

Este arquivo contém o texto completo do seguinte trabalho:

MARTINS, Roberto de Andrade. Opyty Majorany po poglosceniju gravitacii. Pp. 76-99, in: IVANOVA, M. A. & SAVROVA, P. A. (eds.). *Poiski mekhanizma gravitacii*. Nizhnij Novgorod: Izd. Ju. A. Nikolaev, 2004. (ISBN 5-93529-022-7)¹

Este arquivo foi copiado da biblioteca eletrônica do Grupo de História e Teoria da Ciência <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/>> da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), do seguinte endereço eletrônico (URL):

<<http://ghtc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-103.pdf>>

Esta cópia eletrônica do trabalho acima mencionado está sendo fornecida para uso individual, para fins de pesquisa. É proibida a reprodução e fornecimento de cópias a outras pessoas. Os direitos autorais permanecem sob propriedade dos autores e das editoras das publicações originais.

This file contains the full text of the following paper:

MARTINS, Roberto de Andrade. Opyty Majorany po poglosceniju gravitacii. Pp. 76-99, in: IVANOVA, M. A. & SAVROVA, P. A. (eds.). *Poiski mekhanizma gravitacii*. Nizhnij Novgorod: Izd. Ju. A. Nikolaev, 2004. (ISBN 5-93529-022-7)²

This file was downloaded from the electronic library of the Group of History and Theory of Science <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/>> of the State University of Campinas (UNICAMP), Brazil, from following electronic address (URL):

<<http://ghtc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-103.pdf>>

This electronic copy of the aforementioned work is hereby provided for exclusive individual research use. The reproduction and forwarding of copies to third parties is hereby forbidden. Copyright of this work belongs to the authors and publishers of the original publication.

¹ Tradução, para o russo, de um capítulo de livro publicado em 2002: “Majorana’s experiments on gravitational absorption”.

² Russian translation of a book chapter published in 2002: “Majorana’s experiments on gravitational absorption”.

ПОГПОЩАЕТСЯ ЛИ ГРАВИТАЦИЯ?

ОПЫТЫ МАЙОРАНЫ ПО ПОГЛОЩЕНИЮ ГРАВИТАЦИИ¹

Роберто де Андраде Мартинс

*Группа истории и теории науки, Институт физики,
Кампинасский государственный университет, п.я. 6059, 13081-970,
Кампинас, штат Парана, Бразилия.
E-mail: rmartins@ifi.unicamp.br*

В 1920 году итальянский физик Квирино Майорана заявил, что измерил эффект, который можно назвать «поглощением гравитации»: уменьшение гравитационного притяжения между двумя телами, когда одно из них заключено внутри толстой материальной оболочки. Он опубликовал результаты экспериментов, где пробное тело окружалось ртутью или свинцом; в обоих случаях он обнаружил уменьшение веса на $1/10^9$. В этой статье представлена теория, лежащая в основе работы Майораны, и детальное описание его опытов.

1. Введение

Начиная с 17-го столетия, для объяснения гравитации было предложено много теорий (Вудворд, 1972). Заметная часть этих попыток может быть описана как *кинетические теории гравитации* (Тейлор, 1876), по их аналогии с кинетической теорией газов. В них предполагается, что материальные тела не взаимодействуют путем прямого действия на расстоянии, а подвергаются действию частиц (или волн), пронизывающих космическое пространство. Анализ этих механиче-

¹ Перевод статьи: R. de Andrade Martins, in the book "Pushing Gravity", ed. M. Edwards, Apeiron, Montreal, 2002.

ских моделей приводит к выводу, что они не могут объяснить гравитацию, если существует лишь чисто упругие соударения между частицами (или волнами) и веществом. Потому все кинетические теории гравитации обязательно предполагают, что вещество поглощает или как-то меняет эти частицы или волны.



Рис. 1. Квирино Майорана (1871–1957).

Фотография воспроизводится с разрешения Эразмо Реками

Хотя кинетические теории гравитации были очень популярны в 19-м веке, никто не попытался обнаружить поглощение гравитации вплоть до 1890-х. В 1897 году Остин и Твинг сделали первую известную экспериментальную проверку существования изменения гравитационной силы за счет перемещаемого вещества, используя крутильные весы (Остин и Твинг, 1897). Эффект обнаружен не был. В начале 20-го столетия было предпринято несколько других подобных опытов, но не сообщалось о положительных результатах, пока не появилась публикация об исследованиях Майораны (Мартинс, 1999). В 1919 году этот итальянский физик заявил, что ему удалось наблюдать уменьшение веса тела, окруженного толстым экраном.

В этой статье описываются идеи Майораны и его опыты по гравитации, с особым акцентом на его измерениях поглощения гравитации, поскольку, похоже, это самые тщательные исследования на подобную тему, когда-либо осуществленные.

2. Гипотеза Майораны

Квирино Майорана² (1871–1957) был итальянским физиком-экспериментатором, посвятившим много лет своей активной жизни исследованию поглощения гравитации. В наши дни гораздо больше известны исследования Майораны, связанные со вторым принципом

² Не путать с его племянником, физиком-ядерщиком Этторе Майорана.

специальной теории относительности (СТО). Он пытался обнаружить изменение скорости света, излученного (или отраженного) движущимися телами, но против собственных ожиданий подтвердил, что скорость света не зависит от скорости его источника. Поскольку этот результат противоречил тому, что он надеялся доказать, то очевидно, что Майорана был добросовестным экспериментатором, а не одним из тех ученых, которые всегда находят то, что ищут.

Майорана опубликовал детали своей работы в нескольких статьях, появившихся в итальянских научных журналах (Майорана, 1918–19, 1919–20 а, 1919–20 б, 1921–22). Краткие отчеты о своих исследованиях он опубликовал также на французском (Майорана, 1919 а, 1919 б, 1921) и английском языках (Майорана, 1920).

В первой своей статье по гравитации Майорана представил размышления, которые привели его к этой экспериментальной работе (Майорана, 1918–19). Отправной точкой послужили рассуждения об энергии звезд. В те времена ядерная физика была еще в детском возрасте, и трудно было примирить большое время жизни Солнца, требуемое геологией и теорией эволюции, со сроком, отпускаявшимся светилу физическими теориями. Майорана предположил, что гравитация обусловлена потоком гравитационной энергии от всех тел в окружающее их космическое пространство. Этот выходящий поток гравитационной энергии обязательно требует какого-то постепенного преобразования вещества, аналогичного радиоактивности, но Майорана предположил, что это преобразование очень медленное и его трудно обнаружить. Он также предположил, что материя непрозрачна для гравитационного потока. Гравитационная энергия веществом поглощалась бы и превращалась в тепло. Все тела будут подвержены самопроизвольному эффекту нагревания. Заметен этот эффект будет лишь для очень больших тел, поскольку генерация тепла телом будет пропорциональна его объему, в то время как излучение тепла будет пропорционально площади его поверхности. Согласно Майоране, такое поглощение и эффект нагрева могли бы объяснить энергию звезд³.

