

# Геннадий Горелик: Наука и жизнь на заре cgh-физики

 7i.7iskusstv.com/y2019/nomer8/ggorelik/

August 20, 2019

## [Геннадий Горелик](#)

### Наука и жизнь на заре cGh-физики \*



Тема этой статьи даёт историку науки уникальную возможность участвовать в обсуждениях почти наравне с физиками. Основная проблема так долго не подаётся решению, что, оставаясь научной, она успела стать проблемой историко-научной.

Проблема квантовой гравитации восходят к Матвею Петровичу Бронштейну и к 30-м годам 20-го века. Однако историку, желающему помочь физикам в ситуации кризиса, лучше не развлекать их подробностями, давно смытыми потоком истории, а передать ощущение тогдашнего кризиса. Это могло бы утешить одних, кого угнетает нынешний кризис, и укрепить других, кто в тумане грядущего угадывает очертания решения. А третьим, быть может, удастся научиться чему-то у истории. И, прежде всего, напомним ёмкие обозначения, которым физика уже научилась у истории, точнее у самого Бронштейна, впервые развившего **cGh**—точку зрения на теоретическую физику, заменяя эпитеты *релятивистский*, *гравитационный* и *квантовый* соответствующими универсальными постоянными **c**, **G** и **h**.

Тем, кто не считает нынешнюю ситуацию в **cGh**—физике кризисной, в качестве вещественного доказательства приведу две книги, вышедшие в сентябре 2006 года и говорящие о кризисе уже своими названиями:

“The Trouble with Physics: The Rise of String Theory, the Fall of a Science, and What Comes Next”, by Lee Smolin. (Houghton Mifflin, 2006).

“Not Even Wrong: The Failure of String Theory and the Search for Unity in Physical Law”, by Peter Woit. (Basic, 2006).

Знак кризиса можно усмотреть и в 2004 году, когда две монографии с одинаковым названием *Quantum Gravity* признали, что проблема остаётся широко открытой, а один из создателей самой успешной *ch*—теории (КЭД) Ф. Дайсон предположил, что «квантовая гравитация физически бессмысленна» [1– 3].

Моя цель — обосновать, что главную причину *cGh*—кризиса впервые обнаружил Матвей Петрович Бронштейн 70 лет назад и что сама продолжительность этого кризиса свидетельствует о его глубине.

Но начать лучше с предыдущего кризиса.

## *ch*-кризис

---

Этот кризис был осознан в конце 20-х годов под влиянием новых экспериментальных результатов и вполне логичных теоретических соображений. К парадоксам вели тогдашние представления о ядре как состоящем из протонов и электронов — тогда единственно известных элементарных частиц.

Вот как описывал настроение того кризисного момента Бронштейн в сентябре 1930:

*«Есть много оснований говорить о том, что и в настоящее время (1929-1930) квантовая теория вновь вступила в очередную полосу кризиса. Всего лишь пять лет прошло с тех пор, как Гейзенберг в своей «матричной механике» нашёл, как казалось, золотой ключ, открывающий все двери <> Весною 1930 года в Копенгагене у Нильса Бора собрался совет, <> в том числе <> Паули и Гейзенберг. Совет заседал в шутливо-торжественной обстановке, и в руках у Паули был рог, в который он трубил каждый раз, когда хотел отметить в разбиравшихся теоретических построениях непонятное место или новую трудность. <>Положение было признано безнадежным, что и было отмечено в шуточной резолюции, в которой все присутствующие зарекались впредь заниматься квантовой теорией (Паули якобы решил впредь заниматься математикой, Гейзенберг — музыкой, и только осторожный Бор заявил, что ещё подумает)» [4].*



Матвей Петрович Бронштейн. Родился 2.12.1906, арестован 6.8.1937, казнен 18.2.1938

## НОВЫЙ КРИЗИС ТЕОРИИ КВАНТ

*М. П. Бронштейн*

своей критикой.

