

Классификация разделов физики по типам базовых объектов

А.И. Липкин

Московский физико-технический институт (государственный университет)

1. Три методологические революции в физике

Современная физика – результат нескольких методологических революций, имевших место с начала XVII по начало XX в.

Первая осуществлена Г. Галилеем в его теории падения тел. Она состоит в переходе от натурфилософии к естественной науке. Это происходит путем симбиоза математизированной натурфилософии и техники. Последняя представлена в виде технических по своей сути операций приготовления ($\langle\Pi|$) и измерения ($|И\rangle$). Они обеспечивают воплощение в материал (материализацию) идеальных сущностей¹, в первую очередь идеальных объектов (ИО) – того, что движется (в очень общем смысле, который обсуждается ниже). Примером последнего является тело в пустоте в теории падения тел Галилея. В этом случае $\langle\Pi|$ – это, скажем, приготовление гладкой наклонной плоскости, шарика и помещение его на определенную высоту, а $|И\rangle$ – это измерение времени и пройденного пути.

Это можно выразить схемой (1.1.1a):

$$\langle\Pi| \text{ИО} |И\rangle \quad (1.1.1a),$$

$$\langle\Pi| \text{Я} |И\rangle \quad (1.1.1б).$$

Аналогичную структуру (1.1.1б) с этих пор имеет и типичный физический (и естественно-научный) эксперимент, где явление (Я) – это поведение некоторого «реального объекта»².

Граница между теоретическим описанием поведения ИО, принадлежащим сфере умозрения и идеальных сущностей, и техническими операциями принципиально важна. Со времен античности это были две разные сферы. Одна принадлежала сфере техне, искусству человека, касалась различных «устройств», другая – сфере философского умозрения, натурфилософии, где обсуждались различные явления и мир в целом, существующие независимо от человека. Техника — это «вторая природа», за которой стоит управляющий ею человек, техника подразумевает цели и функции, а не сущности. Со времен Древней Греции до Нового времени господствовали представления, что

¹ Под идеальными сущностями имеются в виду сущности, задающиеся с помощью определения или входящие в определения, они принадлежат области умозрения (Аристотель), из которой рождается научное мышление, и совсем не обязательно получаются путем идеализации или абстрагирования (могут изобретаться).

² Такая структура эксперимента приводится у Фока [Фок 1951] в связи с квантовой механикой, но эта структура существует со времен теории падения тел Галилея.

«область механики — область *технической деятельности*, тех процессов, которые не протекают в природе как таковой без участия и *вмешательства человека*. Предмет механики — явления, происходящие «вопреки природе», т. е. вопреки течению физических процессов, на основе «искусства» (τέχνη) или «ухищрения» (μηχανή)... Механические проблемы... представляют самостоятельную область, а именно область операций с инструментами и машинами, область «искусства»... Под механикой понимается некое «искусство», искусство делать орудия и приспособления, помогающие одолеть природу... Во второй половине XVII в. продолжало держаться старое представление о механике как теории машин, основанной на началах статики» [Григорьян, Зубов 1962, с. 9–11].

Это различие на технические устройства и физические явления, по сути, остается и после появления естественной науки, сменяющей натурфилософию. Однако между последними возникает специфическое взаимодействие. С одной стороны, в силу структуры (1 а) естественная наука использует технические устройства в <Π| и |И>, с другой – технические устройства могут использовать различные физические явления (это начинается с использования Гюйгенсом теории Галилея для конструирования часового механизма).

Наличие этих двух областей порождает наличие трех типов наук: чистой (академической, фундаментальной), прикладной и технической. Чистая наука руководствуется своими собственными проблемами и задачами, возникающими в ходе ее собственного развития, проблемами и задачами, формулируемыми внутри соответствующего научного сообщества, а не внешними прагматическими целями. Прикладная наука использует ИО чистой науки, но цели и предмет задаются техническими приложениями. Например, физика магнитной жидкости (суспензии ферромагнетика) начинается с применения этой жидкости в технике, после чего она становится объектом физического исследования с целью усовершенствования ее технических свойств. Техническая наука, например, радиотехника, в отличие от прикладной, оперирует своими собственными ИО (колебательный контур, усилитель и т.д.). Нас будет интересовать лишь физика как «чистая» наука, цели развития которой возникают внутри соответствующего научного сообщества³.

