
МЕТАФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ «ДУГИ ЭЙНШТЕЙНА»

Вл.П. Визгин

Институт истории естествознания и техники РАН

Изучение истории формирования фундаментальных теорий в физике XIX–XX вв. позволяет выявить некоторые общие факторы метафизического характера, влияющие на процесс перехода от эмпирических фактов к фундаментальным положениям теории, процесс, который, согласно А. Эйнштейну, не является логическим. К ним относятся математичность и телеологичность физического мира (или «непостижимые эффективности» математики и аналитической механики в физике), некоторые из методологических принципов физики (такие, как принципы симметрии, сохранения, причинности, соответствия и др.), а также иногда целые философские системы. В последнем случае эффективной для физиков следует признать, согласно В.И. Вернадскому, Г. Башляру и Эйнштейну, позицию философского плюрализма, или философского оппортунизма.

Ключевые слова: «дуга Эйнштейна», метафизика, математичность и телеологичность физического мира, методологические принципы физики, философский оппортунизм учёного, онтологические основания теорий.

...Метафизика не является частью самого здания науки, но подобна, скорее, деревянным лесам, без которых нельзя обойтись при постройке здания. Может быть, допустимо даже сказать: метафизика превращается в процессе развития в физику...

Э. Шрёдингер [1. С. 13]

Введение

У Шрёдингера в приведённом высказывании речь идёт о теоретической физике, перед которой всегда стоит задача двоякого рода: во-первых, построить фундаментальные теории (такие как классическая механика, теория электромагнитного поля, специальная и общая теория относительности, квантовая механика и т.д.) и, во-вторых, вывести из них всё многообразие физических явлений (см., например, [2. С. 7]). А. Эйнштейн такую структуру теоретической физики и её развитие иллюстрировал хорошо известной трёхслойной схемой: нижний уровень – эмпирические факты (Е), верхний уровень – основные аксиомы теории (А – принципы, уравнения движения) и промежуточный уровень утверждений, получаемых логическим (математическим) путём из аксиом (S) [3. С. 569–570]. Конечно, физика – наука экспериментальная, и основные положения – аксиомы как-то укоренены в опыте, но, подчёркивает Эйнштейн, «никакого логического пути, ведущего от Е к А, не существует». Но теоретики, решая первую задачу теорфизики, находят этот путь, который Эйнштейн изобразил в виде кривой линии, идущей от Е к

А. Эту кривую естественно назвать «дугой Эйнштейна» [4. С. 20]. Является ли «дуга Эйнштейна» интуитивным скачком, чистым озарением или можно всё-таки найти некоторые способы рассуждений, факторы её определяющие?

Историк науки, пытающейся понять, как теоретики строят фундаментальные теории, до некоторой степени рационализирует соответствующие «дуги Эйнштейна», выстраивая своего рода «историко-научную логику». Чтобы сделать это, стоит воспользоваться рецептом А.П. Чехова. В одном из писем к А.С. Суворину он предложил способ найти «закон» создания высокохудожественных произведений: «Можно собрать в кучу всё лучшее, созданное художниками во все века и, пользуясь научным методом, уловить то общее, что делает их похожими друг на друга и что обуславливает их ценность. Это общее и будет законом» [5. С. 294; 6. С. 97].

Распространяя этот подход Чехова на теоретическую физику, мы должны исследовать практику построения фундаментальных теорий и выявить некоторые общие принципы и идеи, используемые физиками при решении первой задачи теоретической физики. Это и будут факторы, определяющие «дугу Эйнштейна». Среди них могут оказаться такие, которые можно интерпретировать как метафизические, хотя способ их установления носит эмпирический характер. Правда, эмпирическим материалом для историка науки являются теории, точнее, процесс их построения, зафиксированный в последовательности научных текстов и связанных с ними материалов.

«О метафизике вообще»

Так называется первый раздел небольшой философской книги Шрёдингера, одного из создателей квантовой механики и бесспорного авторитета по конструированию физических теорий [1]. Причём этот раздел, как писал он в предисловии к изданию 1950 г., написан «вскоре после моего назначения на кафедру Макса Планка в Берлине, незадолго до того, как мысли о том, что называют сегодня волновой механикой, начали поглощать все мои интересы» [1. С. 6].

Забегая вперёд, заметим, что при создании классических и неклассических физических теорий XIX и XX вв. стала очевидной эффективность математики и аналитической механики, которые стали вслед за Ю. Вигнером называть непостижимой, поскольку никакого убедительного теоретического (логического) обоснования ей дать не удалось (см. [7–9]). Помимо них выявилась, особенно при построении неклассических теорий, ключевая роль так называемых методологических принципов физики, таких как принципы симметрии, сохранения, причинности, соответствия, наблюдаемости, простоты и др. [7–10].

В какой степени эти методологические принципы и «непостижимые эффективности» можно отнести к метафизике? Сторонником метафизической терминологии или даже инициатором возвращения к ней является

Ю.С. Владимиров [11]. Он предпочитает говорить о трёх основных метафизических парадигмах физики – теоретико-полевой, геометрической и реляционной, каждая из которых опирается на определённые онтологические представления (квантово-полевую, субстанциально-геометрическую и корпускулярную или их комбинации).

О том, что физики XX в. вслед за создателями квантово-релятивистских теорий стали выходить за рамки физики и обращаться к метафизической проблематике, пишет и А.П. Огурцов: «...Новая физика остро нуждалась в осмыслении тех принципов, на которых она строилась – принципов метафизических» [12. С. 26]. А так как философы либо запаздывали в этом осмыслении, либо неглубоко понимали суть дела «физики вынуждены были решать метафизические проблемы сами». И далее А.П. Огурцов перечисляет эти проблемы: «...пространство и время, процедура понимания, принцип причинности, наблюдаемости, соответствия и дополнительности, роль естественного языка в физике и др.» [Там же. С. 27]. Такими физиками были, например, А. Эйнштейн, В. Гейзенберг, Э. Шрёдингер, Г. Вейль (их называет Огурцов). К ним, далее, можно добавить и других ведущих теоретиков первой половины XX в.: М. Планка, Н. Бора, В. Паули, А.С. Эддингтона, П. Дирака, Ю. Вигнера и др. Позже к ним присоединяются физико-математически образованные философы: А. Уайтхед, М. Шлик, Э. Кассирер, Г. Рейхенбах, Ф. Франк (их называет А.П. Огурцов). К ним можно добавить как минимум ещё столько же замечательных имён: Б. Рассела, Э. Мейерсона, Р. Карнапа, Г. Башляра, О. Нейрата и др.