Есть много оснований говорить о том, что и в настоящее время (1929—1930) квантовая теория вновь вступила в очередную полосу кризиса. Всего лишь пять лет прошло с тех пор, как Гейзенберг в своей «матричной механике» нашел, как казалось, секретной икрой, стимулировавший нас, восторгавший нас Шредингера, для современного физика сдвинувшегося с принципом относительности, покажет, вероятно, ближайшее будущее. Возможно, что в течение того короткого срока, который пройдет от времени написания этой статьи (август—сентябрь 1930 г.) до появления ее перед читателем в печатном виде, будет выяснен окончательно вопрос о том, пойдет ли физика по столбовой дорожке дискретной геометрии или найдет совершенно иной выход из тупика. *Qui vivit videt.* Нам кажется, однако, что если даже программа дис-

Фрагмент статьи М. П. Бронштейна «Новый кризис теории квант» (Научное слово 1931, № 1)

Бронштейн наверняка опирался на сообщение «собственного корреспондента» на месте событий и своего друга — 22-летнего Льва Ландау, который тогда (с осени 1929 и до весны 1931) пребывал в научной командировке-стажировке в центрах европейской физики. Для Ландау музыка и математика никак не могли заменить физику. И он последовал за Бором — стал думать, со свойственным ему молодым энтузиазмом, подогретым к тому же революционными предчувствиями Бора. Бор предчувствовал, что решение ядерно-физического *ch*—кризиса потребует революционных перемен в теории, вплоть до отказа от закона сохранения энергии, что, однако, — в награду за смелость — могло объяснить источник звездной энергии. Странное сейчас совмещение ядерно-физического и *ch*—эпитетов следовало из того, что тогдашние «внутриядерные электроны», запертые в размерах ядра, обязаны были — по принципу неопределенности — иметь релятивистские скорости.

Ландау не стал ждать, пока старшие товарищи выяснят, что делать, и взялся за дело сразу с двух сторон — в физике микромира и в физике звезд. В первую задачу он вовлек Р. Пайерлса. Горячие дискуссии шли иногда в присутствии Паули, но тот сохранял холодную голову. И как-то раз, когда распаленный Ландау спросил Паули, неужели тот считает чушью всё, им сказанное, тот ответил остужающе: «*О нет, что вы! Далеко от этого! То, что вы сказали, настолько сумбурно, что нельзя даже сказать, чушь это или нет!*»

Неукротимого Льва это не остановило, и, завершив в Цюрихе выкладки, они с Пайерлсом повезли свою *ch*—работу в Копенгаген — показать Бору. Ведь в статье авторы указали, что развивают его идею: «*Следуя красивой идее проф. Нильса*

*Бора, можно думать, что излучение звезд обязано просто нарушению закона сохранения энергии, который, как впервые указал Бор, не справедлив в релятивистской квантовой теории...».*

Однако Бор, вместо благодарности своим последователям, принял их результат в штыки. Жаркое обсуждение запечатлелось у тогдашнего ассистента Бора — Леона Розенфельда:

*«Я прибыл в Институт в последний день февраля 1931 года, и первым, кого я увидел, был Гамов. Когда я спросил, что новенького, он в ответ протянул рисунок, только что им сделанный. Там был изображен Ландау, привязанным к стулу и с кляпом во рту. Перед ним стоял Бор с поднятым пальцем и говорил: 'Ландау, ну, пожалуйста! Дайте же мне хоть слово сказать!' Оказалось, что Ландау и Пайерлс приехали всего за несколько дней до того и привезли с собой какую-то статью, которую они хотели показать Бору. «Но, — добавил Гамов весело, — похоже, он не согласен с их доводами — и такие вот дебаты идут всё время.» Пайерлс уехал за день до того, «в состоянии полного изнеможения,» как сказал Гамов. Ландау оставался еще несколько недель, и у меня была возможность убедиться, что Гамов преувеличивал не больше, чем допустимо для художника-кариатуриста» .*



Сцена из ch-дискуссий в Копенгагене, глазами и рукой Г. Гамова

Само по себе несогласие Бора не остановило молодого Льва, — Бору тогда не удалось сформулировать свои доводы по-настоящему убедительно. В результате Ландау остался при своем мнении, статью отправил в журнал, и ... с тех пор считал Бора своим учителем. Но Ландау также не убедил своего новообретённого учителя. А проблему Бор счёл столь важной, что взялся превратить свои устные возражения в убедительные рассуждения «чёрным по белому». Эта работа потребовала двух лет и помощи Л. Розенфельда прежде, чем отправиться в печать.

