Методология историко-научных исследований

АКСИОМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ В РАЗВИТИИ ФИЗИКИ

А. А. ПЕЧЕНКИН

Сегодня в философской литературе не встретишь того интереса к аксиоматическому построению физических теорий, который наблюдался в 50—60-е годы. Спад этот объясняется рядом причин. Во-первых, в значительной степени оказалась исчерпанной логическая проблематика, связанная с аксиоматическим методом. Во-вторых, так называемое аксиоматическое направление в квантовой теории поля не оправдало всех возлагавшихся на него надежд. Не последнее значение имела и внутренняя переориентация методологии науки: проблема строения и функций теоретического знания постепенно стала уходить в тень, уступая место вопросам эволюции концептуального аппарата, смены «стилей мышления», «парадигм», развития системы методологических принципов. Между тем исследования в области аксиоматизации в самой физике продолжаются. В этих исследованиях ставятся методологические проблемы [1]. В настоящей статье речь пойдет о некоторых из этих проблем. Мы рассмотрим современное состояние аксиоматического метода в физике, выделив две общие тенденции в развитии этой науки, а именно тенденции к математизации и интеграции знания.

О понятии аксиоматизации

Начнем с уточнения самого понятия аксиоматизации. Нередко в физической литературе термин «аксиоматический» применяется далеко за пределами того смысла, который в него вкладывается в логике. Под аксиоматическим построением понимается такое, при котором четко фиксируются исходные принципы теории. В настоящей статье мы хотим сохранить за аксиоматизацией ее аутентичный логический смысл. Аксиоматической мы будем называть такую теорию, в которой выделяется два класса предложений (аксиомы и теоремы) и два класса понятий (первичные и производные). Если аксиомы (их должно быть сравнительно немного) принимаются без доказательства, то теоремы доказываются в соответствии с правилами дедуктивной логики. Первичные понятия (их тоже должно быть сравнительно немного) принимаются без определений. Производные понятия вводятся посредством явных определений. Мы будем предполагать также наличие фиксированной «базисной» или «предпосылочной» теории, математической теории, к которой присоединяются физические аксиомы и средствами которой осуществляется доказательство теорем.

Дальнейшее уточнение понятия аксиоматизации можно провести, рассмотрев историческую эволюцию этой процедуры. Следуя известной классификации, можно выделить три этапа в эволюции аксиоматического метода [2]. Первые два из них наблюдаются в истории физики, третий — только в истории математики.

Первый этап может быть назван евклидовым: характерным примером этого типа аксиоматики служит построение геометрии, осуществленное в IV в. до н. э. Евклидом. Первый этап — этап интуитивной содержательной аксиоматизации. Аксиомами в этом случае считались наглядные положения, истинные в силу очевидности. Первичные понятия, как мы писали, в рамках аксиоматической системы не определяются. Содержательная аксиоматизация составляет здесь до некоторой степени исключение. Первичные понятия в этом случае определяются, но определяются в терминах интуиции, донаучного опыта. Важным примером физической теории, построенной по евклидовому образцу, является механика Ньютона. Заметим, однако, что в аксиоматическом стиле выдержана лишь первая книга «Математических начал...», в которой рассматривается механика точки и решаются задачи, необходимые для построения планетарной механики.

Второй этап эволюции аксиоматического метода может быть назван гильбертовским: характерным примером этого типа аксиоматизации была осуществленная в конце прошлого века Д. Гильбертом переформулировка евклидовой геометрии. Здесь мы по-прежнему имеем дело с содержательной аксиоматизацией: математический смысл еще не полностью выражается в символической форме. Но гильбертовская аксиоматизация более абстрактна. Здесь речь идет о весьма общих отношениях, типа принадлежности, порядка, конгруэнтности, которые не могут быть точно переданы зрительными образами. Каждое отношение задается через свои свойства, выраженные в аксиомах.