В результате «...физика весь XX в. была не только лидером естествознания, но и объектом совместных метафизических дебатов об её фундаментальных принципах – от принципа симметрии до принципа причинности, от соответствия между различными теоретическими построениями до обсуждения возможностей и границ физического знания» [Там же]. Кстати, из приведённых высказываний следует, что методологические принципы физики А.П. Огурцов считал одновременно и метафизическими принципами. И это вполне естественно. Действительно, принципы симметрии, сохранения, причинности укоренены в структуре физической реальности и связаны с соответствующими онтологическими представлениями. Если бы физический мир не обладал симметриями и в нём отсутствовали сохраняющиеся величины и причинные связи, то едва ли он был познаваем экспериментально-теоретическим путём. Метафизическое содержание других метафизических принципов более опосредовано. Например, очень важный принцип соответствия, устанавливающий предельную или асимптотическую связь между новой и старой теориями, отражает то свойство физической реальности, которое делает возможным её теоретическое познание. Не будь этого принципа, мы были бы одинаково далеки от реальности при опоре на старые или новые теории и тем самым от представления о том, насколько истинными они являются.

Что касается НЭМ («непостижимой эффективности математики») и НЭАМ («непостижимой эффективности аналитической механики») в физике, которые как бы дополняют МПФ (методологические принципы физики), то им также можно придать метафизический облик, причём разными путями. Например, НЭМ мы можем интерпретировать в платоновском духе как математичность физического мира или как «предустановленную гармонию» в духе Г.В. Лейбница между миром математических сущностей и теоретико-физических структур. НЭАМ можно толковать как своеобразную аналитико-механичность физического мира или, опираясь на принцип Гамильтона и следуя П.Л. Мопертюи, в телеологическом духе.

Неопозитивисты 1920–1940-х гг. старались освободить физику от метафизики, но с начала 1960-х гг. верх стало брать постпозитивистское направление в философии науки, ассоциируемое, прежде всего, с именами К. Поппера, Т. Куна, И. Лакатоса, Дж. Агасси, М. Вартофского и др., которые возродили интерес к метафизике и её роли в разработке научных теорий [13]. Ключевая статья М. Вартофского, опубликованная в 1966 г., так и называлась «Метафизика как эвристика для науки» (в опубликованном в 1978 г. русском переводе она получила название «Эвристическая роль метафизики в науке» [13. С. 43–111]).

Следуя рецепту А.П. Чехова, мы в дальнейшем рассмотрим некоторые наиболее общие факторы, определяющие «дугу Эйнштейна» и являющиеся по существу метафизическими. В заключение этого раздела приведём ещё несколько высказываний Шрёдингера о роли метафизики в физике, написанных в 1925 г., в самый разгар борьбы логических позитивистов с метафизикой. Подчёркивая её эвристичность, он говорил и об определённых опасностях, с которыми может встретиться исследователь на пути привлечения метафизических концепций: «Можно было бы представить себе наглядную картину: хотя, продвигаясь вперёд по пути познания, мы и должны довериться руководству незримой руки метафизики, протягивающейся к нам из тумана, но вместе с тем следует быть настороже, зная, что в любой момент она может легко и нежно заманить нас в пропасть». И дальше: «Или другая картина: в научной армии, при продвижении её в неизвестную вражескую страну, метафизика образует остриё или выдвинутые вперёд дозоры; они совершенно необходимы, но, как каждый знает, находятся в большой опасности» [1. С. 12–13].

Математичность физического мира

В некотором смысле это для историка науки эмпирический факт. Он кратко и метафизично был сформулирован уже Г.В. Лейбницем: «Cum Deus calculat, fit Mundus» («Как Бог вычисляет, так мир и делает»). Вигнер его также считал эмпирическим, но относил его к методологической, или эпистемологической, сфере, называя «непостижимую эффективность математики в естественных науках» «эмпирическим законом эпистемологии» (более

подробное обсуждение НЭМ и ссылки на работы Вигнера, Д. Гильберта и др. можно найти в [4; 7–9].

О поразительной математичности природы немало говорилось со времён Пифагора и Платона. Вспомним пифагорово: «Все есть число». О ней говорили корифеи научной революции XVII в.: И. Кеплер, Г. Галилей, И. Ньютон. В XIX в. математический анализ сыграл ключевую конструктивную роль в создании основных теорий классической физики, в результате чего они с математической точки зрения стали рассматриваться прежде всего как теории дифференциальных уравнений с частными производными 2-го порядка. В квантово-релятивистской революции эта математичность физического мира проявилась с новой силой. При этом творческую, конструктивную мощь неожиданно продемонстрировали те математические структуры, которые ранее не связывались с физической реальностью (теория групп, многомерная дифференциальная геометрия, функциональный анализ и т.д.). Решающие сдвиги произошли благодаря математическим прорывам, когда в создании ОТО к делу были привлечены риманова геометрия, а в квантовой механики – теория матриц и линейных операторов. При этом четырехмерная теоретико-инвариантная формулировка СТО, разработанная Г. Минковским, которую Эйнштейн первоначально недооценивал, сыграла ключевую роль в разработке тензорно-геометрической концепции гравитации, основанной на римановой геометрии. Поиск подходящего обобщения римановой геометрии лег в основу геометрической полевой программы синтеза физики (построения единой теории гравитационного и электромагнитного полей), которую в 1920-е гг. разрабатывали Г. Вейль, Т. Калуца, А. Эйнштейн, А. Эддингтон и др. Через несколько лет после создания основ квантовой механики усилиями П. Дирака и Дж. фон Неймана была установлена адекватная математическая структура квантовой механики – функционально-аналитическая теория линейных самосопряженных операторов в гильбертовом пространстве.