На родину Ландау вернулся в приподнятом настроении, что чувствуется по его отчёту о научной командировке (лето 1931 г.) [5]. В центре отчёта «узловая проблема» — «проблема объединения в одно целое двух наиболее общих современных теорий: принципа относительности и теории квант». Эта проблема привела «к грандиозным затруднениям», за которые 23-летний Ландау и взялся:

*«в последнее время Peierls'у и мне удалось <...> на основании анализа возможных экспериментов показать, что основные физические принципы [квантовой механики] не выполнены при наличии предельной скорости распространения. Этим заранее обрекаются на неудачу все попытки непосредственного обобщения [квантово-механических] методов на случай релятивистской теории квант, попытки, за последнее время ставшие весьма частыми в мировой литературе. С другой стороны, установленные нами неравенства, представляющие собой дальнейшее обобщение знаменитого принципа неопределённости Heisenberg'a, дают возможность понять основные положения и характер ещё неизвестной нам полной теории вопроса. В частности, такой подход даёт возможность объяснить существование при  $\beta$ -распаде радиоактивных ядер непрерывного распределения скоростей вылетающих электронов, — явления, которое, в виду своего резкого противоречия закону сохранения энергии (N. Bohr), совершенно не могло быть истолковано с точки зрения современных теорий».*

С таким пониманием ситуации был согласен и Бронштейн, писавший:

*«Анализ принципа неопределённости в квантовой механике, произведённый Л. Ландау и Р. Пайерлсом (Z. Physik. 69, 56, 1931), показывает, что в релятивистской теории квантов должны потерять смысл такие понятия, как импульс электрона, его координаты, энергия <...> иными словами ни при каких условиях не может быть точно измерена, например, координата или же импульс электрона и т. д., а это означает, что сами понятия этих наблюдаемых величин теряют свой точный смысл. Как в шутку выразился Паули: 'Die Observable ist eine Groesse, die man nicht messen kann'; принцип неопределённости обычной квантовой механики чересчур определён для релятивистской теории квантов. С точки зрения этих идей становится совершенно очевидной принципиальная обречённость на неудачу всяких попыток реформировать квантовую механику, не порывая с её основными принципами» [6].*

Астрофизический аспект «узловой проблемы» в отчете Ландау выглядит так:

*«Другим основным результатом моей работы за границей было исследование вопроса о происхождении звездной энергии и внутреннем строении звезд. Эта проблема вызвала в настоящее время оживленную полемику среди астрофизиков, в особенности между Eddington'ом и Miln'ом. Я показал, что основные утверждения, обычно избираемые в основу расчета, оказываются лишёнными физического смысла и выяснил, что в действительности внутри звезд должно образовываться сжатое до плотности атомных ядер звездное ядро, которое и является источником излучения за счёт неприменимости к ядрам и аналогично построенным системам закона сохранения энергии».*

Соответствующую статью «On the theory of stars» Ландау опубликовал в 1932 году, и в том же году Бронштейн вовлек гипотезу о несохранении энергии в космологию. Понимая возможности и ограниченность  $cG$ —теории (ОТО), он считал, что космологическая проблема, и, в частности, временная асимметрия, требует учёта  $cGh$ —теории. Он попытался учесть  $ch$ —гипотезу о несохранении энергии, предполагая космологический член в уравнениях ОТО зависящим от времени, и так возникла первая физическая «константа», зависящая от времени и увязанная с расширением Вселенной.

Однако именно при обсуждении этой идеи Ландау обнаружил, что скрестить ОТО с гипотезой Бора невозможно. В добавлении к статье Бронштейна «О расширяющейся вселенной» (датированном 13.1.1933), читаем:

*«Ландау привлек мое внимание к тому факту, что выполнение гравитационных уравнений эйнштейновской теории для пустого пространства, окружающего материальное тело, несовместимо с несохранением массы этого тела. Это обстоятельство строго проверяется в случае решения Шварцшильда (сферическая симметрия); физически это связано с тем фактом, что эйнштейновские гравитационные уравнения допускают только поперечные гравитационные волны, но не продольные...»*

Гамов сообщил Бору неприятную для его гипотезы новость. Но у того было, чем утешиться, — к тому моменту устные доводы, по которым Бор в 1931 году не принял вывод Ландау-Пайерлса, воплотились в статью. Хотя статья Бора- Розенфельда устрашает своим объемом (более 60 страниц) и сложностью рассуждений, Бор был доволен и даже постарался смягчить свою новость, отвечая Гамову:

*«Надеюсь, некоторым утешением для Ландау и Пайерлса будет то, что глупости, которые они совершили в этом отношении, не хуже тех, в которых повинны все мы, включая Гейзенберга и Паули, по этому противоречивому вопросу».*

Впоследствии Бор нашел простой общий довод: если, как утверждает Ландау, при измерении координаты электрона неточность не может стать меньше некоторой величины, то эта величина должна следовать из самой  $ch$ —теории. Однако из констант  $c$  и  $h$  невозможно составить величину с размерностью длины.