Другая важная черта первой методологической научной революции XVII в. состоит в том, что теоретическое описание движения ИО содержит *модельный и математический слои*. К первому относятся «тело», «пустота» и «среда», ко второму – уравнение движения

³ Теория Галилея – решение задачи поставленной Аристотелем, механика и теория тяготения Ньютона – ответ на законы Кеплера движения планет, законы электричества и магнетизма развивалась в 18 в. в лабораториях, функционировавших подобно литературным салонам.

(описывающее равноускоренное падение)⁴. Появление математизированной натурфилософии произошло до Галилея, но там математизировались качества⁵, а здесь – движение.

Вторая методологическая революция была реализована в «Математических началах натуральной философии» И. Ньютона. Там *появился уровень оснований*, где задаются основные понятия. Этот дополнительный уровень *дает средства для построения теории явления*, являющейся конечным продуктом науки. В теории падения Галилея еще не было четкого разведения этих двух слоев.

Выделение оснований позволяет ввести понятие *раздела физики как структурной единицы физического знания*, которое имеет свои основания, выделяющие набор базовых идеальных сущностей, включающих «*первичные идеальные объекты*» (ПИО).

Теоретическим моделям явлений отвечают «*вторичные идеальные объекты*» (ВИО). ВИО определяются явным образом через ПИО. При явном типе определения определяемые понятия выражаются через другие понятия (как в толковом словаре), например, куб – это многогранник, все грани которого являются квадратами. Эти другие, в свою очередь, выражаются через третьи и т. д. Но эта цепочка должна кончатся на каких-то понятиях, которые определяются как-то по-другому. ПИО и другие базовые понятия раздела физики, являются такими *необходимыми конечными понятиями* этих цепочек (в геометрии это точка и прямая, в физике, частица, поле и т.п.), на которые все (т. е. ВИО в интересующем нас случае) опирается⁶. Разница в типе определения (введения) ПИО и ВИО является принципиальной. ВИО (например, Солнечная система) строится из ПИО_j. Из ВИО следует теория, объясняющая известные явления (Я) и предсказывающая новые.

Таким образом, *основания j-го раздела физики (ОРФ_j)* задают систему понятий, необходимых для задания *первичных идеальных объектов (ПИО_j)* данного раздела физики (обычно один)⁷. ПИО являются основными понятиями любого раздела физики. Они

⁴ В «Беседах...» Г. Галилея [Галилей, 1964] математическая часть выделена в виде написанного на латыни трактата, а физические модельные рассуждения («мысленные эксперименты») представлены в форме живого диалога на итальянском языке.

⁵ В работах группы английских философов XIV века, связанных с Мертон-колледжем в Оксфорде (Томас Брэдвардин и др.) общий логико-математический подход применялся к рассмотрению самых разнообразных качеств, от физических (таких, как тепло, яркость, скорость) до моральных и метафизических (таких, как грех, вождление, милосердие, благодать).

⁶ Эмпирики считают, что их можно просто вывести из опыта путем абстрагирования, но такой простой подход оказывается неадекватным уже для теории падения тел Галилея.

⁷ ОРФ напоминают «концептуальные системы» Гейзенберга (5 относительно замкнутых и автономных систем понятий: 1) классическая механика вместе с акустикой, гидро- и аэродинамикой, теорией колебаний; 2) статистическая механика вместе с термодинамикой; 3) специальная теория относительности вместе с электродинамикой, оптикой, магнетизмом; 4) квантовая механика, теория атомных и молекулярных спектров, химия, теории проводимости, ферромагнетизма и других свойств материи; 5) общая теория относительности). Но ОРФ –

составляют онтологические основания физики. Из этих «кирпичиков» строятся все физические модели объектов и явлений природы (и соответствующие им теории).

Это можно изобразить следующей схемой:

$$\{\text{ОРФ}_j \text{ [П}i\text{О}_j]\} \rightarrow [\text{В}i\text{О}(\{\text{П}i\text{О}_j\})] \leftarrow \text{Явление.} \quad (1.1.2).$$

В этой структуре ВИО, с одной стороны, является идеализацией явления, т. е. его приближенным описанием, которое игнорирует ряд свойств реального явления, а с другой – выявляет онтологическую сущность (природу) явления, т. е. утверждает, что те свойства, которые вошли в идеализацию, являются определяющими. Уточнение ВИО-идеализации возможно путем ее усложнения за счет добавления дополнительных элементов в ВИО (а не замены старого ВИО на новый, что отвечало бы не уточнению, а утверждению, что прежний ВИО (и основанная на нем теория) неверен). Поэтому улучшение приближения модели может одновременно рассматриваться как углубление понимания⁸.