Многие выдающиеся теоретические физики и математики, начиная с Ф. Клейна, Г. Минковского и Д. Гильберта вплоть до современных – Р. Пенроуза, С. Вайнберга, Л.Д. Фаддеева, Ш. Яу и, конечно, включая творцов квантово-релятивистской революции А. Зоммерфельда, В. Гейзенберга, Г. Вейля, Ю. Вигнера и др., говорили в этой связи о «предустановленной гармонии» между физическим и математическим мирами; о возрождении пифагорейско-платоновской концепции («все есть число» и «Бог – геометр», П. Дирак даже назвал Бога, несмотря на присущий ему атеизм, «математиком очень высокого ранга», который «при построении Вселенной использовал математику высшего уровня» [14. С. 582]); о загадочном соответствии между математическими структурами и физической реальностью и т. д.

В духе подобных гимнов математике как основному методу теоретизирования и как главному источнику структурных форм для описания физической реальности неоднократно высказывался и Эйнштейн. В спенсеровской лекции «О методе теоретической физики», прочитанной им в Оксфорде

10 июня 1933 г., он на основании своего опыта по конструированию физических теорий точно сформулировал эту концепцию: «Весь предшествующий опыт убеждает нас в том, что природа представляет собой реализацию простейших математически мыслимых элементов. Я убежден, что посредством чисто математических конструкций мы можем найти те понятия и закономерные связи между ними, которые дадут нам ключ к пониманию явлений природы. Опыт может подсказать нам соответствующие математические конструкции. Но настоящее творческое начало присуще именно математике» [15. С. 184]. Эта убежденность связывалась у Эйнштейна с верой в «предустановленную гармонию», о которой говорили Г. Минковский, Ф. Клейн и Д. Гильберт, и с «космической религией», или «космическим религиозным чувством», выражающихся не в чём ином, как в «глубокой убежденности в рациональном устройстве мира» [16. С. 128–129].

Современные теоретики по-прежнему благоговеют перед этой «непостижимой эффективностью математики» в физике и, например, в теории суперструн пытаются (и не без успеха!) найти подходящую математическую структуру (скажем, многообразия Калаби-Яу) для объединения ОТО и квантов. «Для тех, кто ценит исключительную силу математики, она не просто язык, а бесспорный путь к истине, краеугольный камень, на котором покоится вся система естественных наук», – пишут в своей недавно вышедшей книге по струнам Ш. Яу и С. Надис [17. С. 7].

За «непостижимой эффективностью математики» стоит, по-видимому, метафизика особого рода, устанавливающая математичность физической реальности. Эта математичность может формулироваться и в языковых терминах, как это было в своё время сделано И.Ю. Кобzareвым и Ю.И. Маниным: «Этот язык (то есть язык физики микромира. – В.В.), будучи математическим по самому своему существу, ведёт двойное бытие, поскольку имеет двойную семантику. Одно его лицо обращено к некоторому миру платонических сущностей, который по общему консенсусу математиков послеканторовского периода является вместилищем смысла любых математических конструкций... Но, коль скоро математический текст является «теорфизическим рассуждением, он имеет семантику, обращённую к физической реальности и интерпретируется по другим правилам» [18. С. 176].

Таким образом, раз физический мир математичен, игры с дифференциальными уравнениями, группами симметрии, многомерными геометриями и более изошрёнными математическими структурами остаются мощным ресурсом теоретиков и тем самым одним из главных факторов, определяющих дугу Эйнштейна.

Телеологичность физического мира

В классической механике со времён П. Мопертюи, Л. Эйлера и Ж.Л. Лагранжа и в физике, начиная с Г. Гельмгольца, ещё одним важнейшим ресурсом теоретизирования, а значит, и фактором, формирующим дугу Эйнштейна

на, становятся вариационные принципы, составляющие ядро аналитической механики [19; 20].

Важнейшим вариационным принципом оказался интегральный вариационный принцип Гамильтона:

$$\delta S = 0, dS = Ldt \text{ и } L = T - U,$$

здесь S – действие системы, L – функция Лагранжа, T и U – соответственно кинетическая и потенциальная энергии системы. Необходимым условием экстремальности действия являются дифференциальные уравнения движения системы. Параллельно и в дальнейшем были развиты и другие формализмы механики, в частности геометрические (механика как риманова и механика как симплектическая геометрия). Особую популярность сначала в механике, а затем и в физике приобрели два дополняющих друг друга формализма: лагранжев и гамильтонов. Аналитическая механика выявила структурно-математическое богатство классической механики. Совершенно непостижимым обстоятельством, которое в полной мере выявилось в квантово-релятивистской физике XX в., оказалась трансляция вариационных принципов, а значит, и других аналитико-механических структур в физику [19; 20; 9]. Принцип Гамильтона стал именоваться принципом наименьшего действия; его универсальность и эффективность была несомненна и столь же непостижима, как эффективность математики в физике.

И за этой непостижимой эффективностью аналитической механики и, конечно, вариационных принципов в физике также можно увидеть метафизические предпосылки, о которых в XVIII в. говорили Мопертюи и Эйлер. Вот как об этом в 1746 г. писал Мопертюи: «...я едва осмеливаюсь сказать, что открыл универсальный принцип, на котором основываются все законы... Это принцип **наименьшего количества действия**; принцип такой мудрости, такой достойный Верховного Существа. Этому принципу Природа, кажется, постоянно и неотступно следует и т.д.» [20. С. 51]. Эйлер, существенно развивший этот принцип, всегда подчёркивал приоритет Мопертюи и высоко ценил его метафизический подход. «Возможно, это объясняется тем, – писал Л.С. Полак, – что при своей склонности к метафизическим спекуляциям он отдавал предпочтение априорной и кажущейся универсальной, метафизической аргументации Мопертюи по сравнению со своими результатами, найденными им, как он сам говорит, *a posteriori*» [19. С. 789].