Майорана не всегда выражался ясно насчет механизма гравитации, который подразумевал. Иногда он говорил о «потоке гравитационной энергии», иногда — о «частицах», а в свои последние годы называл эти частицы «гравитонами». Он отмечал, что его «частицы» обладают странными свойствами, потому что когда они соударяются с веществом, то должны передавать обратный импульс.

Майорана не был теоретиком. Всю свою жизнь он в основном работал в экспериментальной физике; так что он не очень сильно забо-

³ Эта идея не развивалась в ранних работах Майораны, она обсуждалась много лет спустя (Майорана, 1954).

тился о точном механизме поглощения гравитации. При отсутствии какой-либо теоретической основы, он пытался просчитать некоторые следствия этой гипотезы и проверить их тонкими опытами.

Для проверки своего основного предположения Майорана попытался определить уменьшение веса свинцового шара (1 кг), который был окружен 100 килограммами ртути. Предварительные эксперименты, однако, дали результат, совершенно противоположный его гипотезе: казалось, что имеет место *увеличение* на 1/30.000.000 веса пробного тела (Майорана, 1918–19, стр. 668).

После этой предварительной проверки он начал изучать некоторые теоретические особенности своей гипотезы. Прежде всего, принимая во внимание предыдущие эксперименты, Майорана исключил возможность чего-то похожего на гравитационную проницаемость. Аналогия с явлением электромагнетизма указывала на то, что эффект такого рода можно было бы наблюдать даже при низкой чувствительности и тонком слое вещества. Майорана предположил, что только поиски эффекта очень слабого поглощения гравитации могли бы дать какой-то положительный результат. Чтобы спланировать более совершенную экспериментальную установку, он попытался оценить верхний предел величины искомого эффекта. Это привело его к развitiю количественной теории поглощения гравитации (Майорана, 1919–20 а, 1919–20 б).

Рассчитаем поглощение гравитации однородной материальной средой. Согласно самой простой гипотезе поглощения, частица массы M , помещенная в эту среду, создает на расстоянии r гравитационное поле g , равное

$$g = Gmr^{-2} e^{-Hr}, \quad (2.1)$$

где H — характеристическая постоянная гравитационного поглощения среды. Майорана предположил, что H не зависит от химического состава среды, но пропорциональна ее плотности: $H = hd$. Предположив, что большая сфера вещества обладает ненулевым самопоглощением гравитации, Майорана вычислил ее внешнее поле.

3. Внешнее гравитационное поле, создаваемое протяженным телом

Ту же самую гипотезу рассматривал веком ранее Лаплас, а ее следствия обсуждал Анри Пуанкаре в своих лекциях по гравитации в 1906–1907. Работа Пуанкаре была, однако, опубликована значительно позднее (Пуанкаре, 1953), так что Майоране пришлось самому просчитывать следствия своей гипотезы. В ниже будут использованы не-

которые особенности выводов Пуанкаре, а не Майораны, потому что они яснее и удобнее. Однако конечный результат согласуется с результатом Майораны.

Предположим, что малое массивное тело заключено в центре сферической оболочки (рис. 2).

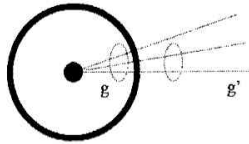


Рис. 2. Когда притягивающая масса находится внутри сферической оболочки, поглощение гравитации экраном дает меньшее гравитационное поле g' вне оболочки

Пренебрежем самопоглощением гравитации массой, входящей в состав оболочки. Внутри оболочки величина гравитационного поля есть

$$g = Gmr^{-2} \quad (3.1)$$

а снаружи поле будет равно

$$g' = Gmr^{-2} e^{-HL}, \quad (3.2)$$

где L — толщина экранирующей оболочки. Сила уменьшается, но не меняет направления. И внутри и вне экрана направление гравитационного поля радиально, и в обоих случаях сила изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния от притягивающего тела. В обеих областях дивергенция гравитационного поля $\nabla \cdot g$ равна нулю (вне масс), потому что нет источников или стоков гравитационного поля. Гравитационный поток через замкнутую поверхность, которая не содержит тело, тоже нулевой.

Общий гравитационный поток Φ , пересекающий замкнутую поверхность внутри сферической оболочки, содержащую массивное тело, равен

$$\Phi = 4\pi r^2 g = 4\pi GM, \quad (3.3)$$

а полный поток Φ' , пересекающий замкнутую поверхность вне сферической оболочки, содержащую массивное тело, равен

$$\Phi' = 4\pi r^2 g' = 4\pi GM e^{-HL}. \quad (3.4)$$

Таким образом, закон Гаусса для гравитации выполняется внутри и снаружи оболочки-экрана, хотя полный поток имеет различные величины внутри и вне ее (рис. 3).

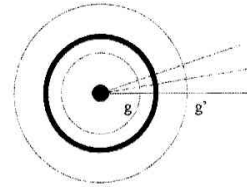


Рис. 3. Поглощение гравитации экраном, уменьшает внешнее гравитационное поле g' , производимое внутренним телом, следовательно, его внешний гравитационный поток будет меньше, чем его гравитационный поток внутри оболочки

Рассмотрим теперь массивную сферу с самопоглощением гравитации (рис. 4). Если плотность этого тела имеет сферическую симметрию, то гравитационное поле вне сферы должно быть, согласно закону симметрии Кюри, всюду направлено радиально и интенсивность гравитационного поля является функцией только расстояния r от центра. Вне сферы источников или стоков гравитационного поля нет, поэтому дивергенция гравитационного поля равна нулю: $\nabla \cdot g = 0$. Следовательно, ко внешнему гравитационному полю применим закон Гаусса и полный гравитационный поток Φ'' через сферическую поверхность будет одинаковым независимо от радиуса r этой поверхности:

$$\Phi'' = 4\pi r^2 g''. \quad (3.5)$$

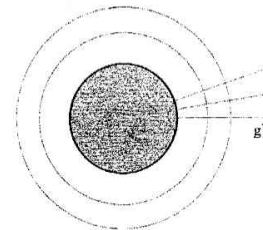


Рис. 4. Когда учитывается поглощение гравитации, внешнее поле большого притягивающего сферического тела будет уменьшаться за счет самопоглощения

Вне массивной сферы гравитационное поле изменяется обратно квадрату расстояния r от центра сферы:

$$g'' = \frac{\Phi''}{4\pi r^2}. \quad (3.6)$$

Таким образом, вне сферы ньютоновский закон гравитации применим, но вместо истинной массы сферы $M = \int \rho dV$ необходимо учитывать меньшую эффективную (или кажущуюся) гравитационную массу⁴ $M' < M$.

Для применения ньютоновского закона гравитации с учетом эффекта самопоглощения гравитации нам необходимо знать «кажущуюся массу» большого тела. Рассчитаем ее величину для случая однородной сферы.

Рассмотрим однородную сферу радиуса R и истинной плотностью ρ , с коэффициентом поглощения H (рис. 5).