Особо надо сказать о первичных понятиях в аксиоматизациях гильбертовского типа. Эти понятия, как и было сказано в начале настоящего параграфа, вводятся без определений. В аксиоматиках типа евклидовой явные определения первичных понятий были существенны для понимания аксиом. В гильбертовских же системах дело обстоит скорее наоборот. Здесь содержание первичных понятий определено настолько, насколько оно выражено в аксиомах. В связи с гильбертовским подходом к аксиоматизации часто говорят о неявном определении первичных понятий системой аксиом.

В дальнейшем, рассматривая теоретико-познавательные проблемы аксиоматизации физического знания, мы будем иметь в виду гильбертовскую трактовку этой познавательной процедуры. В физике гильбертовский этап аксиоматизации начался с работ самого Гильберта и его сотрудников, выполненных в начале нынешнего столетия.

Остановимся на работах Г. Гамеля по аксиоматическому обоснованию классической механики с первого десятилетия и до 40-х гг. XX в. Гамель исходил из гильбертовского понимания аксиоматизации, требуя, кроме того, соответствия между аксиомами и опытом. Первичные понятия физической теории, согласно Гамелю, определяются лишь их местом в системе аксиом. Кроме того, они имеют экспериментальные «признаки», позволяющие соотносить эти понятия с опытом. В качестве базисной теории Гамель взял дифференциальное исчисление и евклидову геометрию. Построение Гамеля начинается следующими аксиомами [3, с. 2—42]. 1_A. Существует радиус-вектор r, представляющий собой по крайней мере дважды кусочно-дифференцируемую функцию t (t — время, $\frac{dr}{dt}=h$ — скорость, $\frac{d^2r}{dt^2}=\omega$ — ускорение). 1_B. Пусть происходит материальное движение из пространственной области V_0 в пространственную область V. Тогда соответствующее отображение будет взаимно однозначным и кусочно-дифференцируемым. 1_C. Для каждой пространственной области существует интеграл Стильтьеса $m=\int dm$ (m — масса). 1_D. Элементам массы dm могут быть поставлены в соответствие одни или несколько векторов dK (силы), так что для каждого элемента объема V существует $R=\int\limits_V \Sigma dK$, где $\int$ — интеграл Стильтьеса. 1_E. Силы dK

определяются их «причинами», т. е. переменными, которые изображают или передают геометрическое и физическое состояние окружающей материи. Эта зависимость однозначная, непрерывная и дифференцируемая. 1_F. Внутри каждого объема с массой m имеется точка, для ускорения которой справедлив закон Ньютона $m\omega = R$.

Мы воспроизвели аксиомы группы I, составляющие «ядро» построения механики, предпринятого Гамелем. Дальше у Гамеля идут аксиомы группы II, которые формулируются в различных вариантах. Гамель рассматривает пополнение аксиом группы I, исходящее из гипотезы непрерывности, из концепции твердого тела, из принципа освобождения системы от связей. Пополнение, исходящее из гипотезы непрерывности, производится следующим образом. II. 1_A $dm = \mu dV$, где μ — плотность, конечная и кусочно-непрерывная функция пространственных координат. II. 1_B Силы dK распадаются на две группы: распределенные в пространстве и распределенные на плоскости. Распределенные в пространстве имеют вид dVq, где q — конечная и кусочно-непрерывная векторная функция пространственных координат и времени. Распределенные на плоскости ставятся в соответствие элементам плоскости dF, обладающим внешними нормалями n, и имеют вид $\sigma_n dF$, где σ_n — всюду непрерывная дифференцируемая функция пространственных координат ($\sigma_n = T \cdot n$, где T — тензор напряжения). II. 2. Тензор напряжения симметричен.

