

# ЕРР-парадокс, 100 лет ОТО и Мотивы научного исследования

В.А. Зорич

30.07.2015

В учебнике математического анализа, выдержавшем за тридцать лет несколько изданий, кроме указания на другие существующие учебники, имеется некоторый список полезной студенту и преподавателю дополнительной литературы. Имеется он и в только что вышедшем седьмом русском издании учебника.<sup>1</sup> В конце этого списка, в частности, указана статья Эйнштейна «Мотивы научного исследования», сканирование которой я приведу ниже.

Как-то на одной из вечеринок кафедры математического анализа, я, презентуя в библиотеку кафедры пятое или шестое издание учебника, предложил присутствующим отгадать загадку. Я прочитал следующие строки:

«Храм науки — строение многосложное. Различны пребывающие в нём люди и приведшие их туда духовные силы. Некоторые занимаются наукой с гордым чувством своего интеллектуального превосходства; для них наука является тем подходящим спортом, который должен им дать полноту жизни и удовлетворение честолюбия. Можно найти в храме и других: плоды своих мыслей они приносят здесь в жертву только в утилитарных целях. Если бы посланный богом ангел пришёл в храм и изгнал бы из него тех, кто принадлежит к этим двум категориям, то храм катастрофически опустел бы. Всё-таки кое-кто из людей как прошлого, так и нашего времени в нём бы остался. К числу этих людей принадлежит и наш Планк, и поэтому мы его любим.»

Прочитав, спросил: "Кто автор этих строк?"

---

<sup>1</sup>В.А.Зорич, Математический Анализ. Части I и II — Изд. 7-е, М.; МЦНМО, 2015.

После долгого общего молчания один из присутствующих попросил дать какую-нибудь подсказку. А у нас на кафедре работает сотрудник (ныне профессор) с фамилией Подольский. Владимир Евгеньевич Подольский — ученик Виктора Антоновича Садовнича, с которым у него имеются совместные работы. Ни того, ни другого в этот момент на кафедре не было. Поддержав общее шутливое настроение, я дал присутствующим следующую "подсказку".

"Эти строки написал соавтор Подольского." Физикам бы этого абсолютно хватило, поскольку они с пелёнок слышали о EPR-парадоксе — знаменитом парадоксе Эйнштейна, Подольского, Розена.<sup>2</sup> Но на кафедре анализа вновь воцарилось молчание. Оно было прервано следующими словами того же, кто просил подсказку: "Неужто Виктор Антонович?"

А теперь, улыбнувшись, я предлагаю получить удовольствие и прочитать полностью само выступление Эйнштейна, обращённое к Макс Планку по случаю шестидесятилетия последнего.

В самом конце текста Эйнштейна упомянут фонарь Диогена. Согласно преданию философ Диоген бродил с фонарём среди бела дня по людным местам со словами "Ищу Человека".

Добавлю, что в этом году исполняется 100 лет Общей Теории Относительности (ОТО), которую Эйнштейн концептуально завершил в 1915 году и которая была опубликована в следующем году. Работа Эйнштейна, Подольского, Розена (короткая заметка) была опубликована в 1935 году. По существу это анализ казался бы противоречивых взаимоотношений двух могучих физических идей двадцатого века: квантовой теории и теории относительности. Этот анализ, включая анализ предложенно-

---

<sup>2</sup>Один из вариантов парадокса состоит в следующем. Две квантовые частицы могут по-разному образовывать пару, точнее, такая пара может быть в разных квантовых состояниях. В частности, квантовая пара может быть такой (запутанной), что измерение состояния одной из частиц пары однозначно определяет состояние другой частицы. Например (но очень грубо), если у вас есть всего два вектора (0,0) и (1,1) и вы, измерив первую координату, получили значение 1, то вы сразу скажете, что измерение второй координаты этого вектора тоже даст значение 1. Замечательно то, что согласно квантовой теории сами компоненты такой пары могут находиться друг от друга далеко — эффект будет тем же: в каком состоянии оказалась измеренная частица, в таком же состоянии немедленно оказывается идентичная вторая, хотя и удалённая. Но тогда, например, можно передавать информацию из одного места в другое со скоростью, превышающей скорость света, что противоречит теории относительности.

го авторами мысленного эксперимента, получившего название парадокса Эйнштейна, Подольского, Розена (EPR-парадокса), продолжается по сей день, обрастая новыми идеями, в том числе прикладной направленности, такими как идея квантовых вычислений, квантового компьютера, квантовой теории информации и квантовых коммуникаций.

Мечтой Эйнштейна была единая физическая теория, объясняющая явления и космических, и микромасштабов, в частности, объединяющая гравитацию и кванты.

Считается, что Эйнштейн заслужил шесть Нобелевских премий, из которых в 1921 году получил только одну, причём за самую первую из следующих четырёх фантастических работ, написанных в одном 1905 году (указываю только содержание):

Март 1905:

Квантовая теория света (открытие того, что потом получило название фотона).