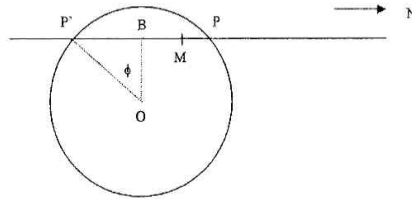


Рис. 5. Чтобы найти эффективную гравитационную массу большого однородного сферического тела согласно схеме Пуанкаре, производится расчет средней эффективной плотности относительно удаленной точки N вдоль различных прямых линий, проведенных через сферу

⁴ Этот результат прост и ясен, но в 1948 году Джузеппе Армеллини опубликовал статью с другим результатом. Он утверждал, что сила, создаваемая сферическим телом, с учетом поглощения гравитации собственно телом подчиняется другому закону: $g = GM/(r - \varepsilon)^2$, где ε – расстояние между геометрическим центром тела и центром его эффективной силы. Он доказывал, что принимая этот закон, можно объяснить прецессию перигелия. Но закон Армеллини неверен, поскольку несовместим с вышеприведенным доказательством. Основной ошибкой Армеллини было использование некоторых уравнений классической механики, которые в этом случае неприменимы.

Легче рассчитать ее гравитационный эффект относительно удаленной точки, так как результат, полученный для ее кажущейся гравитационной массы, можно затем применить для вычисления ее поля на любом расстоянии от ее центра. Кажущаяся масса может быть рассчитана относительно удаленной точки с использованием множества параллельных линий, пересекающих сферу, если вычислить кажущуюся плотность ρ' в окрестности каждой точки внутри сферы и затем проинтегрировать по всей сфере. Используются следующие обозначения (рис. 5):

$$OP = OP' = R,$$

$$BM = y,$$

$$MP = q - y,$$

$$OB = x = R \cos \phi,$$

$$PB = P'B = q = R \sin \phi.$$

Относительно удаленной точки N кажущаяся плотность ρ' в окрестности точки M будет равна:

$$\rho' = \rho e^{H(q-y)}. \quad (3.7)$$

Следовательно, средняя кажущаяся плотность ρ'' вдоль отрезка PP' с длиной $2q$ будет:

$$\rho'' = \frac{\rho}{2q} \int_{-q}^{+q} e^{-H(q-y)} dy = \frac{\rho}{2qH} (1 - e^{-2Hq}). \quad (3.8)$$

Теперь возьмем цилиндрический слой радиусом $x = OB$ и толщиной dx . Его средняя плотность есть ρ'' , а его объем равен $4\pi q x dx$. Следовательно, его масса есть:

$$dm' = \frac{2\pi\rho}{H} e^{-2Hq} x dx. \quad (3.9)$$

Заменяя x на $R \cos \phi$ и q на $R \sin \phi$ и интегрируя, мы получим кажущуюся массу всей сферы:

$$M' = \frac{2\pi R^2 \rho}{H} \int_0^{\pi/2} (1 - e^{-2HR \sin \phi}) \cos \phi \sin \phi d\phi. \quad (3.10)$$

Интегрируя, получаем конечный результат:

$$M' = \frac{2\pi R^2 \rho}{H} \left(\frac{1}{2} + \frac{e^{-2HR}}{2HR} + \frac{e^{-2HR} - 1}{4H^2 R^2} \right). \quad (3.11)$$

Заметим, что Пуанкаре вычислил кажущуюся массу сферы, учитывая гравитационное поле, наблюдаемое в удаленной точке. Однако, поскольку внешнее поле сферы имеет тот же вид, что и ньютоновский

закон гравитации (с уменьшенной массой), результат можно применить к вычислению поля на любом расстоянии от сферы.

Беря предел, когда $H \rightarrow 0$, получаем истинную массу $M = (4/3)\pi R^3 \rho$. Когда поглощение мало ($HR \ll 1$), но им нельзя пренебречь, кажущаяся масса сферы приблизительно будет равна:

$$M' = \frac{4\pi R^3 \rho}{3} \left(1 - \frac{3HR}{4}\right). \quad (3.12)$$

Майорана рассчитал эффект поглощения, используя другой математический метод, но получил полностью эквивалентные результаты. Он ввел понятие кажущейся активной гравитационной массы M_a , отличающейся от «истинной» массы $M_v = (4/3)\pi R^3 \rho$. Он обозначил отношение кажущейся массы к истинной массе через ψ (т.е. принял $M_a = \psi M_v$) и вычислил этот фактор для однородной сферы⁵. Он нашел, что

$$\psi = \frac{3}{4} \left\{ \frac{1}{RH} - \frac{1}{2(RH)^3} + \left[\frac{1}{(RH)^2} + \frac{1}{2(RH)^3} \right] e^{-2HR} \right\}. \quad (3.13)$$

Как легко проверить, этот результат полностью соответствует уравнению Пуанкаре (3.11).

4. Верхний предел для постоянной поглощения

Как описано выше, Майорана предположил, что постоянная поглощения H пропорциональна истинной плотности вещества: $H = h\rho_v$. Он полагал, что параметр h – универсальная постоянная.

Применим теперь эти идеи к Солнцу. Его эффективная или кажущаяся активная масса известна по его действию на планеты. По его эффективной гравитационной массе легко вычислить среднюю плотность Солнца, которая равна примерно $1,41 \text{ г см}^{-3}$. Если существует поглощение гравитации, истинная средняя плотность Солнца должна быть больше, чем приведенная величина.

Майорана применил в этом случае модель однородной сферы, хотя Солнце и не является однородным. Используя величины истинной плотности большие, чем $1,41 \text{ г см}^{-3}$, он последовательными приближениями вычислил соответствующие величины h :

⁵ При получении нижеуказанного результата Майорана испытал определенные трудности. В одной из своих работ он представил другой результат (Майорана, 1919/20 б, стр. 314). Уравнение, воспроизведенное здесь, было опубликовано в других его статьях (Майорана, 1919/20 а, стр. 75; Майорана, 1919/20 б, стр. 420; Майорана, 1920 а, стр. 648; Майорана, 1920, стр. 494).

$\rho_v (\text{г см}^{-3})$	ρ_a / ρ_v	$h (\text{см}^2 \text{г}^{-1})$
1.41	1.000	0
2.0	0.705	3.81×10^{-12}
5.0	0.281	7.08×10^{-12}
10	0.141	7.49×10^{-12}
15	0.094	7.63×10^{-12}
20	0.070	7.64×10^{-12}

Эти вычисления привели к неожиданному результату: если предположить, что истинная плотность Солнца возрастает до бесконечности, то постоянная поглощения стремится к конечной величине $7,65 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2 \text{г}^{-1}$. Значит, если к Солнцу применить простую модель (однородная плотность), то его известная кажущаяся активная гравитационная масса налагает верхний предел на величину постоянной поглощения гравитации. Конечно, Солнце не является однородной сферой. Однако даже при столь простой модели, замечательно, что Майорана сумел получить верхний предел для постоянной поглощения гравитации.

