. Khalilov is the director of Scientific-research Institute on prognosis and studying of earthquakes of International Academy of Science.

In 2002, Khalilov E.N. was elected as the member of Presidium of International Council for Scientific Development/International Academy of Science and he is presented with gold pin after Laureate of Nobel prize Pavlov supreme reward of International Academy of Science/ICSD (October, Brazil, c. Sao-Paolo). At the same year he was elected as the Vice-president of Eastern-European Section of International Academy of Science (November, Germany, Berlin).

In 2003, E.N. Khalilov became the head of Scientific Center of Fundamental and Applied Researches of International Academy of Sciences, created by his own initiative.

In October 15, 2003 Khalilov E.N. was presented with a diploma for the first scientific discovery in the history of Azerbaijan science No.239, which was officially confirmed and entered into international register of discoveries. At the same time, he was presented with silver with medal “To the author of scientific discovery” after Laureate of Nobel Prize P.L. Kapitsa.

Discovery was made by E.N. Khalilov in co-authorship with Academician of National Academy of Science of Azerbaijan Sh.F.Mehdiyev, Academician of RAS V.Y.Khain and Academician of RANS, Professor T.A.Ismail-Zade. Title of this scientific discovery is “Regularity of spatial-temporary distribution of volcano eruptions” with priority date of 20 September 1983.

Khalilov E.N participated with scientific reports at international conferences, symposia and other scientific forums, held in Germany, England, Russia, Turkey, Brazil, Spain, Bulgaria, Iran, China, Slovakia, UAE, Ukraine and other countries. Khalilov E.N. is the member of European-Asian geophysical society and National geophysical society of Azerbaijan.

In 2004 Khalilov E.N was presented with National Premium “UGUR” – for his scientific achievements in 2003.

Khalilov E.N is the specialist in the area of modern geodynamic processes and seismology, studying prognosis of earthquakes and volcano eruptions. He is the author of 1 scientific discovery, more than 350 publications including 200 published scientific articles, 3 booklets and 4 monographs, more than 30 inventions, including patents on device for prognosis of earthquakes, on detector of earthquakes and also on device and method of registration of super long gravitational waves.



**Халилов Эльчин Нусрат оглы**

**ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ И ГЕОДИНАМИКА**

**Под редакцией: Академика РАН В.Е.Хаина**

Художественное оформление автора

Технический редактор: **Н.А.Лыгина**

Перевод на английский язык: **М.А.Расулзаде,**  
**И.С.Аллахвердиева**

***Контактная информация:***

*Адрес: Ул. Фуада Ибрагимбекова 19/21,  
AZ 1065, Баку, Азербайджанская  
Республика, Международная Академия  
Наук /Восточно-Европейская Секция  
Тел.: (994) 12 398314  
Факс: (994) 12 936665  
e-mail: [azintacad@yahoo.com](mailto:azintacad@yahoo.com)*

***Contact Information:***

*Address: Fuad Ibrahimbeyov street 19 /21,  
AZ 1065, Baku city, Azerbaijan Republic,  
International Academy of Science /  
East-European Section  
Phone: (994) 12 398314  
Fax: (994) 12 936665  
e-mail: [azintacad@yahoo.com](mailto:azintacad@yahoo.com)*

**[WWW.WOSCO.ORG](http://WWW.WOSCO.ORG)**

Сдано в набор 10.01.2004. Подписано к печати 30.01.2004  
Бумага WOOD FREE. Формат 70x100/16  
Тираж 2000 экз.

Отпечатано в Издательско-Полиграфическом Доме  
Баку, Азербайджан, ул.М.Ибрагимова 43  
e-mail: azdata.net