Следы метафизики Мопертюи сохранились в современной литературе по теоретической физике. В «Лекциях по теоретической физике» А.А. Белавина и А.Г. Кулакова принцип наименьшего действия интерпретируется как «телеологический принцип» [22. С. 24]. Всё-таки до конца XIX в. этот принцип относился только к классической механике, и физики он касался только в той мере, в которой она предполагалась сводимой к механике. Но затем Гельмгольц в 1886 г. и М. Планк в 1900-х гг. со всей силой подчеркнули его, а значит – и аналитической механики в целом, эффективность в физике. «...Всеобщая значимость, – писал Гельмгольц, – принципа наименьшего

действия настолько не подлежит сомнению, что он может претендовать на большую роль в качестве эвристического принципа и путеводной нити в исканиях формулировок для законов новых классов явлений. У этого принципа имеется преимущество, которое заключается в возможности объединить в узких рамках одной формулы все условия, влияющие на изучаемый класс явлений, и таким образом окинуть взглядом все существенное в них» [23. С. 434]. В том же году, когда М. Планк вывел уравнения релятивистской механики из вариационного принципа, то есть нашёл правильный лагранжиан релятивистской механики, он так писал о концепции Гельмгольца: «Здесь Гельмгольц добрался до проблемы, захватившей и уже не отпускавшей его до конца жизни – вопроса о «принципе наименьшего действия» и его значения для всей физики. Он исследовал различные формулировки этого принципа во всех отношениях... и таким образом доказал, что принцип имеет значение... для всех физических процессов... Этими исследованиями Гельмгольц указал путь к единообразному подходу ко всем силам природы. Осуществление его идей – дело будущего» [24. С. 555].

Принцип Гамильтона и аналитическая механика в целом оказались весьма эффективными при развитии СТО (Планк, Минковский), создании ОТО (Эйнштейн и Гильберт), в квантовой теории атома Бора–Зоммерфельда и формировании квантовой механики (Л. де Бройль и Э. Шрёдингер, с одной стороны, и В. Гейзенберг, М. Борн и П. Дирак – с другой), а также при разработке геометрической полевой программы синтеза физики (Г. Вейль, А. Эйнштейн, А.С. Эддингтон и др.). Этот подход сохраняет своё значение и в современных исканиях в области квантово-полевой теории элементарных частиц и теории суперструн. Об этом, например, пишет Р. Пенроуз в своём «Полном путеводителе» по современной теоретической физике, носящем вполне метафизическое название «Путь к реальности: «...В современной фундаментальной физике при попытке создания новой теории последняя почти неизменно представляется в виде некоторого лагранжева функционала» [25. С. 419]. В другом месте он говорит о «магическом лагранжевом формализме», лежащем в основе «математического фундамента нашей физической Вселенной» [25. С. 403].

Впрочем, после создания квантовой механики и особенно после того, как Р. Фейнман разработал её формулировку с помощью интегралов по путям, загадочная метафизика телеологичности природы стала проясняться, поскольку «...сам факт существования принципа минимума действия» оказался «следствием того, что в микромире частицы подчиняются квантовой механике» [26. С. 54].

Методологические (метафизические) принципы физики

Значительная часть методологических принципов физики, концепция которых была разработана Н.Ф. Овчинниковым в 1970-е гг. [10], имеет метафизическую подоплёку. Именно так их понимает А.П. Огурцов [12], и я

уже писал об этом в разделе «О метафизике вообще». М. Вартофский же специально обсуждал вопрос об эвристичности метафизики в науке, не затрагивая непосредственно методологические принципы физики [13]. Поэтому в дальнейшем аббревиатура МПФ будет пониматься двояко: это и методологические, и метафизические принципы. К ним, в первую очередь, относятся принципы симметрии, сохранения, причинности, единства, физического знания, простоты, соответствия, наблюдаемости. Иногда к ним добавляют принципы объяснения и дополнительности. Некоторые из этих принципов сформировались в процессе развития классической физики (например, принципы сохранения, простоты и причинности), другие возникли при построении неклассических, релятивистских и квантовых теорий в первой трети XX в. (принципы симметрии, соответствия, наблюдаемости, дополнительности), хотя их истоки иногда восходят к науке и философии доклассического периода.

Выдающимися мастерами по использованию МПФ при построении релятивистских и квантовых теорий были творцы этих теорий А. Эйнштейн, Г. Минковский, М. Планк, Н. Бор, В. Гейзенберг и др. Эффективность этих принципов подтвердилась и при конструировании теорий элементарных частиц в 1950–1970-е гг. Эйнштейн в поисках правильных общеквариантных уравнений гравитационного поля широко использовал принципы симметрии, сохранения, причинности, соответствия и простоты. В 1913 г. он был очень близок к этим уравнениям: математика и требование общей ковариантности (своеобразная форма принципа симметрии) указывали на уравнения с тензором кривизны Риччи, но тогда он ошибочно решил, что они вступают в противоречие с принципами причинности, сохранения и, особенно, соответствия, и отказался от правильного выбора. Только после почти двух с половиной лет напряжённых поисков в ошибочных направлениях Эйнштейну удалось согласовать тензорно-геометрические уравнения с упомянутыми принципами и получить правильные уравнения гравитационного поля.

Конечно, использование МПФ требует детального конкретного анализа сложившейся проблемной ситуации. Для Эйнштейна, например, был весьма характерен анализ внутритеоретических недостатков классики с точки зрения принципа симметрии, который он понимал и как принцип относительности, и как более расплывчатую форму логико-эстетической согласованности. Фактически основные из этих недостатков он воспринимал как своего рода асимметрии, устранение которых указывало путь к построению правильной теории. В 1900–1910-е гг., когда создавались первые релятивистские и квантовые теории, теоретики применяли МПФ как естественные эвристические требования, далеко не всегда имевшие нынешний статус и названия. Это относится, например, к таким ключевым принципам, как принципы соответствия, наблюдаемости, симметрии. Терминологическое оформление этих принципов и появление принципа дополнительности было связа-

но с созданием квантовой механики и проблемой её интерпретации в 1920-е гг.