Для значений истинной плотности от 2 до 20 г см^{-3} коэффициент поглощения h всегда остается порядка $10^{-11} \text{ см}^2 \text{г}^{-1}$. Это кажется достаточным, чтобы предположить, что истинная плотность Солнца больше, чем его кажущаяся плотность [$1,41 \text{ г см}^{-3}$], для того чтобы определить порядок «всеобщей постоянной поглощения»⁶ h . Как будет показано ниже, Майорана использовал этот верхний предел постоянной h , чтобы запланировать подходящую экспериментальную проверку гипотезы (Майорана, 1919–20 б, стр. 317).

5. Первые измерения Майораны

Можно ли столь малый эффект измерить в лабораторном эксперименте? Простые вычисления показывают, что в лабораторных условиях эффект действительно очень мал. В первом приближении гравитационная сила, действующая на тело внутри сферической оболочки, будет подвержена относительному уменьшению примерно на $hD\rho$, где D – толщина оболочки. Чтобы рассчитать порядок величины эффекта, мы примем $\rho = 10 \text{ г см}^{-3}$ (свинец, ртуть), $D = 10 \text{ см}$ и $h = 10^{-11} \text{ см}^2 \text{г}^{-1}$.

Относительное уменьшение веса будет порядка 10^{-9} (т.е. уменьшение около 1 мкг на 1 кг массы тела). Чтобы измерить такой эффект,

⁶ Конечно, это неправильно. Если истинная плотность Солнца только чуть больше – скажем, на $0,001\%$ – чем его кажущаяся плотность, то постоянная поглощения будет много меньше, чем 10^{-12} .

необходимо достичь чувствительности по меньшей мере в 10 раз лучшей и, следовательно, необходимо определить изменение в $0,1 \mu\text{г}$ на 1 кг (т.е., 10^{-10})⁷.

В то время никакие весы не были способны измерить столь малое изменение веса. Однако после нескольких попыток и усовершенствований Майоране удалось создать систему, дающую требуемую чувствительность. Экспериментальная работа велась в физической лаборатории Туринского Политехнического Института, в то время возглавлявшейся Майораной. В своих статьях Майорана дал детальное описание своих в высшей степени изобретательных решений нескольких экспериментальных проблем. Ниже дается детальное, насколько позволяют размеры статьи, описание, подчеркивающее основную особенность его измерительного метода, но физики-экспериментаторы могут обратиться к оригиналу, поскольку в нем содержатся существенные детали и комментарии.

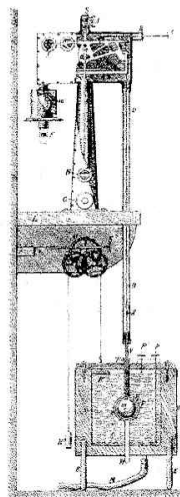


Рис. 6. В первом измерении коэффициента поглощения гравитации Майорана использовал пробное тело m , подвешенное к чувствительным весам. Пробное тело было окружено ртутью, налитой в деревянный цилиндрический сосуд U

⁷ Конечно, для усиления эффекта можно увеличить толщину оболочки, но в этом случае возникнут другие трудности.

В этих экспериментах Майорана использовал наилучшие из доступных аналитические весы Рупрехта с некоторыми дополнительными устройствами (рис. 6). Весы и пробное тело были помещены в латунный кожух с 5-миллиметровыми стенками, в котором создавался вакуум, чтобы избежать влияния воздушных потоков, конвекции, подъемных сил и т.д. Управление весами осуществлялось дистанционно (C). Колебания весов измерялись с помощью светового луча, отраженного от вогнутого зеркала (S) в верхней части весов (A). Зеркало давало четкое изображение нити электрической лампочки на расстоянии 12 метров. Отклонение светового пятна на 170 мм соответствовало 1 мг веса, и было возможно измерить перемещение положения светового пятна на 1 мм , что соответствовало изменению веса на $0,59 \mu\text{г}$.

На левой стороне весов был помещен 1274-граммовый свинцовый шар (m'). К правой стороне весов на длинной (80 см) латунной нити был подвешен второй свинцовый шар с такой же массой (m). Он помещался в полую латунную сферу (V'), которая в свою очередь была помещена в другую латунную полую сферу (V). Эти две сферы не соприкасались. Внешнюю сферу можно было окружить ртутью, наливавшейся в крепкий деревянный цилиндр (U). Весы и сосуд изолировались от внешней среды чехлом из трех слоев верблюжьей шерсти, чтобы избежать влияния изменений температуры. Измерения и управление аппаратурой производились из другой комнаты с расстояния 12 метров от весов, чтобы избежать механического и теплового влияния наблюдателя.

Попытка измерения точного веса пробного тела не производилась. Вместо проведения двух исключительно точных измерений и нахождения затем их разницы, Майорана пытался определить изменение веса пробного тела, когда оно окружалось ртутью.

Сначала система была тщательно сбалансирована и приведена в равновесие. Весы, однако, никогда не были полностью неподвижны, и отраженный световой пучок оставался дрейфующим во время всех экспериментов. Измерения производились, когда дрейф пятна был регулярным и медленным (около 5 мм в час). Во время измерений сначала заполняли ртутью деревянный сосуд, а затем ртуть выливали и наблюдали, есть ли изменение равновесия весов. Ожидалось, что вес пробного тела будет немного уменьшаться, когда его окружит ртуть, а затем вес вернется к начальной величине, когда ртуть выльют.

Весы оказались настолько чувствительными, что первые измерения оказались возможны лишь после полуночи (с 1:30 до 4:30 утра), чтобы устранить вибрации от уличного движения. Микровибрации искажали отраженное пятно, делая невозможными точные наблюдения; большие вибрации из-за проезжающих трамваев и грузовиков

постоянно заставляли пятно колебаться на несколько миллиметров. Наилучшие условия для наблюдений имели место во время всеобщих забастовок с 13 по 15 июня и с 20 по 21 июля 1919 г. Поскольку о забастовках было объявлено заранее, Майорана получил возможность подготовить аппаратуру и провести все юстировки, чтобы использовать эту оказию (Майорана, 1919–20 б, стр. 26).

В лаборатории сохранялась стабильная температура (в течение дня изменение было менее 2 градусов Цельсия). Типичная серия измерений проводилась за несколько часов. Кожухи вокруг пробного тела гарантировали, что изменение температуры во время эксперимента составит не более чем несколько сотых градуса. Вакуум внутри устройства поддерживался ртутным насосом, который включался за много часов до начала каждого опыта и работал в течение всего времени измерений. Он удерживал внутреннее давление на уровне менее 0,1 мм ртутного столба. Майорана рассчитал возможный эффект подъемных сил и отметил, что он меньше чувствительности весов.

Пробное тело нужно было поместить точно в центре полый сферы, а уровень ртути внутри деревянного цилиндра должен был быть отрегулирован так, чтобы полая сфера оказалась точно между ее верхним и нижним уровнями. С помощью катетометра положение всех твердых частей устройства устанавливалось с точностью до 0,1 мм. Движение ртути контролировалось дистанционно, ее уровень определялся с помощью электроконтактов. После некоторых усовершенствований Майорана мог управлять ее уровнем с точностью от 0,1 до 0,2 мм.