Особого обсуждения заслуживает случай, когда ВИО состоит из одного ПИО. В этом случае ВИО – это ПИО с конкретными значениями параметров для ряда параметров, характеризующих ПИО (например, масса частицы в классической механике) и множеством его состояний (положения и скорости частицы). Т.е. ПИО как ПИО, предполагающий все это множество значений и принципиальную возможность их материальной реализации, и ПИО как ВИО, предполагающий конкретные значения, отличаются местом, которое они занимают в сх. 1.1.2. В теории брошенного тела Галилея эти два значения еще не отрефлексированы. У Ньютона они не только четко разведены, но у него появляется возможность строить ВИО из многих ПИО. Это приводит к тому, что ньютоновская механика порождает массу типов задач, в то время как галилеевская теория ограничивалась одним типом задач.

Выделение плохо отрефлексированного в философии науки уровня оснований требует (уже со времен Ньютона) добавления к трем стандартным уровням знания: 1) эмпирических фактов⁹; 2) эмпирических закономерностей («феноменологических теорий»)¹⁰; 3) теоретических законов и теорий конкретных явлений еще одного уровня –

понятие более четкое и связано с ПИО, поэтому содержание ОРФ и «концептуальных систем» не совпадает.

⁸ Т. е. теория и ее законы – это про *идеальные* объекты (ПИО и ВИО), которые могут с определенной степенью точности быть реализованы в материале в виде реальных объектов. Из наличия конечной степени точности (известной и, как правило, контролируемой) не следует «ложность» этих теорий и законов, которую утверждает известный философ науки Нанси Картрайт [Cartwright 1983].

⁹ Здесь можно еще различить «сырые» и «обработанные» факты.

¹⁰ Под эмпирическими законами (закономерностями) будем иметь в виду законы, в которых фигурируют только те же величины, что и в эмпирических фактах. В феноменологических

4) уровня *оснований раздела физики (ОРФ)*. Примерами этих уровней могут служить: для уровня эмпирических фактов – наблюдения Тихо Браге, для уровня эмпирических закономерностей – законы Кеплера; для уровня теоретических законов – теория движения планет Ньютона, а для уровня оснований – понятия, введенные в первой части «Математических начал натуральной философии» Ньютона. Именно из 4-го уровня берутся понятия, с помощью которых строятся теории 3-го уровня.

Завершающим шагом на пути к структуре современной физики стала *третья методологическая революция*, начавшаяся во *второй половине XIX в.* в математике с появлением неевклидовых геометрий, в физике – в связи с появлением электромагнитного поля Фарадея–Максвелла. Здесь научное сообщество столкнулось с *более сложными понятиями*, каковыми в физике является электромагнитное поле, а в геометрии – прямая в неевклидовой геометрии (их нельзя получить простым абстрагированием из эмпирических объектов, как получали понятие «материальной точки»). До электродинамики Максвелла физики искали законы движения, ибо то, что двигалось (тела, среды) считалось очевидным. Вплоть до середины XIX в. базовые понятия считались неопределимыми, но очевидными (по сути, в соответствии с первым правилом «Рассуждения о методе...» Р. Декарта). *Электромагнитное поле – первый объект, который был явно неочевидным*¹¹. Поэтому опора на очевидность стала уже недостаточной¹². Среди первых, кто поставил в физике эти вопросы, был Э. Мах. В результате возникла *проблема оснований* в геометрии и в физике (так называемый «гносеологический кризис в физике»).

В геометрии выход был указан в 1899 г. великим математиком Д. Гильбертом, который ввел для этого *неявный тип определения* исходных понятий – точки, прямой и т. д. – через систему аксиом геометрии. В результате система аксиом геометрии, в которой в каждую аксиому входило несколько конечных (исходных) понятий (например, «через две точки всегда можно провести *прямую*, и только одну»), стала использоваться не только для доказательства теорем, но и для совместного *неявного* определения исходных понятий геометрии. Изменение аксиом приводит к новой геометрии. При этом неявный не значит нечеткий или неясный, этот тип определения может очень *четко и однозначно* определять все понятия, что и имеет место в геометрии.

теориях, вообще говоря, могут появляться и другие величины и понятия, но последние не имеют более глубоких корней в виде оснований.