И при создании так называемых стандартных моделей элементарных частиц и космологии, и в поисках объединения квантов и гравитации МПФ продолжают служить теоретикам. Особенно эффективными факторами, определяющими дугу Эйнштейна, оказываются при этом принципы симметрии, сохранения, соответствия. Полностью сохраняют своё значение и обе «непостижимые эффективности», ассоциируемые с математичностью и телеологичностью физического мира. Что касается системы МПФ, то, вообще говоря, она в достаточной степени размыта и открыта. Первое означает, что нет полного согласия в том, какие именно принципы включать в эту систему, а какие не следует. Второе означает, что со временем в неё могут войти какие-то новые принципы, заменив собой некоторые другие как недостаточно универсальные или утратившие свою эффективность.

Непосредственное воздействие философско-метафизических концепций

Рассмотренные выше МПФ, они же принципы теоретизации физического знания, относятся к своего рода промежуточному уровню, расположенному между физикой и общеполософской метафизикой, и во многом извлечены из практики построения фундаментальных теорий. Но можно говорить и о более непосредственном воздействии философских концепций на теоретиков. Иногда сами учёные говорят об этом. Неоднократно отмечалось такое воздействие на создателей теории относительности и квантовой механики. Но я остановлюсь здесь только на фигуре Эйнштейна, который сравнительно подробно писал об этом. Он отмечал влияние на него в ранний период идей Д. Юма и затем Э. Маха: «Критическому мышлению, необходимому для того, чтобы нащупать эту центральную точку (то есть важный для него теоретико-познавательный изъян классики, связанный с абсолютностью понятий пространства и времени, а также одновременности – В.В.), сильно способствовало, в частности, чтение философских трудов Давида Юма и Эрнста Маха» [27. С. 278]. Вместе с тем, испытав влияние позитивистских идей в 1900–1910-е гг., Эйнштейн в дальнейшем отказывается от них в пользу либо некой формы платонизма, либо реализма: «Я вижу действительное величие Маха в его неподкупном скепсисе и независимости; в мои молодые годы на меня произвела большое впечатление также и гносеологическая установка Маха, которая сегодня (то есть в 1949 г. – В.В.) представляется мне в существенных пунктах несостоятельной» [27. С. 266].

Позже, в период поисков им подходящей геометрической основы для объединения гравитации и электромагнетизма, ему была ближе платоновская метафизика, связанная с идеей математичности физического мира. Но это сочеталось у него с приверженностью к философии Спинозы, который «был полностью убеждён в причинной зависимости всех явлений в то время, когда попытки достичь понимания причинных связей между явлениями

природы имели весьма скромный успех» [27. С. 254]. Своей убежденностью в универсальном значении классической причинности Эйнштейн был во многом обязан именно влиянию Спинозы. Здесь бросается в глаза явная философская непоследовательность. Он начинает как сторонник эмпиризма и позитивизма Маха; затем он критикует позитивизм с реалистических позиций; в дискуссиях по интерпретации квантовой механики его реализм дополняется идеями Спинозы; в дальнейшем при разработке единых теорий поля ему оказывается близкой пифагорейско-платоновская метафизика. Поэтому в юбилейной книге «Альберт Эйнштейн – философ-учёный» (1949) представители различных философских традиций старались представить юбиляра как своего сторонника. И он в «Замечаниях к статьям», написанных для этой книги, развил целую концепцию, именно концепцию «философского (в английском тексте – эпистемологического) оппортунизма», чтобы объяснить и оправдать свои философские зигзаги.

Отвечая на замечание Г. Маргенау, упрекнувшего Эйнштейна в колебаниях между «крайним эмпиризмом» и рационализмом, создатель теории относительности подчёркивает естественность или даже неизбежность таких колебаний: «Логическая система понятий является физикой лишь постольку, поскольку её понятия и суждения приведены в соответствие с миром чувственного опыта... В этом случае его подход становится эмпирическим... Кроме того, создатель теории сознает, что логического пути от эмпирических данных к миру его понятий не существует. Тогда его подход становится более рационалистическим, ибо он начинает сознавать логическую независимость построенной им системы. Опасность такого подхода кроется в том, что, пытаясь построить теорию, можно потерять всякий контакт с миром чувственного опыта. Колебания между этими крайностями представляются мне неизбежными» [28. С. 307].

Продолжая эту мысль, он приходит к естественной для учёного, но выглядевшей несколько сомнительно, с точки зрения философа, концепции эпистемологического оппортунизма. При этом в плодотворности самой взаимосвязи науки и философии никаких сомнений у Эйнштейна не возникает: «Теория познания без соприкосновения с наукой вырождается в пустую схему. Наука без теории познания (насколько это вообще мыслимо) становится примитивной и пустой» [Там же. С. 310]. «Однако, – продолжает он, – если философу, занимающемуся поисками стройной системы, удастся разработать такую систему, он тотчас же начинает интерпретировать содержание науки в духе своей системы и отвергать все, что выходит за рамки этой системы» [Там же]. Это и ведёт учёного к некой философской всеядности, или философскому оппортунизму: «Учёный не может позволить себе зайти столь далеко в своём стремлении к теоретико-познавательной систематике. Он с благодарностью принимает гносеологический анализ понятий, но внешние условия, поставленные перед ним опытными фактами, не позволяют ему чрезмерно ограничивать себя принадлежностью к некоторой философской системе при построении понятий. Поэтому в глазах последова-

тельно мыслящего философа он предстаёт как оппортунист, бросающийся из одной крайности в другую. Как человек, пытающийся описать мир, не зависящий от актов восприятия, он кажется реалистом (здесь и далее курсив Эйнштейна. – В.В.). Как человек, считающий понятия и теории свободными (не вводимыми логическим путём из эмпирических данных) творениями человеческого разума, он кажется идеалистом. Как человек, считающий свои понятия и теории обоснованными лишь в той степени, в которой они позволяют логически интерпретировать соотношения между чувственными восприятиями, он является позитивистом. Он может показаться точно так же и платонистом и пифагорейцем, ибо он считает логическую простоту непреложным и эффективным средством своих исследований» [28. С. 310–311].

О концепции эпистемологического, или философского, оппортунизма почти за 10 лет до Эйнштейна говорил французский философ науки Г. Башляр: «Мы будем настаивать на том, чтобы философы порвали с претензией отыскать одну-единственную и неизменную точку зрения для того, чтобы судить такой широкий и такой изменчивый ансамбль знаний, как физика. Мы придём, таким образом, к тому, чтобы характеризовать философию науки как философский плюрализм, который лишь один способен осмыслить столь разнообразные элементы опыта и теории, столь разнородные от одной степени философской зрелости» [29. Р. 12; 30. С. 147].