Как мы отмечали, третий этап в эволюции аксиоматического метода наблюдается только в истории математики. Этот этап тоже может быть назван гильбертовским, ибо связан с выдвинутой Гильбертом во втором десятилетии XX в. программой обоснования математики. Однако речь здесь идет уже не о содержательной аксиоматизации, которая осуществлялась при гильбертовском построении евклидовой геометрии. Выдвигая программу обоснования математики, Гильберт имел в виду формализацию, реконструкцию теоретического знания в формальную систему (формализм). При формализации теория заново строится в особом символическом языке. Конечно, и при содержательной аксиоматизации обычно используется буквенная символика. Однако в этом случае за символической формой скрывается невыразимое в этой форме содержание. При формальном же построении теории содержанием оказывается сама форма. В формальной системе (формализме) во внимание принимается только вид и порядок символов, к последовательностям которых применяются правила, выводы.

Аксиоматизация и математизация

Аксиоматизация физической теории предполагает достаточно высокий уровень ее математизации. Даже первый (евклидовый) тип аксиоматизации, апеллирующий к интуиции и очевидности, мог возникнуть в физике лишь при наличии солидной математической базы. Как отмечалось, важным примером такой аксиоматизации может служить ньютоновское построение механики в «Математических началах натуральной философии»: «аксиомы движения» у Ньютона (законы Ньютона, как их сейчас называют) не были математическими истинами. Это были содержательные предложения, сформулированные на естественном языке. Исходные понятия ньютоновской механики («абсолютное время», «абсолютное пространство», «абсолютное движение», «приложенная сила», «масса») вводились при помощи явных определений, опирающихся на «здравый смысл» и метафизику. Однако доказательство теорем проводилось на уровне математических рассуждений. В «Математических началах...» был для этого развит специальный геометрический вариант исчисления бесконечно малых — исчисление первых и последних отношений. «Аксиомы движения» при этом переводились на математический язык. Правда, перевод не был однозначным. Например, вторая «аксиома движения» (второй закон Ньютона) переводилась на язык математики в виде трех различных соотношений, которые в современной символике могут быть записаны как $f=ma$, $f=\Delta(mv)$, $\int\limits_{t_1}^{t_2} f dt=\Delta(mv)$, где f — сила, m — масса, a — ускорение, v — скорость, t — время.

Второй (гильбертовский) тип аксиоматизации предполагает уже математизацию не только доказательства теорем, но формулировок исходных положений теории. В гильбертовской аксиоматизации речь идет об абстрактных отношениях, которые задаются через свои свойства, выражаемые аксиомами. Конечно, в принципе эти отношения могут быть сформулированы и на естественном языке. Однако символические формулировки оказываются более предпочтительны в плане компактности и выразительности.

Гильбертовский этап аксиоматизации физических теорий был подготовлен предшествующей математизацией. Как мы отмечали, исходные посылки (аксиомы движения) Ньютона были еще содержательными положениями, сформулированными на естественном языке. У Ньютона не было еще однозначного перевода аксиом на язык математики. Более высокий уровень математизации мы находим в «Механике..., изложенной аналитически» Л. Эйлера. Исходные посылки здесь, правда, по-прежнему формулируются на естественном языке. Однако перевод второго закона Ньютона на язык математики уже однозначный. В «Механике..., изложенной аналитически» Эйлера впервые появляется то, что мы сейчас называем уравнением Ньютона (или уравнениями Ньютона). Следующая фаза математизации физики представлена аналитической механикой Ж. Лагранжа (конец XVIII в.). Здесь уже исходным положением является математическая «общая формула» (или в современной терминологии формула Даламбера — Лагранжа), которая позволяла, по крайней мере по замыслу Лагранжа, свести задачи механики к задачам математического анализа.