Май 1905:

Подтверждение молекулярной структуры вещества, кинетической теории тепла и, на основе броуновского движения, расчёт размеров молекул. (Развитие этой работы Эйнштейна, сделанное в 1909 году Перреном, привело последнего к Нобелевской премии 1926 года.)

Июнь 1905:

Соединение электродинамики и механики: специальная теория относительности.

Сентябрь 1905:

Открытие эквивалентности массы и энергии, формула  $E = mc^2$ .

Замечу, что широкая известность за пределами профессионального сообщества к Эйнштейну пришла не после этих работ и даже не после выхода из печати в 1916 году изложения сущности Общей Теории Относительности, а лишь после того как английский астроном Артур Эддингтон, активно проповедовавший революционные идеи ОТО, во время полного солнечного затмения 1919 года получил экспериментальное подтверждение отклонения направления распространения света около гравитирующих масс, предсказанное Общей Теорией Относительности.

Несколько позже человечество оценило формулу  $E = mc^2$ , к сожалению, благодаря атомной бомбе и ядерному оружию, против которого Эйнштейну, как и Бору, с риском для репутации пришлось выступить, когда угроза его применения Германией уже очевидным образом мино-

вала. Эйнштейну приписывают следующее короткое пояснение: "Я не знаю, как будет выглядеть третья мировая война, а про четвертую могу сказать определённо, что она будет вестись дубинками и камнями."

Считается, что шестая Нобелевская премия должна была бы быть присуждена Эйнштейну (совместно с Бозе) за открытие состояния вещества, называемое конденсатом Бозе-Эйнштейна. Интересно, что индус Бозе послал рукопись своей работы непосредственно Эйнштейну после безуспешных попыток опубликовать работу в физическом журнале. Эйнштейн прочитал рукопись, перевёл её с английского языка на немецкий и передал для публикации в престижный немецкий физический журнал. Через месяц после этого в том же 1924 году он, обобщив результат Бозе, подготовил и собственную статью, описывающую замечательные свойства конденсата молекул однородного газа при температуре близкой к абсолютному нулю. Это привело, в частности, к открытию предсказанной сверхпроводимости, а сам конденсат был экспериментально реализован в 1995 году, то есть через сорок лет после смерти Эйнштейна.

Кажется, Л.Н.Толстой говорил, что мерой человеку является дробь, в числителе которой стоит то, как оценивают его окружающие, а в знаменателе — то, как он сам себя оценивает.

К столетнему юбилею Общей Теории Относительности был выпущен специальный номер журнала

**Le Monde**, Hors-Série / Juillet-Septembre 2015.

La Révolution

EINSTEIN

Le Scientifique, L'Homme, Le Pacifiste.

В нём, помимо минимума, изложенного выше, можно найти много фактического материала, относящегося к научной, человеческой и общественной жизни Эйнштейна.

В частности, там не забыли напомнить, что в 1964 году ирландский физик-теоретик Джон Белл (John Bell) создал базу (неравенства Белла) для математического анализа EPR-парадокса, а французский физик Ален Аспе (Alain Aspect) в 1982 году реализовал этот мысленный EPR-эксперимент в Orsay (под Парижем).

## МОТИВЫ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ \*

Храм науки — строение многосложное. Различны пребывающие в нем люди и приведшие их туда духовные силы. Некоторые занимаются наукой с гордым чувством своего интеллеktуального превосходства; для них наука является тем подходящим спортом, который должен им дать полноту жизни и удовлетворение честолюбия. Можно найти в храме и других: плоды своих мыслей они приносят здесь в жертву только в утилитарных целях. Если бы посланный богом ангел пришел в храм и изгнал из него тех, кто принадлежит к этим двум категориям, то храм катастрофически опустел бы. Все-таки кое-кто из людей как прошлого, так и нашего времени в нем бы остался. К числу этих людей принадлежит и наш Планк, и поэтому мы его любим.

Я хорошо знаю, что мы только что с легким сердцем изгнали многих людей, построивших значительную, возможно, даже наибольшую, часть науки; по отношению ко многим принятое решение было бы для нашего ангела горьким. Но одно кажется мне несомненным: если бы существовали только люди, подобные изгнанным, храм не поднялся бы, как не мог бы вырасти лес из одних лишь вьющихся растений. Этих людей удовлетворяет, собственно говоря, любая арена человеческой деятельности: станут ли они инженерами, офицерами, коммерсантами или учеными—это зависит от внешних обстоятельств. Но обратим вновь свой взгляд на тех, кто удостоился милости ангела. Большинство из них — люди странные, замкнутые, уединенные; несмотря на эти общие черты они в действительности сильнее разнятся друг от друга, чем изгнанные. Что привело их в храм? Нелегко на это ответить, и ответ, безусловно, не будет одинаковым для всех. Как и Шопенгауэр, я прежде всего думаю, что одно из наиболее сильных побуждений, ведущих к искусству и науке, — это желание уйти от будничной жизни с ее мучительной жестокостью и безутешной пустотой, уйти от уз

\* *Motiv des Forschens*. В сб. «Zu Max Plancks — 60. Geburtstag: Ausprachen in der Deutsche physikalische Gesellschaft». Karlsruhe, 1918, 29—32.