Еще раньше, в 1920-е гг., фактически об этой стороне взаимодействия науки и философии писал В.И. Вернадский: «Научные факты и открытия могут быть уложены в рамки всяких философских доктрин и учений. Они одинаково мало противоречат идеалистическим или материалистическим, скептическим или критическим направлениям философской мысли. Каждое из этих направлений не может встречать больших затруднений в овладении этими реальными рамками научного знания...» [31. С. 58]. Кстати, о плодотворном эвристическом воздействии философии на науку он писал ещё в 1902 г. в письме к своей жене Н.Е. Вернадской: «Философия всегда заключает зародыши, иногда даже предвосхищает целые области будущего развития науки, и только благодаря современной работе человеческого ума в этой области получается правильная критика неизбежно схематических построений науки. В истории развития научной мысли можно ясно и точно проследить такое значение философии как корней и жизненной атмосферы научного мышления» [Там же. С. 456].

Выступая против избрания философа А.М. Деборина в Академию наук и полемизируя с ним, Вернадский, по существу, отстаивал позицию философского оппортунизма, или, как он предпочитал называть эту позицию, концепцию **философского скептицизма**: «Я философский скептик. Это значит, что ни одна философская система (в том числе и наша официальная философия) не может достигнуть той общеобязательности, которой достигает (только в некоторой определённой части) наука. Поэтому, очевидно, я не могу быть каким бы то ни было последователем или представителем философских течений... И в то же самое время я, как философский скептик, могу

спокойно отбросить без вреда и с пользой дела в ходе моей научной работы все философские системы, которые сейчас живы» [31. С. 204]. Уже в начале 1930-х гг., ощущая на себе давление «нашей официальной философии», он имел смелость сказать: «В стране, где научная мысль и научная работа должны играть основную роль, ибо с их ростом и развитием должны были бы быть связаны основные интересы жизни – учёные должны быть избавлены от опеки представителей философии» [Там же. С. 201].

Таким образом, позиция философского оппортунизма (Эйнштейн), или философского плюрализма (Башляр), или философского скептицизма (Вернадский), даёт основание рассматривать любые философские системы как особый ресурс для построения фундаментальных физических теорий и тем самым как важный фактор, влияющий на «дугу Эйнштейна». Но это влияние может быть и вредным, и просто малоэффективным. Об этом, помимо Вернадского, говорил в сравнительно недавнее время С. Вайнберг, который писал о «непостижимой неэффективности философии» в физике второй половины XX в., имея в виду при этом, прежде всего, постпозитивистские концепции в философии науки, так или иначе размывавшие или отрицавшие понятие истины [32. С. 133]. В заключение этого раздела подчеркну, что В.И. Вернадский рассматривал философию и метафизику как близкородственные (если не тождественные) сферы: «Я не делаю здесь различия между философскими или метафизическими направлениями, которые одинаково отражаются на научных концепциях...» [Там же. С. 381].

Другие факторы «дуги Эйнштейна»

Рассмотренные факторы, определяющие «дугу Эйнштейна», являются достаточно общими и несут в себе значительный метафизический заряд. Но при построении фундаментальных теорий используются и более частные методы и идеи, которые либо явно не связаны с метафизикой, либо эта связь проблематична. Кратко рассмотрим некоторые из них, сразу заметив, что вопрос об их эффективности требует более основательного обсуждения. К ним относятся следующие факторы: введение нелинейности, новые фундаментальные постоянные, введение необратимости, всесторонний анализ следствий уже известных фундаментальных уравнений теорий, использование междисциплинарных связей и, наконец, смена онтологических предпосылок. Список этих частных, эвристических факторов открыт. Начнём с последнего, который выглядит вполне метафизично.

Смена онтологии – не вдаваясь в непростые философские аспекты онтологических оснований фундаментальных физических теорий, отметим, что каждая из них имеет определённую онтологию: классическая механика Ньютона – тела, частицы (или материальные точки), движущиеся в пространстве под действием сил; электродинамика Максвелла – эфир, позже электромагнитное поле; СТО – четырёхмерный пространственно-временной континуум с мировыми линиями частиц и т.д.; ОТО – искривлённое четы-

рёхмерное риманово пространство-время с погруженными в него материальными телами и полями. Квантовых онтологий, ввиду отсутствия однозначной общепринятой интерпретации квантовой механики, несколько, и мы не будем их касаться (см., например, [33]). Чаще всего смена онтологии процесс вторичный, связанный с созданием новой теории: сначала переход от классики к СТО и ОТО, а затем уже осмысление четырёхмерных пространственно-временных континуумов как лежащих в основе этих теорий онтологических объектов. Но иногда теория ещё не построена, но некоторые факты наводят на мысль о возможной смене онтологии. Так было, например, с начальным периодом развития струнного подхода, когда определённые факты физики рассеяния адронов, связанные с формулой Г. Венециано, привели в 1970 г. Й. Намбу к выводу, что «все это может иметь смысл, если отдельные адроны не рассматриваются как точечные частицы, а моделируются струнами» [25. С. 736].

Со сменой онтологии связан также подход Ю.С. Владимирова к выводу нынешних пространственно-временных представлений на основе реляционной парадигмы [11]. Впрочем, Владимиров предпочитает говорить о метафизических категориях и парадигмах: тремя такими основными категориями он считает частицы, поля-переносчики взаимодействий и пространство-время, отдавая предпочтение первой (частицы).

Однако в большинстве случаев вопрос о смене онтологии возникает на стадии интерпретации уже достаточно продвинутой разработки теории, хотя его можно ставить и на более ранних стадиях.

Нелинейность и новые фундаментальные постоянные

Безусловно, нелинеризация механики и физики была и остаётся важным теоретическим ресурсом, и иногда она приводила к успеху, когда возникала естественно или когда для этого имелись физические основания (как это было в случае ОТО). Но бывала и неудачной, когда нелинейность «вводилась руками», то есть когда для этого не было достаточных физических оснований (как это оказалось в случаях нелинейной электродинамики Г. Ми, М. Борна и Л. Инфельда или единой нелинейной теории элементарных частиц В. Гейзенберга).