Чувствительность весов проверялась с помощью добавки в 1 мг, и было замечено, что чувствительность не остается постоянной. Необходимо было сначала подготовить опыт — обеспечить вакуум, а затем ждать несколько дней, пока система не станет стабильной. Через трое суток чувствительность становилась почти постоянной (изменение около 1%). Майорана проверял чувствительность весов, еще и наполняя деревянный цилиндр ртутью до уровня пробного тела и наблюдая результирующую ньютоновскую силу притяжения. Рассчитанная сила равнялась 32,6 μ г и наблюдаемое перемещение светового пятна было в согласии с предсказанной величиной 5,6 мм.

Коромысло весов непрерывно колебалось с периодом около 2 минут и, следовательно, световое пятно никогда не оставалось в покое: оно колебалось с амплитудой примерно 1 мм. Кроме того, существовал медленный дрейф положения равновесия. Таким образом, все измерения положения были результатом трех наблюдений: верхнего положения h_1 светового пятна в течение одного колебания, его нижнего положения h_2 во время этого же колебания и его верхнего положения h_3 во время следующего колебания. Среднее положение пятна

рассчитывалась как $p = (h_1 + h_3 + 2h_2)/4$. Каждое положение измерялось с точностью до 0,1 мм, но Майорана использовал два десятичных знака в среднем значении.

Наблюдения производились следующим образом. Когда устройство стабилизировалось и деревянный цилиндр наполнялся ртутью до нужного уровня, по шкале измерялось положение светового пятна по описанному выше методу с точностью до 0,1 мм. Это занимало 2–3 минуты. Пусть первое среднее положение будет C_1 . Затем ртуть из цилиндра выпускалась. Эта операция занимала около 2 минут. Снова измерялось положение светового пятна (S_2). Немедленно после этого цилиндр опять наполнялся ртутью до нужного уровня. Эта операция занимала около 3 минут. Сразу же после корректировки уровня ртути положение светового пятна измерялось снова (C_3). Если световое пятно не дрейфовало, то C_1 равнялось бы C_3 . Фактически они всегда слегка различались. Из-за этого, вместо того чтобы сравнивать S_2 с C_1 и C_3 , Майорана сравнивал его с их средним $(C_1 + C_3)/2$. Интервалы времени между тремя измерениями выдерживались одинаковыми. Опубликованный Майораной график (Рис. 7) представляет четыре серии наблюдений.

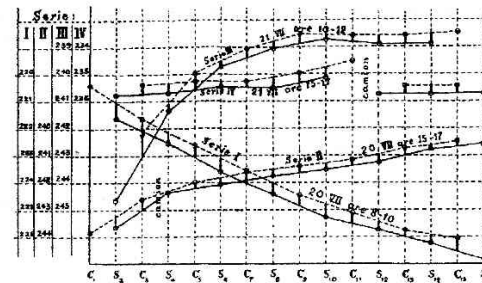


Рис. 7. В опытах Майораны постоянно наблюдался дрейф положения равновесия весов. Для обнаружения изменения веса он производил последовательные определения положения равновесия, когда пробное тело было окружено экраном из ртути (отметки C) и без ртутного экрана (отметки S). На графике точки, соответствующие измерениям без гравитационного экрана, соединены сплошными линиями, а точки, соответствующие измерениям с гравитационным экраном, соединены пунктирами. Во всех сериях две линии отчетливо разделены и примерно параллельны друг другу

Можно заметить медленный дрейф положения равновесия и легко видеть, что измерения «С» (ртуть окружает пробное тело) и измерения «S» (пробное тело не окружено ртутью) отчетливо отличаются друг от друга.

Каждая серия занимала несколько часов, за это время можно было сделать от 10 до 30 измерений. Во время забастовки 20–21 июля 1919 г. Майорана сумел получить 57 величин изменения веса пробного тела, окруженного ртутью. Во всех случаях он наблюдал *уменьшение* веса. Среднее из этих наблюдений получилось равным $(0,358 \pm 0,012)$ мм, что соответствовало изменению веса на $(2,09 \pm 0,07)$ мкг.

Однако, было необходимо откорректировать результат, приняв во внимание несколько известных влияющих факторов. В каждом опыте около 100 кг ртути переливалось из 6 баков в деревянный цилиндр и обратно. Пробное тело помещалось точно посередине баков и деревянного цилиндра; таким образом, на него действовала нулевая результирующая гравитационная сила. Тем не менее, необходимо было учесть гравитационное воздействие ртути на коромысло весов и противовес. Майорана рассчитал эти эффекты и нашел, что ими нельзя пренебречь. Когда ртуть заполняла деревянный цилиндр, ньютоновские гравитационные силы имитировали уменьшение веса на 1,2 мкг (около половины наблюдаемого эффекта). Таким образом, вычитая силы притяжения, был получен суммарный измеренный эффект уменьшения веса на 0,97 мкг.

Могло ли быть это уменьшение веса обусловлено другими классическими причинами? Было естественным проверить, не объясняет ли это уменьшение веса маленькая ошибка в положении пробного тела внутри полой сферы или небольшая ошибка оценки положения уровня ртути. Однако Майорана показал, что для получения наблюдаемого эффекта необходима разница верхних уровней ртути в 5 мм, а он был уверен в том, что неопределенность уровня лежит в пределах 0,2 мм. И по его данным, асимметрия деревянного цилиндра или неопределенность в положении полой сферы и пробного тела в центре ртутного экрана могли дать изменение веса лишь около $\pm 0,09$ мкг.

Влияние электрических сил можно было отбросить, благодаря электрозащите и заземлению. Однако магнитные силы могли присутствовать, и Майорана несколько раз проверял эту возможность. В конце концов, он отверг и это классическое объяснение. После учета всех известных влияний и возможных ошибок он пришел к окончательному результату: когда пробное тело было окружено ртутью, его вес изменялся на величину $(-0,97 \pm 0,16)$ мкг. Учитывая размеры деревянного сосуда и плотность ртути, Майорана вычислил следующее значение постоянной h :

$$h = (6,67 \pm 1,1) \times 10^{-12} \text{ см}^2 \text{ г}^{-1}.$$

Полученная в результате этих измерений величина была сравнима с ранее определенным верхним пределом $7,65 \times 10^{-12} \text{ см}^2 \text{ г}^{-1}$.

Применяя этот результат к Солнцу, Майорана рассчитал, что его истинная плотность должна быть в три раза больше его кажущейся плотности. Этот результат был найден для простой модели однородной сферы.

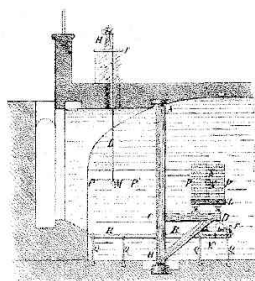
Описанный выше результаты в виде резюме были опубликованы также в трудах Французской Академии Наук (Майорана, 1919а, 1919б) и в *Philosophical Magazine* (Майорана, 1920).