¹¹ Первоначально для его объяснения ввели гипотетический эфир, который пришлось наделять противоречивыми свойствами: он должен был обладать твердостью многократно большей, чем у алмаза (поскольку электромагнитные волны поперечны, а скорость света чрезвычайно велика) и при этом быть неощущаемым во всех других явлениях.

¹² В геометрии это произошло несколько раньше в связи с появлением неевклидовых геометрий (геометрия Лобачевского стала известна в Европе в начале 1840-х годов).

Фактически тот же ход (но без должной рефлексии) был сделан и в физике, которая ориентировалась на уровень строгости, заданный в математике. В результате в физике произошли существенные изменения в структуре ее оснований, что нашло наиболее четкое выражение в рамках современной теоретической физики¹³.

При этом из теоретической механики XVIII в. было заимствовано и превращено в обобщенное описание любого физического процесса обобщенное описание движения как перехода физической системы (объекта) А из одного состояния S_A в другое: $S_A(1) \rightarrow S_A(2)$. Такое представление физического процесса (обобщенного движения) особо выделяет понятие *идеального объекта* (А) среди других физических понятий. Под *физическим идеальным объектом* (системой) здесь понимается такая идеальная сущность, которая: 1) характеризуется набором состояний, определяющихся с помощью набора измеримых величин, и при этом физический процесс описывается как переход такого объекта из одного состояния в другое; 2) этот идеальный объект может быть реализован в эмпирическом материале, т. е. «приготовлен» (или выбран из существующих).

Введение неявного типа определения базовых понятий позволило работать с более сложными, не являющимися очевидными ПИО. В этом состояла суть плохо осознанной в философской литературе *методологической революции границы XIX–XX веков*, которая привела к «теоретической» физике как наиболее адекватному представлению современного физического знания (в философской литературе этот момент (но по другим основаниям) часто фиксируется как переход от «классической» к «неклассической» физике XX в. [Степин 2000])¹⁴.

В результате *теоретическая физика* естественным образом разбилась на *разделы* (классическая механика, электродинамика...), в каждом из которых есть своя *система постулатов*, которая неявным образом определяет свою группу исходных понятий, включая *первичные идеальные объекты (ПИО) данного раздела*. *Основания раздела физики (ОРФ)*¹⁵ представляют собой совокупность утверждений-постулатов, каждое из которых содержит несколько определяемых понятий (идеальных сущностей), среди

¹³Существовавшая к этому времени теоретическая, или аналитическая механика имеет несколько другую структуру, там видное место занимает понятие «связи».

¹⁴ К специфике физики XX в. (часто называемой «неклассической») можно отнести и то, что здесь новые ОРФ и ПИО рождались из решения парадоксов, возникающих из столкновения новых и старых разделов физики (столкновение классической механики с электродинамикой порождает специальную теорию относительности, столкновение последней с теорией тяготения Ньютона ведет к общей теории относительности, столкновение волнового и корпускулярного описаний приводит к современной квантовой механике). Еще одна ее специфическая черта состоит в том, что теория относительности и квантовая механика активно используют модели классической физики, модифицируя их, а не создавая совершенно новые.

¹⁵ Этот подход применим не только к физике, поэтому можно ввести и термин «основания раздела науки» (ОРН).

которых есть ПИО, внешние воздействия на ПИО и др., а так же операции приготовления и измерения. Они выполняют роль, аналогичную той, которую у Гильберта выполняла система аксиом в геометрии: *посредством ОРФ осуществляется неявный тип определения базовых понятий раздела физики.*

Заметим, что «основания» здесь имеют тот же смысл, что в «Основаниях геометрии» Д. Гильберта¹⁶. По сути, ОРФ решает 6-ю проблему Д. Гильберта – проблему аксиоматизации физики [*Проблемы Гильберта* 1969]. Однако в силу принципиальных отличий физики от математики ВИО – *строятся* из ПИО, а не выводятся (дедуцируются) из этих постулатов, как предполагал Д. Гильберт (по аналогии с математикой). В основе физических теорий лежат модели, поэтому место дедукции здесь занимает построение моделей ВИО из ПИО¹⁷.

2. Структура оснований раздела физики

В результате указанных методологических революций *структура естественнонаучного знания* может быть представлена следующим образом.