И, тем не менее, Ландау остался при своем мнении. Его расхождение с Бором, проявившееся уже в 1931 году (и оставшееся навсегда), касалось понятия «возможного эксперимента» и — вопреки своему экспериментально-физическому звучанию — имело философско-методологическую природу. Ландау рассматривал мысленные эксперименты, связанные с существенно квантовыми («точечными», бесструктурными) элементарными частицами. А боровское понимание квантовой физики исходило из того, что макроскопический экспериментатор может иметь дело лишь с макроскопическими (классическими) приборами и вынужден измерять

среднее поле лишь в некоторой конечной области (размер которой можно и устремлять к нулю) и что мысленному экспериментатору разрешено всё, не запрещенное теорией. Иными словами, Ландау рассматривал схему эксперимента, которую можно было бы считать реализуемой по состоянию на 1931 год, не принимая во внимание, например, что могут быть открыты какие-то новые частицы, с иным соотношением заряда и массы (что в 1931 году выглядело, действительно, невероятным). А Бор относился к мысленному эксперименту, как инструменту внутри-теоретического анализа, ограниченному лишь исходными постулатами самой теории.

## От узловой $ch$ -проблемы к проблеме $cGh$ -теории

---

После работы Бора-Розенфельда к «узловой проблеме» прямо подключился Бронштейн. Он дружил с Ландау с университетских лет, высоко ценил его, но в данном случае стал не на его сторону. Бронштейн не просто принял результат Бора-Розенфельда, он, можно сказать, понял его лучше самих авторов. Весной 1934 года он опубликовал заметку, в которой упростил логику рассуждений Бора-Розенфельда, изложив её на трёх страницах вместо шестидесяти и, главное, прояснив их физическую природу. Попросту говоря, у мысленного экспериментатора, действующего в квантовой теории электромагнетизма, есть две «ручки» управления экспериментом: одна ручка меняет заряд пробного тела, другая — массу. И поскольку в  $ch$ -теории (электромагнетизма) нет ограничений на соотношение массы и заряда, у экспериментатора много измерительной свободы.

В самой заметке Бронштейна 1934 года о гравитации нет ни слова, но в его работах она присутствовала явно с 1929 года, и это, вероятно, помогло ему увидеть *«принципиальное различие между квантовой электродинамикой и квантовой теорией гравитационного поля»*, как он написал в следующем 1935 году в работе по квантовой гравитации.

Эту тему он выбрал предметом своей докторской диссертации — наперекор мнению Ученого совета ЛФТИ, что он представит «фактически написанную» диссертацию по теории полупроводников (кандидатскую степень Бронштейну присвоили без защиты за его статьи по астрофизике.)

Свою  $cGh$ -диссертацию он написал за летние месяцы. В августе направил в печать первую статью. А после защиты (22 ноября 1935 г.) послал в печать более подробный и усиленный вариант.

Обе статьи вышли в 1936 году, и их названия «Квантовая теория слабых гравитационных полей» и «Квантование гравитационных волн» [7, 8] соответствуют основной по объёму задаче квантования слабой гравитации. В этом — линейном — приближении общая структура решения задачи следовала уже известному случаю электромагнетизма, хотя тензорный характер и доведение до физически содержательных результатов потребовало трудных и объемных выкладок.

В каждой из этих статей есть часть, выходящая за пределы слабого поля, за пределы линейного приближения. По объёму это примерно десятая часть, но по значению — гораздо больше. То было первым осознанием глубины **cGh**—проблемы.

Попросту говоря, Бронштейн обнаружил, что в отличие от **ch**—теории (электромагнетизма), **cGh**—теорию (гравитации) уже не спасают ни исходное рассуждение Бора—Розенфельда, ни усовершенствованный им вариант. В гравитации нет двух независимых ручек для массы и заряда. Это — эквивалентность гравитационного заряда и инертной массы (открытая, по существу, ещё Галилеем).