6. Второй эксперимент Майораны

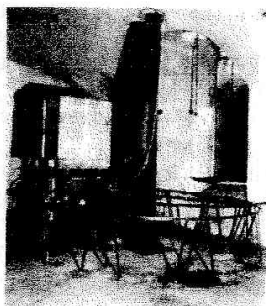
Через два года после первых измерений Майорана повторил эксперимент, но на этот раз он окружил пробное тело 9603 килограммами свинца вместо 104 килограммов ртути, использованной в предыдущий раз (Майорана, 1920–22). Из практических соображений масса свинца имела кубическую форму, вместо цилиндрической, использовавшейся в случае с ртутью. Вместо цельного куба он сложил вместе 288 свинцовых кирпичей, построив два полукуба, которые можно было соединять вокруг пробного тела или отодвигать от него.

Согласно предшествующим измерениям и предполагая, что поглощение гравитации зависит только от плотности, а не от других свойств экранирующего вещества, можно было надеяться, что уменьшение веса в данном случае будет в 5,4 раза больше. Поэтому ожидалось, что новые измерения позволят уточнить величину постоянной гравитационного поглощения h .

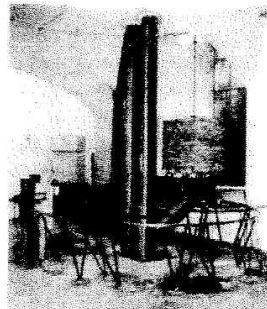
Во втором эксперименте поглощение гравитации создавалось свинцовым кубом со стороной 95 см и общим весом около 10 тонн — почти в сто раз больше массы ртути, использованной в первом опыте. Ньютоновское притяжение, создаваемое свинцовым кубом, должно быть соответственно больше и, чтобы избежать сильных возмущений, действующих на противовес и аппаратуру, Майорана увеличил расстояние между пробным телом и весами (рис. 8). Свинцовый куб был смонтирован в подвале здания. Весы (Н) находились в цокольном этаже, обе лаборатории соединялись отверстием. Два отдельных полукуба можно было отодвигать на 3 метра от пробного тела (М), вращая их на подставках вокруг оси (АВ).



а



b



с

Рис. 8. Во втором экспериментальном устройстве (а) Майораны в качестве гравитационного экрана использовался большой свинцовый куб РР. Пробное тело М, находящееся в подвале, было подвешено к весам Н, находящимся в цокольном этаже здания. Две половинки свинцового куба поддерживались деревянными конструкциями, которые могли вращаться вокруг вертикальной стойки АВ и занимать положение Р'Р'. Измерения производились с пробным телом, заключенным в свинцовый куб, и с убраннным кубом. Фото показывают оба варианта: (b) — куб отведен в сторону, (с) — куб окружает тело

Майорана усовершенствовал свою аппаратуру, чтобы избежать нескольких прошлых проблем. Но возникли новые огромные экспериментальные проблемы. Перемещение большой массы свинца создавало небольшой, но ощутимый перекося всего здания, в котором проводился опыт. Деформация здания вызывала наклон весов примерно

на 10». Необходимо было измерить и попытаться скомпенсировать или хотя бы оценить вклад всех этих помех. Майорана предпочел скомпенсировать наклон, смонтировав весы на специальной платформе, которую можно было вывести в горизонтальное положение после перемещения свинцового экрана (рис. 9).

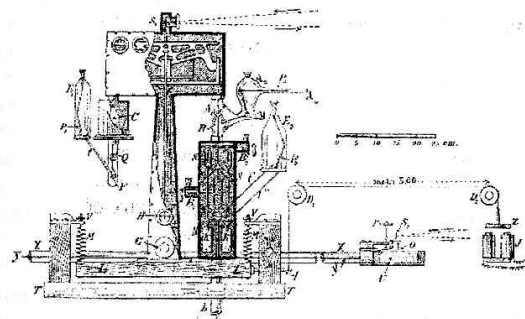


Рис. 9. Во втором опыте Майораны перемещение тяжелого свинцового блока создавало заметный наклон весов с последующим изменением положения равновесия. Для устранения этой проблемы итальянский физик сконструировал специальную платформу для весов, которую можно было горизонтально отъюстировать дистанционным способом, чтобы исключить наклон

Он придумал особый способ определения наклона меньшего 1", и с помощью небольшого электромагнита смог компенсировать этот наклон.

Необходимо было также учесть, как и в предыдущем опыте, притяжение противовеса свинцовым блоком, но теперь возникли новые возмущения. Свинцовые блоки покоились на массивных деревянных подставках, которые создавали заметные силы, действующие как на противовес, так и на пробное тело. К тому же свинцовые блоки перемещались электромотором, ньютоновское притяжение которого также нужно было учитывать. Майоране пришлось использовать некоторые железные детали, так что весы подвергались действию заметных магнитных эффектов.

Ньютоновские эффекты были рассчитаны и учтены. Магнитные силы были измерены путем отсоединения пробного тела от весов и использования третьего эквивалентного груза, помещенного на уровень весов.

В одной типичной серии измерений Майорана наблюдал полное изменение веса на величину $+1,04 \mu\text{г}$ (т.е., вес *увеличился*), когда пробное тело находилось внутри свинцового куба. Однако в этом положении магнитные влияния создавали направленную вниз силу, эквивалентную $+1,47 \mu\text{г}$, и, следовательно, получалась немагнитная сила величиной $0,43 \mu\text{г}$, направленная *вверх*. Перемещение свинцового блока, вместе с его опорами и другими сопутствующими телами (электромотор и пр.), создавало направленный вниз ньютоновский эффект, эквивалентный $3,78 \mu\text{г}$, а ньютоновское притяжение свинцовыми блоками противовеса создавало направленный вверх эффект, эквивалентный $2,75 \mu\text{г}$. С учетом всех этих сил, оставалась направленная вверх результирующая сила величиной $1,79 \mu\text{г}$, которая интерпретировалась как уменьшение веса из-за поглощения гравитации.

Заметим, что систематические ошибки были очень велики — а именно больше, чем измеренный эффект. При таких обстоятельствах можно удивляться, что Майорана что-то вообще сумел измерить. Майорана и сам был обеспокоен, поэтому провел тонкую проверку. Он поместил 15-килограммовый свинцовый диск на полу подвальной лаборатории под пробным телом. Ньютоновское гравитационное притяжение пробного тела, производимое этим свинцовым диском, давало несколько $\mu\text{г}$. Повторив опыт, он заметил, что может измерить этот эффект — то есть ошибки не маскировали такое очень малое влияние, как это. Поэтому он сделал вывод, что измеренный эффект был реальным.

Майорана рассматривал другие возможные объяснения наблюдаемого уменьшения веса. Возможно, что пробное тело не находилось точно в центре свинцового экрана и т.п. Однако для создания наблюдаемого уменьшения веса необходимо было смещение вниз на 5 мм, а он был уверен, что ошибки определения положения были меньше 0,5 мм.