Единицей знания оказывается раздел науки (РН), для которого существуют собственные основания (ОРН), где задаются соответствующие идеальные сущности. Эти разделы науки группируются в соответствующие науки (физика, химия, биология), отличающиеся типом соответствующего системообразующего процесса и его описания, а также прототипами ПИО. Так для физики системообразующим является описание физического процесса как перехода физической системы (объекта) А из одного состояния в другое: $S_A(1) \rightarrow S_A(2)$ (по сути это обобщенное движение-перемещение Аристотеля), а главными прототипами являются частица и сплошная среда. Для химии системообразующим является процесс превращения одной совокупности веществ в другую (химическая реакция), а прототипами являются атомы и молекулы.

В данной книге рассматривается физика, в которой мы различаем: 1) явление (Я); 2) теоретическую модель физической системы (объекта) или ВИО, лежащую в основе явления; 3) {ПИО_г}, из которых эта модель построена; 4) теорию, вытекающую из пунктов 2) и 3). Примеры физических явлений суть движение планет, электрический разряд, спектр излучения атома, сверхпроводимость. Моделью, или ВИО, будет соответствующая физическая система (объект), состоящая из ПИО. Используемые при этом ПИО –

¹⁶ В отличие от их понимания В.С. Степиным, который под основаниями науки имеет в виду «научную картину мира», а также «идеалы, нормы и философские основания науки» [Степин, 2000].

¹⁷ Отметим, что в физике и логике (и математике) под «моделью» понимают разные вещи [Вартофский, 1988, с. 32]. В физике модели не сводятся к какому-либо изоморфизму.

механическая частица (тело), заряженная частица, «квантовая частица», которые подробно рассматриваются в последующих главах. При этом *никакого обратного воздействия от ВИО к ПИО нет*: если основания раздела физики, включающие ПИО, сложились, то они далее не меняются (как и в геометрии), если натываются на новый круг явлений и объектов, то строят новый раздел физики с новыми ПИО.

Приведенное выделение *наук и разделов наук* вытекает из анализа структуры знания. Но наряду с этим (параллельно) существует деление естественной науки на *дисциплины*, которое исходит из другого основания. *Дисциплины* задаются формами организации функционирования научного сообщества, в первую очередь, факультетами, кафедрами, лабораториями, которые связаны с предметом исследования (и преподавания). Вследствие разной логики образования дисциплин и разделов они не совпадают друг с другом. Однако в литературе эти понятия часто не различают (поэтому понятие «полиразделонаучного» (исследования, объекта) подменяют понятием «полидисциплинарного»). В этом плане курс «Общей физики» представляет совокупность дисциплин (оптика, атомная физика,...), а курс «Теоретической физики» – совокупность разделов физики (электродинамика, квантовая механика,...), поставляющими ПИО¹⁸. Нас будут интересовать основания разделов физики, которые и задают разделы физики как структурные единицы физического знания.

Общая структура оснований раздела физики (ОРФ), являющаяся результатом указанных в п.1.1 методологических революций, задается общей структурой физического процесса $S_A(1) \rightarrow S_A(2)$ (схема 1.2.1).



¹⁸ Введение редко фиксируемого различия между основаниями и разделами науки, с одной стороны, и теориями, - с другой (например, квантовой механики и теории сверхпроводимости), показывает, что ряд дисциплин не имеет своих собственных оснований и ПИО, и потому они являются не науками, а теориями (ВИО) некоторых объектов, часто полидисциплинарными теориями. Примерами последних, с нашей точки зрения, являются геофизика, нейронаука, биофизика. Примером совокупности монодисциплинарных теорий является дисциплина «атомная физика». ПИО ей поставляет раздел физики «квантовая механика».

Сх. 1.2.1. Структура теоретического описания физического процесса и оснований раздела физики (при $A=ПИО$)

В этой структуре выделены, во-первых, теоретическая (описание поведения ИО) и операциональная («материализация» ИО) части. Во-вторых, в теоретической части выделены *математический* и *модельный* слои. Модельная часть содержит два главных понятия: физической системы (объекта) A (ПИО) и ее состояний ($S_A(t)$) в момент времени t . С их помощью осуществляется теоретическое описание *обобщенного движения (процесса) как перехода физической системы из одного состояния в другое*. Связь между состояниями задается с помощью математического слоя (в этом его смысл и функция), в котором *уравнение движения (УД)* – центральный элемент. Уравнение движения содержит, в том или ином виде, математические образы физической системы A и ее состояний S_A (подчеркиванием будем обозначать принадлежность к математическому слою), а также внешнего воздействия $F(t)$ ¹⁹. Т. о., время в динамике играет особую роль – оно нумерует состояния (в некоторых разделах физики, например равновесной термодинамике, эту роль играют другие измеримые величины).