Анализируя измеримость гравитационного поля, Бронштейн обнаружил, что в области, где существенны и квантовые и нелинейно-гравитационные эффекты, возникает неустранимое противоречие, и пришёл к сильному выводу:

*«Устранение связанных с этим [с cGh-неизмеримостью] логических противоречий требует радикальной перестройки теории и, в частности, отказа от римановой геометрии, оперирующей, как мы здесь видим, принципиально не наблюдаемыми величинами — а может быть, и отказа от обычных представлений о пространстве и времени и замены их какими-то гораздо более глубокими и лишенными наглядности понятиями. Wer's nicht glaubt, bezahlt einen Taler» [9].*

сказуемым“ лишь в том случае, если ограничимся рассмотрением достаточно больших объемов и промежутков времени. Устранение связанных с этим логи-

Устранение связанных с этим логических противоречий требует радикальной перестройки теории и, в частности, отказа от римановой геометрии, оперирующей, как мы здесь видим, принципиально <sup>НЕ</sup> наблюдаемыми величинами — а может быть и отказа от обычных представлений о пространстве и времени и замены их какими-то гораздо более глубокими и лишенными наглядности понятиями. Wer's nicht glaubt, bezahlt einen Thaler.

и соображения, изложенные в конце предыдущего параграфа, не играют роли, мы можем выводить следствия из перестановочных соотношений (54), или, что то же, (55). Начнем с нахождения собственных значений оператора энергии поля (52).

Для нахождения собственных значений оператора (52) удобно ввести следующие новые динамические переменные:

$$\left. \begin{aligned} Q_{00,k} &= \frac{1}{2} \left( h_{00,k} + \sum_l h_{ll,k} \right); & Q_{nn,k} &= \frac{1}{2} \left( \sum_l h_{ll,k} - h_{nn,k} \right); \\ Q_{lm,k} &= h_{lm,k} \quad (l \neq m); & Q_{0l,k} &= h_{0l,k}; \end{aligned} \right\} \quad (62)$$

Фрагмент статьи М. П. Бронштейна «Квантование гравитационных волн» (ЖЭТФ. 1936. Т. 6. С. 218). В оригинале пропущена частица «не» — явная описка

Такое предсказание требовало немалой силы духа не только потому, что оно прямо противоречило мнению высоких квантовых авторитетов Паули и Гейзенберга, которые (в 1929 году) уверенно заявили: «квантование гравитационного поля <...> проводится без каких либо новых трудностей с помощью формализма, вполне аналогичного» электродинамике [10].

Не менее существенно было то, что к 1935 году испарился революционный настрой фундаментальной физики начала 30-х годов. Открытие нейтрона, позитрона и утверждение нейтрино в теории Ферми обезвредило основные парадоксы ядерной физики. Настало время решения отдельных задач и новых экспериментов, а предсказания неизбежного слома ушли в прошлое.

Эта перемена научно-общественного мнения и могла побудить Бронштейна завершить свой драматический прогноз немецкой фразой, означающей «Кто этому не верит, с того талер». Тем самым он и подчеркнул пафос фундаментального вывода и одновременно смягчил его иронией.

Понятия «ирония» и «сила духа» не входят в словарь физики, но к рождению нового знания в физике и его развитию они причастны, как и некоторые другие ненаучные события. Вскоре после защиты **cGh**—диссертации М. П. Бронштейну исполнилось 29 лет,— жить ему оставалось всего полтора года, и эта жизнь была очень насыщенной.

На его письменном столе, рядом с высоконаучными статьями, понятными считанным коллегам, в работе были детские книги — при редакторском соучастии его жены Лидии Чуковской: «Солнечное вещество» и «Лучи Икс» вышли в Детиздате в 1936 и 1937 годах, книжка «Изобретатели радио» успела выйти лишь в журнальном варианте, и начата была книга о Галилее. В те же полтора года он успел завершить несколько научных работ, в том числе работу о (не)возможности спонтанного распада фотона, как обоснование реальности расширения Вселенной, — то было первое в истории реальное соединение **ch**-физики и **cG**—космологии. Кроме того, Бронштейн преподавал в Ленинградском университете и участвовал в разнообразной жизни физики. Особенно близкие отношения связывали его с Ландау.

Всё это кончилось 6 августа 1937 года, когда Матвей Петрович был арестован и исчез, — по тогдашнему выражению Ландау, «заэкранировался».

В апреле 1938 года заэкранировался и Ландау, но всего на год. Выйдя из тюрьмы, он несколько недель спустя приехал в Ленинград и пришёл к Лидии Чуковской. Она записала тогда в дневнике — лаконично:

«Он снял с моей души камень. А я и не знала, что камень был такой тяжёлый. Мне казалось, я об этом и не думаю... Перед уходом спросил:

— Вам меня не больно видеть?»