С учетом всех поправок, которые получил Майорана в 19 сериях наблюдений, средняя величина уменьшения веса получилась равной $(2,01 \pm 0,10) \mu\text{г}$ (Майорана, 1921–22, стр. 144). Это составляло около половины ожидаемого значения. Таким образом, из опытов со свинцовым экраном Майорана получил другую величину постоянной h :

$$h = (2,8 \pm 0,1) \times 10^{-12} \text{ см}^2 \text{ г}^{-1}.$$

Различие можно было бы объяснить или экспериментальными ошибками, или зависимостью поглощения гравитации от химического состава поглощающего тела. Майорана, однако, не выбрал ни одной из этих альтернатив. Он призывал других ученых повторить его опыты, чтобы проверить его результаты.

7. Поздние работы Майораны

Экспериментальная работа Майораны никогда не подвергалась критике. В самом деле, когда читаешь детальные отчеты о его опытах, трудно найти какой-либо источник ошибок, который он не принял бы во внимание. Дискуссия, последовавшая после опубликования этих его результатов, сфокусировалась на их следствиях и совместимости с другими принятыми результатами. Сам Майорана всегда подчеркивал, насколько важно воспроизвести его эксперименты, чтобы проверить их результаты, но никто никогда их так и не осуществил. Однажды Альберт Абрахам Майкельсон написал Майоране и попросил разрешения повторить его опыты в обсерватории Маунт-Вилсон. Майорана с энтузиазмом согласился, но опыт так и не был осуществлен. Возможно, Майкельсон отказался от этой мысли из-за того, что понял насколько трудно воспроизвести или улучшить столь тонкий эксперимент на доступном тогда инструментарии.

В 1930 году Майорана был приглашен сделать доклад во Французском Физическом Обществе. Он говорил о своих гравитационных экспериментах (Майорана, 1930). Там он опять отмечал: «Я ни в коем случае не настаиваю, что мои опыты (...) полностью убедительны и окончательны. Однако, по моему мнению, было бы полезно, чтобы мои более искушенные коллеги повторили их и усовершенствовали. Вполне может случиться, что эти возможные исследования приведут к выводу о том, что обнаруженный мною эффект должен быть уменьшен в большей или меньшей степени, или что предел чувствительности или ошибки наблюдения не позволяют в действительности наверняка определить этот эффект. Но даже в этом случае физик, проделавший эту работу, послужил бы прогрессу науки (Майорана, 1930, стр. 314)».

Опыты Майораны были осуществлены в физической лаборатории Туринского Политехнического Института. Однако, в конце 1921 года Майорана стал заведовать кафедрой физики Болонского Университета, сменив на этом посту Августо Риги. Похоже, что в новой лаборатории оборудование было лучше, чем в старой (см. Перукка, 1954, стр. 359). Майорана начал новую серию экспериментов по поглощению гравитации, но их детальное описание никогда не было опубликовано.

Основная трудность, с которой столкнулся Майорана в своих опытах, возникала из-за деформаций здания в результате перемещения почти 10 тонн свинца. Чтобы избежать этого Майораны, в Болонье Майорана уменьшил вес свинца до 380 кг. Устройство весов было также другим: цилиндрический свинцовый экран последовательно размещали вокруг каждого из двух пробных тел, подвешенных к весам, чтобы получить удвоенный эффект. Майорана утверждал, что

возникли новые источники ошибок, и что из новых измерений невозможно получить никакого достоверного значения величины коэффициента поглощения гравитации (Майорана, 1930, стр. 321).

В Болонье Майорана пытался также усовершенствовать свой эксперимент с ртутью. Было выбрано новое расположение сосудов с ртутью, так что ее полный вес все время был приложен к одной и той же точке подвала. В 1930 году Майорана еще продолжал совершенствовать подвеску своих весов и не мог представить количественных результатов: «Немногие измерения, которые удалось провести, похоже, дали результаты, подтверждающие смысл обнаруженного ранее эффекта, т.е. поглощение гравитационной силы. Хотя в данный момент я не могу представить количественных результатов по искомому эффекту, я убежден, что с помощью новой установки, которая сейчас проходит проверку, через какое-то время я смогу высказаться ясно по данному предмету (Майорана, 1930, стр. 32)».

Результаты новых измерений Майораны никогда не были опубликованы. Что произошло? Похоже, что его внимание привлекли новые интересы. Около 1930 года, Майорана глубоко погрузился в военный проект по разработке связи на основе ультрафиолетового и инфракрасного излучения (см. Майорана, 1941, стр. 81–82). По-видимому, его гравитационные эксперименты были отложены и не закончены. В самом деле, в 1941 году Майорана еще ссылаясь на свои попытки в Болонье, замечая: «Эффект получается того же порядка, как и тот, который наблюдался в Турине. Однако пока невозможно окончательно установить его точную величину. Существует слишком много возмущений, которые действуют разным образом, когда варьируются условия эксперимента. Несмотря на это, до сих пор существование эффекта всегда подтверждалось. Это очень тонкие исследования, и требуются месяцы и даже годы тщательной работы на их подготовку. Если их усовершенствовать, то в будущем они могут сказать последнее слово по этому интересному предмету (Майорана, 1941, стр. 80)».

Это будущее так и не наступило. К моменту своей смерти в 1957 году Майорана опубликовал несколько статей, где ссылаясь на свои гравитационные эксперименты, но повторить их он так и не сумел.

8. Измерил ли Майорана поглощение гравитации?

В 1920-х все были согласны, что Майорана добросовестный исследователь, и его экспериментальный метод критике никогда не подвергался. Имеются, однако, три сомнительных места.

Первое: в его экспериментах достигнутая чувствительность была по величине того же порядка, что и измеренный эффект. В самом деле, отдельно взятое положение светового пятна на шкале определя-

лось с точностью 0,1 мм, что соответствовало изменению веса на 0,6 $\mu\text{г}$. В опыте со ртутью результирующим измеренным эффектом было уменьшение веса на 0,97 $\mu\text{г}$, в эксперименте со свинцом – на 2,0 $\mu\text{г}$. Было проведено много измерений, и среднее значение показало малое стандартное отклонение, но все же всегда рискованно пытаться измерять эффект того же порядка, что и чувствительность измерительного инструмента.

Второе: известные систематические ошибки были того же порядка (а иногда даже больше), что и величина измеренного эффекта. Майорана все время старался уменьшить эти возмущения, и в некоторых случаях легко видеть, как можно было бы улучшить его эксперименты. Например, магнитные эффекты, действующие на весы, и ньютоновские эффекты, вызываемые действием свинцовых масс на противовес, можно было бы уменьшить на 25%, если бы Майорана переместил весы на следующий этаж здания. Похоже, что в Болонье он пытался уменьшить некоторые возмущения, но не смог достичь определенных результатов.

Третье: Майорана представил на суд общественности не все свои результаты, и он определенно *выбирал* для публикации некоторые из них. Из экспериментов с ртутью он представил лишь обработанные 57 измерений, сделанных 20 и 21 июля 1919 года. А что же остальные его опыты? И почему он так и не опубликовал никаких данных болонских экспериментов? Если бы новые данные были в согласии с предыдущими, он наверняка бы их опубликовал. Может быть, в разных сериях он получил очень разные результаты и увидел, что по полному набору полученных результатов никакого заключения сделать нельзя. Это могло бы прояснить лишь тщательное изучение всех его неопубликованных лабораторных записей (если они сохранились).