В современной математической физике аксиоматизация—лишь один и причем не самый важный способ строгого построения теории. Аксиоматизация осуществляется присоединением к некоторой базисной или предпосылочной теории системы математически сформулированных аксиом, выражающих физическое содержание аксиоматизируемой теории. Во многих случаях идут, однако, по пути, который может быть назван математическим моделированием. На этом пути специальные физические положения (их обычно бывает немного) присоединяются не к аксиомам, а теоремам математической теории. Физическая теория строится как ветвь некоторой математической теории путем определения новых более частных понятий, формулирования и доказательства новых теорем. В принципе, правда, и построение по методу «математического моделирования» может рассматриваться как аксиоматическое: современная математика строится в своих основаниях как иерархия аксиоматизированных теорий. Можно считать, что, действуя по методу математического моделирования, мы используем уже готовые аксиоматизированные математические структуры, добавляя к ним при необходимости новые понятия, составляя и доказывая новые утверждения. Однако, как правило, при построении физической теории математические аксиомы полностью не выписываются. Аксиоматическим приходится считать построение, при котором кроме базисной или предпосылочной математической теории фиксируется система специфических аксиом. Построение же по методу математического моделирования хотя и будет аксиоматическим в своей математической основе, не будет таковым с точки зрения физика или математика, сосредоточивающего внимание в первую очередь на физически осмысленных математических конструкциях.

В каких же случаях применяется аксиоматическое построение физической теории? Аксиоматическое построение позволяет компактно представить совокупность исходных положений физической теории, сопоставляя эту теорию с другими теориями и концепциями. Не последнюю роль играет и традиция. В изложениях классической механики, например, ощущаются два подхода. Первый идет в конечном итоге от Ньютона и Эйлера. Здесь фундаментальное значение имеют понятия силы и массы, а также соотношения между силами, массами и ускорениями, восходящие к системе законов Ньютона. Второй подход свойствен аналитической механике. Здесь первостепенное значение приобретает поиск общих абстрактных закономерностей. «Наша цель,— пишет Дж. Синг,— состоит в том, чтобы представить динамическую теорию совершенно абстрактным образом так, чтобы полученные результаты могли быть приложимы вне традиционной ньютоновской динамики» [4]. Понятия массы и особенно силы оказываются в аналитической механике производными. В основу аналитической механики, как правило, кладутся математические объекты — функции Лагранжа и Гамильтона, которые, вообще говоря, не всегда могут быть выражены через привычные представления о кинетической и потенциальной энергиях. Подход, идущий от Ньютона и Эйлера, при соответствующем уточнении, выливается в формулирование системы аксиом, присоединяемых к математическому анализу и евклидовой геометрии. В традиции же аналитической механики строить теорию, исходя непосредственно из представлений математической теории (анализа, вариационного исчисления, дифференциальной геометрии), надлежащим образом развивая эти представления. Конечно, современную аналитическую механику можно считать аксиоматической теорией, ибо в ее фундаменте лежат аксиоматизированные математические структуры. Однако не эта аксиоматика оказывается в поле зрения физика или математика, занимающегося аналитической механикой. Рассмотрение механических проблем начинается с производных и специфических математических конструкций.

Остановимся еще на одном новом моменте в развитии аксиоматического метода. В нынешнем столетии строгое построение математических, а затем физических теорий стало осуществляться на теоретико-множественной основе. Это значит, что математические (и физические) объекты стали трактоваться как «теоретико-множественные предикаты»: на множестве элементов произвольной природы определяется некоторое отношение или операция, это определение осуществляется формулированием системы аксиом, выражающих различные свойства определяемого отношения или определяемой операции. Аксиоматизация путем определения «теоретико-множественного предиката» не составляет особого этапа в формализации аксиоматического метода. Эта аксиоматизация может быть отнесена ко второму (гильбертовскому) этапу.

Теоретико-множественный подход позволил унифицировать язык математики, сделал построение математических теорий более компактным и ясным. В физике этот подход позволил четче представить математические структуры, лежащие в основе физических теорий. Характерным примером может служить теоретико-множественная аксиоматизация квантовой механики, начатая Г. Биркгофом и И. фон Нейманом и продолженная Дж. Макки, Дж. М. Яухом, К. Пироном и др. Как известно, строгое построение квантовой механики было осуществлено в начале 30-х годов фон Нейманом на основе теории самосопряженных операторов в гильбертовом пространстве. Физики, однако, хотели от математического построения квантовой механики большей логической ясности. «Цель настоящей статьи,— писали в своей первой работе по аксиоматизации квантовой теории Г. Биркгоф и И. фон Нейман,— раскрыть те логические структуры, которые можно обнаружить в физических теориях, неудовлетворяющих подобно квантовой механике, классической логике»