вечно меняющихся собственных прихотей. Эта причина толкает людей с тонкими душевными струнами от личных переживаний в мир объективного видения и понимания. Эту причину можно сравнить с тоской, неотразимо влекущей горожанина из шумной и мутной окружающей среды к тихим высокогорным ландшафтам, где взгляд далеко проникает сквозь неподвижный чистый воздух и наслаждается спокойными очертаниями, которые кажутся предназначенными для вечности.

Но к этой негативной причине добавляется и позитивная. Человек стремится каким-то адекватным способом создать в себе простую и ясную картину мира для того, чтобы оторваться от мира ощущений, чтобы в известной степени попытаться заменить этот мир созданной таким образом картиной. Этим занимаются художник, поэт, теоретизирующий философ и естествоиспытатель, каждый по-своему. На эту картину и ее оформление человек переносит центр тяжести своей духовной жизни, чтобы в ней обрести покой и уверенность, которые он не может найти в слишком тесном головокружительном круговороте собственной жизни.

Какое место занимает картина мира физиков-теоретиков среди всех возможных таких картин? Благодаря использованию языка математики эта картина удовлетворяет наиболее высоким требованиям в отношении строгости и точности выражения взаимозависимостей. Но зато физик вынужден сильнее ограничивать свой предмет, довольствуясь изображением наиболее простых, доступных нашему опыту явлений, тогда как все сложные явления не могут быть воссозданы человеческим умом с той точностью и последовательностью, которые необходимы физику-теоретику. Высшая аккуратность, ясность и уверенность — за счет полноты. Но какую прелесть может иметь охват такого небольшого среза природы, если наиболее тонкое и сложное малодушно и боязливо оставляется в стороне? Заслуживает ли результат столь скромного занятия гордого названия «картины мира»?

Я думаю — да, ибо общие положения, лежащие в основе мысленных построений теоретической физики, претендуют быть действительными для всех происходящих в природе событий. Путем чисто логической дедукции из них можно было бы вывести картину, т. е. теорию всех явлений природы, включая жизнь, если этот процесс дедукции не выходил бы далеко за пределы творческой возможности человеческого мышления. Следовательно, отказ от полноты физической картины мира не является принципиальным.

Отсюда вытекает, что высшим долгом физиков является поиск тех общих элементарных законов, из которых путем чистой дедукции можно получить картину мира. К этим законам ведет не логический путь, а только основанная на проникновении в суть опыта интуиция. При такой неопределенности методики можно думать, что существует произвольное число

равноценных систем теоретической физики; в принципе это мнение безусловно верно. Но история показала, что из всех мыслимых построений в данный момент только одно оказывается преобладающим. Никто из тех, кто действительно углублялся в предмет, не станет отрицать, что теоретическая система практически однозначно определяется миром наблюдений, хотя никакой логический путь не ведет от наблюдений к основным принципам теории. В этом суть того, что Лейбниц удачно назвал «предустановленной гармонией». Именно в недостаточном учете этого обстоятельства серьезно упрекают физики некоторых из тех, кто занимается теорией познания. Мне кажется, что в этом корень и прошедшей несколько лет назад полемики между Махом и Планком.

Горячее желание увидеть эту предустановленную гармонию является источником настойчивости и неистощимого терпения, с которыми, как мы знаем, отдался Планк общим проблемам науки, не позволяя себе отклоняться ради более благодарных и легче достижимых целей. Я часто слышал, что коллеги приписывали такое поведение необычайной силе воли и дисциплине, но мне представляется, что они не правы. Душевное состояние, способствующее такому труду, подобно религиозности или влюбленности: ежедневное старание происходит не из какого-то намерения или программы, а из непосредственной потребности.

Он здесь вместе с нами, наш дорогой Планк; он внутренне посмеивается над этим моим ребяческим манипулированием фонарем Диогена. Наша симпатия к нему не нуждается в банальном обосновании. Пусть любовь к науке продолжает украшать ему жизнь и приведет его к разрешению им самим поставленной и значительно продвинутой важнейшей физической проблемы нашего времени. Пусть ему удастся объединить квантовую механику, электродинамику и механику в логически стройную систему.

Эта речь включена в сб. «Mein Weltbild» (Amsterdam, 1934) под заглавием «Принципы научного исследования». Русский перевод был напечатан в сб. «Физика и реальность».