Кстати, в этих случаях приходилось вводить новые фундаментальные постоянные («константа абсолютного поля» в теории Борна–Инфельда и «универсальная длина» в теории Гейзенберга). Соответствующие исследовательские программы сравнительно подробно рассмотрены в монографии К.А. Томилина [34]. Он справедливо отмечает, что создание СТО и квантовой теории было связано с выделением двух фундаментальных постоянных – скорости света c и постоянной Планка h . Гравитационная постоянная G , которая уже фигурировала в классической теории тяготения, приобрела фундаментальный характер в ОТО. Поэтому, продолжает К.А. Томилин, «естественным было ожидать дальнейшее развитие физиче-

ского знания на пути открытия новых фундаментальных постоянных» [34. С. 228].

С фундаментальными постоянными связана и программа противоположного рода, согласно которой фундаментальные постоянные в действительности переменны. Эта идея в отношении гравитационной постоянной впервые была выдвинута П. Дираком. В отношении атомных констант и констант, характеризующих силы взаимодействия, эта программа была достаточно популярна в последней трети XX в., до тех пор, пока не были установлены весьма жесткие ограничения на переменность постоянных, связанные с изучением естественного ядерного реактора в Окло (Габон). Недавнее открытие ускоренного расширения Вселенной резко повысило шансы на фундаментальность космологической постоянной, интерпретированной как плотность космического вакуума («темной энергии») [35].

Оба этих фактора важны, но пока они явно не приобрели метафизического статуса и их пока более естественно рассматривать в рамках внутри физической эвристики.

Введение необратимости

Этот фактор выглядит более метафизично, поскольку мы понимаем, что реальные физические процессы, а значит, и окружающий нас мир существенно необратимы. Это понимание вступает в конфликт с фундаментальной теоретической физикой, в которой господствуют обратимые уравнения Ньютона, Максвелла, Шрёдингера, Эйнштейна, Дирака и др. Попытки И.Р. Пригожина ввести необратимость на уровне микромира, то есть соответствующим образом перестроить квантовую теорию, пока не привели к успеху. Но такого рода подходы остаются в арсенале теоретиков и, несомненно, имеют метафизическую подоплёку.

Фундаментальность следствий

Сразу проиллюстрируем смысл этого фактора на примере феномена динамического хаоса [36]. Это блестящий пример основополагающего открытия, связанного не с переходом к новым фундаментальным уравнениям, а с более глубоким анализом уже известных фундаментальных уравнений. «Всегда ли извлечение следствий, – пишет Р.Р. Мухин, – представляет нечто вторичное, а все принципиальные моменты связаны с физическими основаниями теории? Главный итог в открытии хаоса, имеющий общенаучное значение, состоит в том, что получение следствий может привести к концептуальным изменениям, сопоставимым с теми, какие обычно связываются с уровнем фундаментальных уравнений» [36. С. 280–281]. Другим примером эффективности этого фактора являются черные дыры, то есть точечные сингулярные объекты с горизонтом событий, описываемые решением Шварцшильда гравитационных уравнений Эйнштейна. Трудно себе представить

современную астрофизику без этих объектов, обладающих парадоксальными свойствами.

Этот фактор демонстрирует скрытую глубину и содержательность математических структур физики и примыкает к тому фактору дуги Эйнштейна, который мы связали с математичностью физического мира. Каких-либо самостоятельных метафизических оттенков в нём не присматривается.

Междисциплинарность

Наука полидисциплинарна, так же как и сама физика состоит из ряда относительно независимых областей. И в обоих случаях пограничные зоны являются зонами плодотворного взаимовлияния соседних дисциплин или соответствующих областей. Таким образом, междисциплинарность может рассматриваться как специфический фактор, могущий повлиять на «дугу Эйнштейна».

Конечно, междисциплинарность сама по себе не является метафизическим фактором. Но заметим, что обе непостижимые эффективности, связанные с математичностью и телеологичностью физического мира, междисциплинарны по своей сути (математика и физика, аналитическая механика и физика). Не менее половины МПФ также имеет междисциплинарный характер. Это, очевидно, принципы симметрии, причинности, единства научного знания, простоты и др. Наконец, философская, или метафизическая, эвристика, действующие на «физической почве», – также междисциплинарный феномен.

Заключительные замечания

Итак, опираясь на эйнштейновскую модель построения фундаментальной физической теории и принимая его тезис об отсутствии логического пути от эмпирических данных к основным принципам и уравнениям теории, мы вместе с тем попытались «рационализировать» этот путь, названный нами «дугой Эйнштейна». Мы описали серию факторов, ограничивающих «форму и расположение» дуги, иначе говоря, сформулировали некоторые правила для разработки фундаментальных физических теорий.

Оказалось, что наиболее важные из них, по существу, укоренены в глубинном слое философии, который принято относить к метафизике (математичность мира, телеологичность мира, большая часть методологических принципов и т. д.). Метафизический характер этих правил (принципов, факторов) нередко подчеркивается такими возвышенными формулировками, как «непостижимость», «предустановленная гармония», «космическое религиозное чувство» и т.д. Эта непостижимость, кроме того, означает, что никакого теоретического (логического) обоснования этих правил, строго говоря, не существует. Возвышенные формулировки при этом наводят на мысль, что они (или некоторые из них) настолько важны для теоретиков, что при-

обретают характер своего рода символов веры. Замечательной особенностью этих факторов является их эмпирический характер. Эмпиричность в данном случае означает, что они – эти факторы – извлечены физиками и историками науки из обширного опыта построения фундаментальных физических теорий. Так, Ю. Вигнер назвал «непостижимую эффективность математики в естественных науках» «эмпирическим законом эпистемологии».