[5, с. 1]. В своей работе Биркгоф и фон Нейман предложили исчисление «экспериментальных высказываний, формально неотличимое от исчисления замкнутых подпространств гильбертова пространства по отношению к теоретико-множественному произведению, сумме и ортогональному дополнению и напоминающее обычное исчисление высказываний по отношению к «и», «или» и «не» [5, с. 1]. В отличие от вектора гильбертова пространства «экспериментальное высказывание» обладает непосредственным физическим смыслом. «Экспериментальные высказывания» — это подмножества «пространств наблюдения», пространств результатов различных совместных измерений, касающихся некоторой физической системы (речь здесь идет о подмножествах, а не о точках ввиду неустранимой «расплывчатости» показаний приборов).

Биркгоф и фон Нейман строили свое исчисление экспериментальных высказываний, руководствуясь свойствами замкнутых подпространств гильбертова пространства. Однако когда построение было закончено, произошло обычное в таких случаях оборачивание. «Геометрия» гильбертова пространства стала одной из возможных реализаций исчислений «экспериментальных высказываний».

Аксиоматизация и интеграция знания

Аксиоматизация может служить средством интеграции знания, т. е. соединения в рамках одной теоретической системы двух или более разнородных теоретических концепций. Остановимся в этой связи на двух достаточно крупных проблемах в развитии физики. Первая — проблема единства классической механики. Как известно, классическая механика исторически формировалась прежде всего как механика точки или системы материальных точек. Механика непрерывных тел обычно считалась вторичной и более прикладной. Отсюда и различие в уровнях строгости. Выше в качестве характерного примера евклидовой аксиоматизации в физике мы привели построение механики в «Математических началах...» Ньютона. Заметим теперь, что механика Ньютона была строгой там, где речь шла о движении материальной точки. Еще Лагранж отмечал недостатки второй книги «Начал...», трактующей о движении в сопротивляющейся среде.

Последовательное рассмотрение ряда проблем механики непрерывных тел мы находим в работах И. Бернулли и Л. Эйлера. При этом «у Эйлера впервые наметились различия между механикой точки и механикой сплошной среды» и были даны «совершенно четкие представления об объектах исследования и основных понятиях и закономерностях» как той, так и другой области знания [6, с. 94]. Однако вопрос о соотношении механики точки и механики сплошной среды оставался не выяснен. В начале XIX в. приобрела популярность программа молекулярной механики, согласно которой основные представления гидродинамики, теории упругости и т. д. должны быть выведены из модели притягивающихся и отталкивающихся материальных точек. Хотя программа молекулярной механики почти сразу же встретилась с трудностями, решающий удар по ней был нанесен лишь вместе с возникновением теории химического строения и электронных теорий. Однако уже в рамках молекулярной механики появлялись «оппортунистические», по словам И. Б. Погребысского, теории. Формально следуя программе молекулярной механики, Дж. Грин, Дж. Г. Стокс и др. применяли в своих построениях континуалистские представления.

Одной из важных попыток объединить в одной теоретической системе представления механики точки и сплошных тел была приведенная выше аксиоматика Гамеля. Мы видели, что среди первичных понятий у Гамеля встречается наряду с массой — элемент массы, наряду с объемом — элемент объема и т. д. Аксиоматическая система Гамеля, однако, вызывала серьезные нарекания. И одним из них было нарекание по поводу недостаточной строгости. Проблема объединения механики точки и механики непрерывных тел была остро поставлена уже в 50—60-х годах в работах Трусделла и Нолла. «Многие книги по теоретической механике,— писал Нолл,— справляются с непрерывными телами замечанием, что эти тела могут рассматриваться предельные случаи систем частиц при неограниченном увеличении числа частиц. Это, однако, неверно» [7, p. 266]. Возьмем, например, как пишет Трусделл, проблему обратимости. В обычной механике частиц прошлое и будущее могут меняться местами. В механике же сплошной среды необратимость становится уже не исключением, а правилом [8, с. 152].