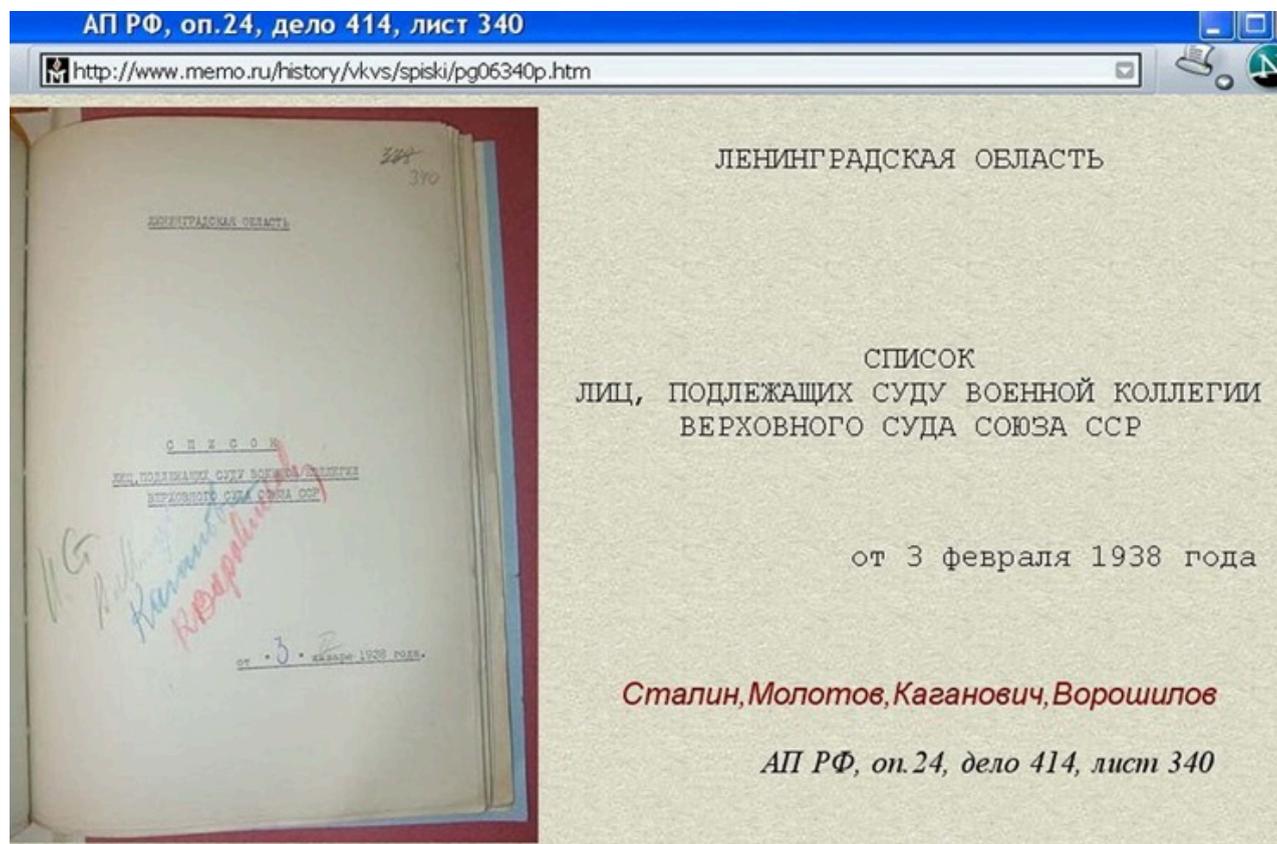
Много позже она пояснила, что испытала, узнав об аресте Ландау:

«Кроме острой боли за него, я испытала дополнительную боль: а вдруг они по общему делу, — Митя [М.П. Бронштейн] и Лёва — вдруг у Мити вынудили дать какие-нибудь показания против Лёвы? Камень этот был снят с моей души Лёвиным появлением и Лёвиным рассказом: его “дело” не было связано с Митиным. »

А вопрос Ландау означал, не больно ли ей видеть его, когда её Митя не вернулся.

О том, что её муж никогда не вернётся, она узнала достоверно лишь в декабре 1939 года.