Можно представить себе, что в отдельных более или менее простых случаях сочетание нескольких факторов может оказаться почти достаточным для построения теории. Например, в физике частиц опыт вам подсказывает некие законы сохранения, которые, в свою очередь, помогают предположить наличие определённой группы симметрии, что даёт возможность сконструировать необходимый лагранжиан теории. Заметим, что в этой цепочке работают такие факторы, как обе непостижимые эффективности, методологические принципы сохранения, симметрии, соответствия и т. д. Дуга Эйнштейна в этом случае уже не выглядит произвольной кривой, и это значит, что путь от эмпирических фактов к основам теории в достаточной степени рационализирован.

Шрёдингер, как видно из эпитафия, высоко ценил роль метафизики в развитии физики, но полагал, что, выполнив функцию вспомогательных «лесов» при постройке здания, она не просто отбрасывается, а в некотором смысле **превращается в физику**. Однако эта проблема, то есть вопрос о мере этого превращения метафизики в физику, требует дополнительного анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шрёдингер Э. Мой взгляд на мир. – М.: Ком. Книга, 2005.
2. Медведев Б.В. Начала теоретической физики. – М.: Наука, 1977.
3. Эйнштейн А. Письма к Морису Соловину // Собрание научных трудов. – Т. IV. – М.: Наука, 1967. – С. 547–475.
4. Визгин Вл.П. Чем определяется «дуга Эйнштейна»? // Эйнштейн и перспективы развития науки / отв. ред. Е.А. Мамчур. – М.: Репроникс, 2007. – С. 20–24.
5. Чехов А.П. Собр. соч.: в 12 т. – М.: Худ. лит., 1967–1973. – Т. 11.
6. Мысливченко А.Г. К вопросу мировоззрения А.П. Чехова // Вопросы философии. – 2012. С. 95–105.
7. Визгин Вл.П. Эйнштейн: между физикой и философией // Грани познания: наука, философия, культура в XXI в. – Кн. 2. – М.: Наука, 2007. – С. 114–130.
8. Визгин Вл.П. О теоретических аспектах историко-научного разума: факторы, определяющие «дугу Эйнштейна» // Рукопись.
9. Визгин Вл.П. Непостижимая эффективность аналитической механики в физике // Метафизика. Век XXI. Альманах. Вып. 4: Метафизика и математика / под ред. Ю.С. Владимирова. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – С. 275–289.
10. Овчинников Н.Ф. Принципы теоретизации знания. – М.: Агро-принт, 1996.
11. Владимиров Ю.С. Метафизика. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2002.
12. Огурцов А.П. Философия науки: двадцатый век. Концепции и проблемы: в 3 ч. – Ч. I. – СПб.: Миръ, 2011.

13. Структура и развитие физики (из Бостонских исследований по философии науки) / под ред. Б.С. Грязнова и В.Н. Садовского. – М.: Прогресс, 1978.
14. Дирак П. Эволюция физической картины мира // П. Дирак. Собрание научных трудов. – Т. IV / под ред. А.Д. Суханова. – М.: Физматлит, 2005. – С. 568–582.
15. Эйнштейн А. О методе теоретической физики (1933) // А. Эйнштейн. Собрание научных трудов. – Т. IV. – М.: Наука, 1967. – С. 181–186.
16. Эйнштейн А. Религия и наука (1930) // А. Эйнштейн. Собрание научных трудов. Т. IV. – М.: Наука, 1967. – С. 126–129.
17. Яу Ш., Надис С. Теория струн и скрытые измерения Вселенной. – СПб.: Питер, 2012.
18. Кобзарев И.Ю., Манин Ю.И. Элементарные частицы. Диалоги физика и математика. – М.: ФАЗИС, 1997.
19. Полак Л.С. Вариационные принципы механики: их развитие и применения в физике. – Изд. 2-е, испр. – М.: ЛИБРОКОМ, 2010.
20. Полак Л.С. Вариационные принципы механики // Вариационные принципы механики / ред., послесловие и прим. Л.С. Полака. – М.: ГИФМА, 1959. – С. 780–879.
21. Мопертюи П. Законы движения и покоя, выведенные из метафизического принципа // Вариационные принципы механики / ред., послесловие и прим. Л.С. Полака. – М.: ГИФМА, 1959. – С. 41–55.
22. Белавин А.А., Кулаков А.Г. Лекции по теоретической физике. – М.: МЦНМО, ВКМ, НМУ, 1999.
23. Гельмгольц Г. О физическом значении принципа наименьшего действия // Вариационные принципы механики / под ред. Л.С. Полака. – М., 1959. – С. 430–459.
24. Планк М. Принцип наименьшего действия / под ред. Л.С.Полака. – М.: ГИФМЛ. – С. 579–588.
25. Пенроуз Р. Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной: полный путеводитель. – М.-Ижевск: Инст. комп. исслед., «РХД», 2007.
26. Фейнман Р. Характер физических законов. – М.: Мир, 1968.
27. Эйнштейн А. Автобиографические заметки // А. Эйнштейн. Собрание научных трудов. – Т. 4. – М.: Наука, 1967. – С. 259–293.
28. Эйнштейн А. Замечания к статьям // А. Эйнштейн. Собрание научных трудов. – Т. 4. – М.: Наука, 1967. – С. 294–315.
29. Bachelard G. Philosophie du non: Essai d'une philosophie du nouvel esprit scientifique. – Paris, 1940.
30. Визгин Вик. П. Эпистемология Гастона Башляра и история науки. – М.: ИФРАН, 1996.
31. Вернадский В.И. Труды по философии естествознания / отв. ред. К.В. Симаков, С.Н. Жидовинов, Ф.Т. Яншина. – М.: Наука, 2000.
32. Вайнберг С. Мечты об окончательной теории. – М.: УРСС, 2004.
33. Эрекаев В.Д. Современная философия и квантовая физика. – М.: ИНИОН РАН, 2007.
34. Томилин К.А. Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006.
35. Рубаков В.А. Есть надежда на то, что появится новая физика // Будущее фундаментальной науки: Концептуальные, философские и социальные аспекты проблемы / отв. ред. А.А. Крушанов, Е.А. Мамчур. – М.: КРАСАНД, 2011. – С. 12–24.
36. Мухин Р.Р. Очерки по истории динамического хаоса: исследования в СССР в 1950–1980-е гг. – Изд. 2-е, перераб. – М.: ЛИБРОКОМ, 2012.