Трусделл и Нолл строят свою аксиоматическую систему в контексте структур алгебры и анализа. С аксиоматикой Гамеля их, однако, объединяет стремление сохранить ньютоновскую понятийную схему механики, т. е. принять в качестве первичных понятия массы и силы. Трусделл и Нолл исходят из множества тел (тело — одно из первичных понятий их аксиоматической системы), которому приписывается структура булевой алгебры. Масса вводится, когда на множестве тел определяется положительно значная функция, сила, когда каждой паре тел ставится в соответствие вектор из конечномерного евклидова пространства.

Вторая физическая проблема, которая решалась на пути аксиоматизации,— это проблема вероятностных представлений квантовой механики. Хотя первые квантовые гипотезы вводились непосредственно в статистическую физику, дальнейшее развитие квантовой теории и в особенности ее математическое оформление происходило до некоторой степени в стороне от вероятностных представлений. В матричную механику (исторически первичную формулировку современной квантовой механики) вероятностные представления (вероятности квантовых переходов) вошли из старой квантовой теории Бора — Зоммерфельда, в которой они использовались при истолковании квадратов модулей амплитуд гармонических компонент электрического момента атома. Сам же математический аппарат матричной механики не содержал вероятностных представлений. Волновая же механика Шредингера вообще формировалась как динамическая теория. Вероятностные представления были введены в эту теоретическую схему только после корпускулярной интерпретации, которую предложил М. Борн, изучая проблему столкновений.

Даже в наиболее строгих изложениях квантовой механики, предложенных П. А. М. Дираком и фон Нейманом, вероятностные представления возникают лишь в связи с физической интерпретацией математической схемы теории. Такое положение не было вполне удовлетворительным. Вместе с вероятностной интерпретацией в квантовую механику входила классическая (иной тогда не было) теория вероятностей. Однако было ясно, что квантово-механические вероятности не могут вполне подчиняться правилам классической теории вероятностей: об этом говорил уже факт интерференции амплитуд. Чтобы как-то различить квантовые и классические вероятности, приходилось строить еще одну интерпретацию. В. Гейзенберг, например, предлагал отличать квантовую вероятность от классической как объективную, напоминающую тенденцию, потенцию в смысле аристотелевской философии [9, с. 32]. Однако эта интерпретация вызывала возражения [10, с. 453].

Наиболее аргументированную трактовку вероятностной интерпретации квантовой механики дал фон Нейман, использовав концепцию статистического ансамбля. И. фон Нейман различал ансамбли классической статистической физики и квантово-теоретические ансамбли, не допускающие «скрытых параметров». Доказав свою известную теорему о невозможности скрытых параметров в квантовой теории, он установил нередуцируемость квантово-теоретической вероятности к классической. Однако, как показало дальнейшее обсуждение этой проблемы, доказательство фон Неймана не было достаточно строгим. Не имея органического сочетания вероятностных идей и математического аппарата квантовой механики, фон Нейман при доказательстве теоремы о полноте был вынужден исходить из наглядных нематематизированных предпосылок [11, p. 53—54].

Путь строгой трактовки квантово-теоретической вероятности был указан аксиоматическим построением теории вероятности, осуществленной А. Н. Колмогоровым в 30-х годах. Аксиоматическое построение квантово-теоретической теории вероятностей было осуществлено в 50—60-х гг. Дж. Макки и В. С. Варадарьяном на основе вышеупомянутого исчисления «экспериментальных высказываний» Биркгофа и фон Неймана [12]. Макки и Варадарьян определили вероятностную меру на множестве «экспериментальных высказываний». При этом сразу же стал ясен разрыв с классической вероятностью: решетка «экспериментальных высказываний» не является булевой. Трудность возникла с понятием случайной величины. Здесь потребовалось нетривиальное обобщение колмогоровского понятия.