Набор возможных состояний является важнейшей характеристикой физической системы. Состояние – это понятие, описывающее изменение (движение) системы и дающее *полную возможную информацию о системе в данный момент времени, а посредством уравнения движения – и в другие моменты времени*. Это определяет понятие состояния физической системы, которое тесно связано с другими элементами структуры, изображенной на схеме 1.2.1.

Кроме указанных элементов теоретической части, физическая система (ПИО) и ее исходное состояние должны иметь *материальную эмпирическую реализацию*, а измеримые величины (расстояние, скорость, масса и т. п.), которые входят в физическую модель системы и ее состояний, должны быть обеспечены в эмпирическом слое соответствующими *эталоном и операциями сравнения с эталоном*. Это обеспечивают указанные выше операции приготовления и измерения, составляющие *«операциональную»* часть, которая непосредственно связана с модельным слоем теоретической части (а через него опосредованно – с математическим слоем).

При этом речь идет об *идеальных проектах приготовления и измерения*, которые реализуются в рамках конкретных материалов и технических возможностей с

¹⁹ Из уравнения движения можно получить и набор (множество) состояний (точнее, их математических образов), отвечающих данной физической системе.

определенной точностью (речь идет о различии между, скажем, идеальным амперметром или термометром и реальными приборами, обеспечивающими определенную точность).

Поскольку ВИО составлен из ПИО_j, то структура описания соответствующего ВИО процесса (эмпирического явления) будет описываться той же схемой 1.2.1, в которой $A=ВИО$.

Отметим, что место приготовления может занимать *выбор* среди того, что находится в готовом виде в окружающем мире, например, звезды в астрофизике. Об этом случае обычно говорят как о «*наблюдении*», а не эксперименте. Противоположный случай – сверхпроводимость, которая предполагает сложную лабораторную установку, в которой это явление только и может существовать. Но и в последнем случае речь идет о приготовлении системы в некотором состоянии, которая далее ведет себя «естественно» (в технике готовится весь процесс, суть машины – в осуществлении определенного процесса, этим процесс, обеспеченный шестеренчатыми передачами отличается от падения тела).

Введение вместо расплывчатых позитивистских «наблюдаемых» четких понятий «приготавливаемой системы» в определенном состоянии (электрон «ненаблюдаем», но «приготавливаем») и «измеримой величины» (величина заряда «ненаблюдаема», но «измеряема») снимает трудности с включением в описание эксперимента приборов. Предложенная схема может быть развита для описания сколь угодно сложного эксперимента с применением сложных приборов, использующих сложные теории. Пример такого описания дан в п. 1.5, для эксперимента на ускорителе элементарных частиц.

Очень важно *различение между теоретической и операциональной частями*, фиксация границы между ними. Вторая принадлежит сфере технических действий, первая – сфере умознания о природе. Например, приготовление гладкой наклонной плоскости или измерение длины линейкой относятся к техническим действиям, а не природным явлениям, хотя они могут включать приборы, имеющие в своем составе «теоретически нагруженные» элементы (части), т.е. элементы, которые можно описывать как ВИО. Но прибор, наряду с этим, обязательно содержит техническую часть типа сравнения с эталоном, которая не является предметом естественной науки.

Схема 1.2.1 (при $A=ПИО$) является в схемой оснований раздела физики (ОРФ), описывающей систему постулатов, определяющих базовые понятия раздела физики, включая ПИО и операции по их «материализации». Изображенная на схеме 1.2.1 структура имеет место для всех разделов физики. От раздела к разделу меняется лишь содержательное наполнение указанных на схеме 1.2.1 элементов.

Следуя схеме 1.2.1, в наборе базовых понятий раздела физики, представляющих собой некоторые идеальные сущности, можно выделить:

в теоретической части: (i) *физическую систему* или *объект A* (ПИО) – то, что движется, (ii) *его состояния* S_A , с помощью которых в модельном слое описывается физический процесс («движение»), (iii) *внешнее воздействие* F^{20} ; их математические образы (соответственно (i.m), (ii.m)), (iii.m)); (iv) уравнение движения²¹; (v) правила соответствия (процедуры соотнесения) элементов модели и их математических образов; (vi) *время* (неметризованное), как необходимый элемент описания процесса (изменений), нумерующее множество состояний (или событий, понимая под последним нахождение объекта в данный момент в определенном состоянии); (vii) *пространство* (неметризованное) как вместилище объектов и (viii) система отсчета, с которой связаны метрические свойства пространства и времени;

в операционной части: (ix) операции измерения для измеримых величин, характеризующих (ix.ii) состояние объекта-системы (в классической механике – положение и скорость частицы), (ix.i) сам объект (например, масса частицы), внешнее воздействие (ix.iii) и соответствующие (x) эталоны, а также операции приготовления ПИО в определенном состоянии (S_A) и реализация в материале *системы отсчета* (с.о.) с помощью «тел отсчета».