И лишь недавно стало известно, что Матвея Петровича Бронштейна на смерть отправил своим росчерком лично Сталин. Расстрельный список с именем Бронштейна в алфавитном порядке датирован 3 февраля 1938, а две недели спустя, сразу после получасового заседания «суда», состоялась казнь.



Один из сотен уцелевших расстрельных списков, подписанных Сталиным. Список с именем Матвея Петровича Бронштейна датирован 3 февраля 1938. Две недели спустя, состоялся — получасовой — «суд» и сразу же казнь.

## **cGh-кризис в свете cG-истории**

Научные, научно-популярные и научно-художественные работы М.П. Бронштейна и свидетельства знавших его физиков делают несомненным, что его гибель была огромной потерей для науки. Сложнее вопрос, насколько изменилась бы история

квантовой гравитации, если бы Бронштейн не попал под колесо советской истории. Поскольку **cGh**—проблема так долго не поддается решению, напрашивается ответ типа «один в поле не воин», — особенно если поле квантово-гравитационное. Обосновать такой ответ можно было лишь после того, как **cGh**—теория будет построена (скептический Дайсон оговорился бы «если таковая вообще возможна»).

История науки предоставляет, однако, хорошую модель для проверки народной мудрости относительно «одного в поле». В данном случае речь идет о гравитационно-релятивистском поле, или о **cG**—теории, т.е. о теории тяготения Эйнштейна.

**cG**—кризис и его разрешение, в котором один человек сыграл столь большую роль, исследованы очень подробно. Конечно, Эйнштейн не был в буквальном смысле «один». Вращающийся диск П. Эренфеста, 4-мерная формулировка **c**—теории Г. Минковским, содействие М. Гроссмана и Д. Гильберта в освоении физиками нового математического языка, всё это — важные составляющие **cG**—истории. Но историки единодушны в том, что удельная роль Эйнштейна в ней необычно велика.

Предпосылки этой роли можно назвать интуицией, смелостью и силой духа. Сам Эйнштейн называл это менее возвышенно — собачий нюх и упрямство мула. Благодаря первому, он учуял в принципе эквивалентности надлежащую точку опоры, чтобы повернуть колесо истории физики на ещё один оборот — **cG**—переворот — всего через два года после **c**—переворота в теории относительности. А второе качество дало Эйнштейну стойкости на его 8-летний путь к **cG**—успеху.

Вопрос о роли Сталина в **cGh**-истории можно увязать с вопросом, как изменилась бы **cG**—история, если бы из неё Эйнштейн был «изъят» в том же 30-летнем возрасте, в каком был вырван из жизни М.П. Бронштейн, — т. е. в 1909 году. К тому моменту Эйнштейн уже нашёл точку опоры в принципе эквивалентности, но ещё не вышел на дорогу геометризации. Общая черта **cG**— и **cGh**—кризисов состояла в том, что практической — основанной на необъясненных экспериментах — надобности в новой теории не было. А теоретическая надобность воспринималась физиками с весьма разной остротой. Среди тех, кто реально проявился на пути от **c** — к **cG**—теории (Эренфест, Минковский, Гроссман, Гильберт, Ланжевэн, Нордстрем), не видно никого, сопоставимого с Эйнштейном по комбинации важнейших факторов, не последнее из которых — сила духа, способность к интеллектуальному одиночеству. Поэтому «изъятие» Эйнштейна могло обернуться многодесятилетней задержкой в появлении **cG**—теории (хотя вряд ли это утверждение можно обосновать без открытия внеземной цивилизации с иной реализацией истории физики).

Ситуация **cGh**—кризиса еще труднее. Для **cG**—случая Эйнштейн обнаружил две возможности экспериментальной проверки — смещение перигелия и отклонение света. Это хоть и астрономические, но не столь уникальные явления как начало Вселенной и финал коллапса звезды, требующие **cGh**—теории. Причина этого отличия вполне количественная — связанная с планковскими масштабами **cGh**—

физики  $\sim 10^{-33}$  см. Та же причина не позволяет ждать от природы экспериментальной **cGh**—подсказки и говорит о том, что решение **cGh**—проблемы будет в уникальной степени теоретическим. Есть и преимущество: для искомой **cGh**—теории известно больше предельных соответствий, чем для **cG**—теории: **c**—, **G**—, **h**—, **cG**—, **ch**—. Хотя одно лишь знание пяти «проекций» вряд ли достаточно для разгадывания полномерной **cGh**—теории.