Возможно, что поглощения гравитации не существует и Майорана измерял какое-то неизвестное переменное воздействие. В самом деле, и в старых и в недавних гравитационных экспериментах нахождение необъяснимых систематических эффектов – обычное дело (Кук, 1987, 1988). Как замечал Кук, «трудно достигнуть адекватного понимания экспериментов на пределе доступной техники» (Кук, 1987, стр. 76). Майорана определенно довел чувствительность измерения веса до предела. Хотя он и был прекрасным экспериментатором, его результат мог быть вызван какими-нибудь систематическими ошибками.

Но измерения Майораны нельзя отметить просто из-за возможных *сомнений* в том, а верны ли они (и потому, что они противоречат принятой большинством гравитационной теории).

Благодарность

Автор благодарит Научный Фонд штата Сан-Пауло и Бразильский Государственный Совет по Научному и Технологическому Развитию за их поддержку этого исследования.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Armellini Giuseppe (1948). «Il moto del perielio di Mercurio nell'ipotesi di un assorbimento del flusso gravitazionale attraverso i mezzi materiali.» *Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Rendiconti* 5: 288–94.
- [2] Austin Louis Winslow and Thwing, Charles Burton (1897). «An experimental research on gravitational permeability.» *Physical Review* 5: 294–300.
- [3] Cook Alan (1987). «Experiments on gravitation.» In *Three hundred years of gravitation*. Stephen Hawking and Werner Israel, eds. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 51–79.
- [4] Cook Alan (1988). «Experiments on gravitation.» *Reports of Progress in Physics* 51: 707–757.
- [5] Gillies George T. (1987). «The Newtonian gravitational constant.» *Metrologia – International Journal of Scientific Metrology* 24 (Suppl): 1–56.
- [6] Gillies George T. (1990). «Resource letter MNG-1: Measurements of Newtonian gravitation.» *American Journal of Physics* 58: 525–534.
- [7] Gillies George T. (1997). «The Newtonian gravitational constant: recent measurements and related studies.» *Reports of Progress in Physics* 60: 151–225.
- [8] Majorana Quirino (1918–19). «Nuove ipotesi cosmogoniche e nuovo fenomeno gravitazionale.» *Atti della Reale Accademia delle Scienze di Torino* 54: 667–9.
- [9] Majorana, Quirino (1919a). «Sur la gravitation.» *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* 169: 646–649.
- [10] Majorana Quirino (1919b). «Expériences sur la gravitation.» *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* 169: 719–721.
- [11] Majorana Quirino (1919–20a). «Sulla gravitazione.» *Atti della Reale Accademia delle Scienze di Torino* 55: 69–88.
- [12] Majorana Quirino (1919–20b). «Sulla gravitazione.» *Atti della Reale Accademia dei Lincei. Rendiconti. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali* [series 5] 28 (2° Semestre): 165–174, 221–223, 313–317, 416–421, 480–489; 29 (1° Semestre): 23–32, 90–99, 163–169, 235–240.
- [13] Majorana Quirino (1920). «On gravitation. Theoretical and experimental researches.» *London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine* [series 6] 39: 488–504.
- [14] Majorana Quirino (1921). «Sur l'absorption de la gravitation.» *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* 173: 478–479.

- [15] Majorana Quirino (1921–22). «Sull'assorbimento della gravitazione.» *Atti della Reale Accademia dei Lincei. Rendiconti. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali* [series 5] 30 (2° Semestre): 75–9, 289–94, 350–4, 442–6; 31 (1° Semestre): 41–5, 81–6, 141–6, 221–6, 343–6.
- [16] Majorana Quirino (1930). «Quelques recherches sur l'absorption de la gravitation par la matière.» *Journal de Physique et le Radium* [series 7] 1: 314–323.
- [17] Majorana Quirino (1941). «Le mie ricerche scientifiche.» *Nuovo Cimento* 18: 71–86.
- [18] Majorana Quirino (1954). «Su di un'ipotesi cosmogonica.» *Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Rendiconti. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali* [series 8] 17: 150–157.
- [19] Majorana Quirino (1957a). «Sull'ipotesi dell'assorbimento gravitazionale.» *Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Rendiconti. Scienze fisiche, matematiche e naturali* [series 8] 22: 392–397.
- [20] Majorana Quirino (1957b). «Ipotetiche conseguenze dell'assorbimento gravitazionale.» *Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Rendiconti. Scienze fisiche, matematiche e naturali* [series 8] 22: 397–402.
- [21] Martins Roberto de Andrade (1999). «The search for gravitational absorption in the early 20th century.» In: Goemmer, H., Renn, J., & Ritter, J. (eds.). *The expanding worlds of general relativity* (Einstein Studies, vol. 7). Boston: Birkhäuser, pp. 3–44.
- [22] Perucca Eligio (1958). «Commemorazione del socio Quirino Majorana.» *Rendiconti delle Sedute della Accademia Nazionale dei Lincei* 25: 354–362.
- [23] Poincaré Jules Henri (1953). «Les limites de la loi de Newton.» [1906–07] *Bulletin Astronomique* 17: 121–269.
- [24] Taylor W. B. (1876). «Kinetic theories of gravitation.» *Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution*, 205–282.
- [25] Woodward James F. (1972). *The search for a mechanism: action-at-a-distance in gravitational theory*. Denver: University of Denver (PhD. thesis, UMI 72–33,077).

ПОИСКИ МЕХАНИЗМА ГРАВИТАЦИИ

Сборник статей под редакцией
М.А. Иванова и Л.А. Саврова

НИЖНИЙ НОВГОРОД
Изгатель Ю.А. Николаев
2004

УДК 531.5+530.12+524.7+524.822

ПОИСКИ МЕХАНИЗМА ГРАВИТАЦИИ: Сборник статей / Под ред.
М.А. Иванова и Л.А. Саврова. – Нижний Новгород: Изд. Ю.А. Николаев,
2004. – 304 стр.

ISBN 5-93529-022-7

Сборник статей, в которых описывается история подхода Лесажа (гравитация за счет отталкивания), экспериментальные поиски возможного поглощения гравитации и других аномалий, результаты астрофизических наблюдений за галактиками и другими объектами, связанные с проблемой недостающей массы, и их возможная интерпретация, а также некоторые возможные механизмы гравитации.

Включенные в сборник статьи написаны историками науки, геофизиками, астрофизиками, физиками, и мы надеемся, что книга может быть интересна как людям этих специальностей, так и студентам, их изучающим, а некоторые статьи будут доступны и интересны просто любителям науки.

ISBN 5-93529-022-7

© Коллектив авторов, 2004
© Перевод Л.А. Савров, М.А. Иванов, 2004
© Издатель Ю.А. Николаев, 2004