При аксиоматическом построении классической статистической механики пространство элементарных событий оказывается фазовым пространством, вероятностная мера — состоянием физической системы, случайная величина — наблюдаемой (динамической переменной). Точно так же квантовая теория вероятностей образует основу аксиоматического построения квантовой механики. При этом уточняется понятие состояния физической системы и наблюдаемой. Если при обычном изложении квантовой механики состояние есть вектор в гильбертовом пространстве, то при аксиоматическом — это вероятностная мера на множестве «элементарных событий». Если обычно наблюдаемая — самосопряженный оператор (мы упускаем некоторые математические ограничения), то при аксиоматическом — гомоморфное отображение класса борелевских множеств на действительной прямой в решетку «экспериментальных высказываний». Такая трактовка, между прочим, отвечает интуиции: физическое измерение есть процедура, ставящая в соответствие каждому интервалу действительных чисел высказывание о том, принадлежит ли результат измерения этому интервалу.

Среди физиков бытует мнение, что аксиоматика является чем-то вроде лоска, который наводится на уже готовую теорию. Историко-методологический анализ, проведенный в настоящей статье, надо думать, показывает, что аксиоматизация, даже в аутентичной гильбертовской трактовке,— одна из возможных форм обоснования научно-теоретического знания.

Литература

1. *Трусделл К.* Первоначальный курс рациональной механики сплошных сред. М.: Мир, 1975. 592 с.; *Greechie R. J., Gudder S. P.* Quantum Logic. — In: The Logico-Algebraic Approach to Quantum Mechanics. Dordrecht-Holland, 1975, p. 545—576; *Wightman A. S.* Hilbert's Sixth Problem: Mathematical Treatment of Axioms of Physics. — In: Proc. Symp. in Pure Math., 1977, v. 28, pt. 1, p. 147—210.
2. *Рузавин Г. И.* О природе математического знания. М., 1968, ч. 1, гл. 2; *Stegmuller W.* The Structure and Dynamics of Theories. Berlin: Springer — Verl., 1976, p. 30—39.
3. *Hamel G.* Axiome der Mechanik.— In: Handbuch der Physik. B. V. Berlin: Springer — Verl., 1927.
4. *Синг Дж.* Классическая динамика. М., 1963, с. 200.
5. *Birkhoff G., Neumann J., von.* The Logic of Quantum Mechanics. — In: The Logico-Algebraic Approach to Quantum Mechanics. Dordrecht-Holland, 1975. Впервые опубл. в Annals of Mathematics, 1936, v. 37, p. 823—843.
6. *Фрадлин Б. Н., Сотников В. С.* Об основных направлениях построения механики. — В кн.: Исследования по истории механики. М., 1981.
7. *Noll W.* The Foundations of Classical Mechanics. — In: The Axiomatic Method. With Special Reference to Geometry and Physics. Amsterdam, 1959.

8. *Трусделл К.* Первоначальный курс рациональной механики сплошных сред. М., 1975.
9. *Гейзенберг В.* Физика и философия. М., 1963.
10. *Борн М.* Физика в жизни моего поколения. М., 1963.
11. *Bub J.* The Interpretation of Quantum Mechanics. Dordrecht-Holland: D. Reidel, 1974.
12. *Макки Дж.* Лекции по математическим основам квантовой механики. М., 1965, с. 103—133; *Varadarjan V. S.* Probability in Physics and a Theorem on Simulteneous Observability. — In: The Logico-Algebraic Approach to Quantum Mechanics. Dordrecht-Holland, 1975, p. 176.

AXIOMATIC BASIS IN THE DEVELOPMENT OF PHYSICS

A. A. PECHENKIN

In the article the main stages in the evolution of axiomatic methods in modern physics are analysed, tendency to the mathemathization of axiomatic theories is underlined, importance of axiomatization in the process of integration of the physical ideas is discussed. Historically-scientific facts connected with axiomatic basis of the mechanics of continuos medium and quantum theory are used in the article.