В такой ситуации глубина понимания и сила духа «одного в **cGh**—поле» приобретает еще большее значение. Бронштейн не успел найти путеводную **cGh**—нить, но он понял, куда такая нить определенно *не поведёт*. Это тоже немало, если учесть, сколько усилий было потрачено на попытки квантового укрощения римановой геометрии. Даже если не ему было суждено найти точку опоры для создания **cGh**—теории, его участие в этом поиске было бы бесценным.

По воле российской истории искать **cGh**—теорию придется без М.П. Бронштейна. И по воле истории науки у искателей имеется широкий выбор даже в том, как относиться к самому предсказанию Бронштейна, основанному на анализе **cGh**—измеримости. Взгляды выдающихся физиков, связанных взаимным уважением и «развязанных» самостоятельностью мысли, — Ландау, Пайерлса, Бора, Розенфельда и Фока — существенно различались. Инициатор вопроса — Ландау — никогда не признал ущербность ответа, данного в работе Ландау—Пайерлса 1931 г. Пайерлс признал лишь неплототворность этой работы и правильность анализа Бора-Розенфельда. Бор был уверен в ошибочности рассуждения Ландау-Пайерлса, но особого характера гравитации не видел. Фок, который был оппонентом по **cGh**—диссертации М.П. Бронштейна и высоко её оценил, не придавал значения анализу **cGh**—измеримости. И лишь Розенфельд, первым формально проквантовавший слабое гравитационное поле, спустя тридцать лет пришел к мнению, что гравитация — не поле, подлежащее квантованию, а некое макроскопическое явление [12].

Такое разнообразие взглядов требует от каждого искателя **cGh**—истины выработать собственную точку зрения.

## Литература

1. Kiefer C. Quantum Gravity (New York: Oxford Press, 2004);
2. Rovelli C. Quantum Gravity (Cambridge: Cambridge Press, 2004);
3. Dyson F. The World on a String. New York Review of Books, V. 51, Number 8 · May 13, 2004. <http://www.nybooks.com/articles/17094>.
4. Бронштейн М. П.. Новый кризис теории квант // Научное слово 1931, № 1.
5. Френкель В. Я., Джозефсон П.. Советские физики стипендиаты Рокфеллеровского Фонда // УФН 1990, вып. 11, с. 130— 131.
6. Бронштейн М.П. (Рецензия) А. М. DIRAC. Principles of Quantum Mechanics (1930) // УФН. 1931, вып. 2.
7. Bronstein M. Quantentheorie schwacher Gravitationsfelder [Квантовая теория слабых гравитационных полей] // PZS. 1936. 9. S. 140-157. Рус. пер. в кн.: Эйнштейновский сборник, 1980-1981. М.: Наука, 1985. С. 267— 282.

8. *Бронштейн М.П.* Квантование гравитационных волн // ЖЭТФ. 1936. Т. 6. С. 195 — 236
9. *Бронштейн М.П.* Квантование гравитационных волн // ЖЭТФ. 1936. Т. 6. С. 218.
10. *Гейзенберг В., Паули В.* К квантовой динамике волновых полей (1929) // Паули В. Труды по квантовой теории. М.: Наука, 1977. С. 32.
11. *Peierls R.* Bird of passage: recollections of a physicist. Princeton: Princeton University Press, 1985. P. 66].
12. *Rosenfeld L* «On quantization of fields». Nuclear Physics 40, 353— 356 (1963)

## Примечания

Последнее по времени свидетельство – доклад Ландау на конференции 1959 года в Киеве. В том докладе прозвучало его жизненно-научное кредо: «Ввиду краткости жизни мы не можем позволить себе роскошь тратить время на задачи, которые не ведут к новым результатам». И там он вспомнил старую историю науки:

«Почти тридцать лет назад Пайерлс и я указали, что, согласно релятивистской квантовой теории, нельзя измерить никакие величины, характеризующие взаимодействующие частицы, и единственными измеримыми величинами являются импульс и поляризация свободно движущихся частиц. Поэтому, если мы не хотим пользоваться ненаблюдаемыми величинами, мы должны вводить в теорию в качестве фундаментальных величин только амплитуды рассеяния».

“The analysis of these [Bohr-Rosenfeld’s] papers is undoubtedly correct <...> On the other hand, <> our paper made no constructive contribution to the development of the theory” [11].

\* выступление на конференции в СПб, посвящённой 100-летию М.П. Бронштейна в 2006 г.