Опираясь на схему 1.2.1, укажем ту систему постулатов, которые составляют основания раздела физики (при $A=$ ПИО), где с помощью неявного типа определения задают базовые понятия.

Общими для всех разделов физики являются *представление о движении* как смене состояний (ii) физической системы (объекта) (i) и неметризованные пространство и время, как вместилище объектов и событий. Содержательное наполнение остальных пунктов для разных разделов физики может отличаться. Поэтому соберем их в Таблицу 1.2.1, чтобы было проще ссылаться на них при изложении оснований различных разделов физики.

Часть этих понятий образует группу понятий, определяемых совместно в рамках неявного типа определения. Есть такие, которые задаются независимо явным образом, скажем через независимо заданные процедуры измерения и эталоны. К таким относятся *расстояния, интервалы времени, скорость*. Есть понятия, которые по-прежнему задаются как неопределимые, но очевидные («по Декарту»). К таким, по крайней мере вне теории

²⁰ Каковыми в классической механике являются силы, а в механике сплошных сред – граничные условия. Взаимодействие в этой системе понятий является вторичным понятием, оно определяется через взаимные воздействия элементов (частиц) друг на друга.

²¹ Из него следует спектр математических образов состояний системы (ii,m) там же вводятся и остальные математические образы.

относительности Эйнштейна (гл. 2), относятся понятия *пространства* (неметризованного) как вместилища частиц и сред, *времени* (неметризованного) как вместилища событий.

Особого обсуждения требует пункт П:11, связанный с вопросами как выделяются физические явления и как для них ищется ВИО-модель. При построении ВИО-модели используется «базовая физическая картина мира» в виде набора {ПИО_j}.

П:1.1	что является простейшим физическим объектом А (А=ПИО) (i) (классическая частица, электромагнитное поле, квантовая частица, ...) и каким набором состояний {S _A (j)} (ii) обладает последний;
П:1.2	как могут быть «приготовлены» (операции приготовления (x)) ПИО (i) в определенных состояниях (ii)
П:2	набор <i>измеримых величин</i> (или функций), характеризующих физический объект – ПИО (i); его состояния S _A (j) (ii); а также внешнее воздействие F (iii)
П:3	<i>внешнее воздействие F</i> (iii) и «естественное движение» объекта в его отсутствии (если такое возможно)
П:4	математическое представление, т. е. а) <i>математические образы</i> состояний f(S _A) (ii.m), объекта f(A) (i.m), внешнего воздействия f(F) (iii.m), измеримых величин (iv.m); б) <i>уравнение движения</i> (УД)
П:5	<i>правила соответствия</i> (процедуры соотнесения) (v) соответствующих элементов модели и их математических образов
П:6	<i>время</i> (неметризованное (п. 2.4)) (vi), или его аналог, как номер состояния (ii)
П:7	<i>Пустое</i> (без тел и полей) <i>пространство</i> (неметризованное (п. 2.4)) (vii) – как вместилище, в котором расположены физические объекты
П:8	система отсчета (viii) как задающая метризованные пространство и время, и позволяющая производить измерения положения объектов, расстояния, моменты и интервалы времени ²²
П:9	<i>операции</i> (процедуры) <i>измерения</i> (ix) и конкретные материализации эталонов (xi) измеримых величин ²³
П:10	поведение эталонов (xi) при переходе от одной движущейся системы отсчета (viii) к другой (обычно речь идет об инерциальных, т. е. движущихся

²² К этому следует добавить различие системы отсчета и «тел отсчета», как материальное приближение реализации первых.

²³ При этом надо различать идеальные операции измерения и их материальные реализации с определенной точностью.

	равномерно и прямолинейно, системах отсчета)
П:11	правила конструирования моделей явлений (xii) – вторичных идеальных объектов (ВИО) – из первичных идеальных объектов (ПИО)

Таблица 1.2.1. Система постулатов, составляющих основание раздела физики (ОРФ) (римскими цифрами нумеруются определяемые понятия).

При этом и выделение явления (того, что требует объяснения)²⁴ и построение для него ВИО-модели требуют определенных навыков, которые вырабатываются в процессе обучения в ходе решения многочисленных учебных задач, участия в исследованиях с более опытными коллегами. Полезным здесь является и знание исторических примеров. Последние дают представление и о ПИО-типе работы. Из истории науки можно понять откуда и как появляются новые ПИО. Из нее видно, что в XVII–XVIII вв. они берутся из частных задач. Некоторые из них возникают из эмпирических явлений (с этого, по-видимому, начиналась гидродинамика у Бернулли). Сюда же, наверное, следует отнести Механику и теорию тяготения Ньютона, строившиеся для вывода эмпирических законов Кеплера, опиравшихся на наблюдения за движением планет Тихо Браге.

Другие ПИО возникают в ходе решения теоретических проблем, типа теоретического описания брошенного (падающего) тела, проблемы, доставшейся Галилею по наследству от Аристотеля. В XIX в., на примере создания электродинамики, видно, что создание оснований нового раздела физики со своими ПИО связано с наведением порядка среди множества эмпирических законов. В XX в. характерной чертой является фаза формулирования теоретического противоречия, разрешение которого приводит к новому разделу физики. Так возникли СТО и ОТО, а также квантовая механика, которая как раздел физики создается в 1925–1927 гг. во многом как решение парадокса корпускулярно-волнового поведения, зафиксированного гипотезой де Бройля в 1924 г. (ей предшествует старая квантовая теория, которая решала проблемы спектра черного тела, атома водорода и фотоэффекта, тоже сформулированные в форме противоречия).

Итак, в предлагаемом представлении физического знания акцент делается на идеальные объекты и особого типа симбиоз теоретической работы с ИО и технических операций, поэтому я его называю «объектным» подходом. Единицей физического знания является «раздел физики», который имеет собственные основания и ПИО. При этом по

²⁴ Общая «физическая картина мира» помогает выделить кандидатов в необычное. Хороший пример – наблюдение Дж.С. Расселом в 1834 г. на поверхности воды в канале вблизи г. Эдинбург бегущей уединенной волны, разработка теории данного явления привела к теории солитонов.

сути для всех разделов физики предполагается наличие пространства и времени, а при создании ПИО в различных разделах физики используются различные варианты и сочетания протомоделей (архетипов) локальной частицы и сплошной среды. Это приводит к следующей «карте» разделов физики, которая в развернутом виде представлена в [Липкин 2014].

КАРТА ФИЗИКИ
 (базовых физических объектов,
 собранных в 10 тт. «Теоретической физики» Л.Д.Ландау и Е.М.Лифшица)
 М.: УРСС, 2014. 207 с. (можно приобрести у автора)

	Типы объектов	Объект	Раздел физики
Чистые модели:			
	частица	классическая частица	классическая механика
	*****	*****	*****
		жидкость	гидродинамика
		газ	газодинамика
		твердое тело	теория упругости
	Сплошная среда:	электромагнитное поле	электродинамика
		Тепло (внутрен. энергия и энтропия)	термодинамика
	*****	*****	*****
Смешанные модели:			
		корпускулярно-волновая квантовая частица	квантовая механика
		корпускулярно-волновое квантовое поле	квантовые теории поля
		молекулярная среда	Статистическая физика
	*****	*****	*****
	пространство и время	метрика пространства и времени	теории относительности

Литература

Вартофский М. Модели. Репрезентации и научное понимание. М.: Прогресс, 1988.

Галилей, Г. Избранные труды. Т. II. М.: Наука, 1964.

Григорьян А.Т., Зубов В.П. Очерки развития основных понятий механики. М.: Наука, 1962.

Липкин А.И. Основания физики. Взгляд из теоретической физики. М.: УРСС, 2014

Проблемы Гильберта (под ред. П.С. Александрова) М.: Наука, 1969.

Степин В.С. Теоретическое знание (структура, историческая эволюция). – М.:

Прогресс-Традиция, 2000.

Фок В.А. Критика взглядов Бора на квантовую механику // Успехи физических наук, 1951, XLV. 1, с. 3–14.

Cartwright, N. How the Laws of Physics Lie. Oxford, New York, 1983.