

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

ФИЗИЧЕСКАЯ РЕАЛЬНОСТЬ *)

Макс Борн

Понятие реальности в физическом мире на протяжении последнего столетия стало несколько проблематичным. Противоречие между простой и очевидной реальностью бесчисленных приборов, машин, двигателей и аппаратов всех видов, созданных промышленностью и лежащих в основе прикладной физики, и неясной и абстрактной реальностью основных физических понятий, вроде сил и полей, частиц и квантов, несомненно, запутанное. Оно имеется уже между чистым и прикладным естествознанием, между представителями которых образовалась пропасть, могущая привести к опасному отчуждению. С целью преодолеть этот разрыв «реальности», как ее представляют в теории и на практике, *физика нуждается в обобщающей философии*, которая выражается на повседневном языке. Я не философ, а физик-теоретик. Я не могу предложить никакой хорошо продуманной философии, которая учитывала бы соответствующим образом идеи различного направления; я хотел бы только изложить некоторые мысли, которые помогали мне в моих собственных объяснениях этих проблем.

Среди физиков-теоретиков и натурфилософов существует направление мысли, которое представляет радикальную абстрактную точку зрения. Эта философия изложена, например, Динглем **) в его интересной лекции перед Британской ассоциацией в Эдинбурге. Я не могу свою собственную точку зрения сделать более ясной иначе, как сопоставляя противоположности. Если я цитирую выдержки из доклада Дингля, то я это делаю вовсе не ради личной полемики. Эти цитаты должны служить только в качестве подходящего примера, чтобы развить мои собственные, отличающиеся от его, взгляды.

Мы начнем со следующего предложения: «Величины, с которыми физика имеет дело, не являются числовой оценкой объективных свойств частей внешнего материального мира; они — только результаты, которые мы получаем, когда производим известные операции».

Это определение выглядит как отрицание существования объективного (pre-existing) материального мира; оно создает впечатление, будто физики нет никакого дела до реального мира и он производит эксперименты только с той целью, чтобы предсказывать результаты того или иного эксперимента. Вообще не объяснено, почему же физик должен брать на себя труд производить эксперименты. Этот вопрос, по-видимому, рассматривается как не достойный философии как науки. Можем ли мы избежать вопроса о том, какую роль играют в этой системе вещей приборы из стали, латуни, стекла и т. п., которые тщательно сочетаются и приспособляются для экспериментов? Не являются ли они сверх того частью независимого

*) Physical Reality, см.: Max Born, Physics in my Generation, Pergamon Press, London — New York, 1956, стр. 151—163. Перевод с английского С. Г. Суворова.

**) H. Dingle, Nature 168, 630 (1951); см. также Phys. Bl. 7, 481—586 (1951), где этот автор говорит на тему «Новая установка в физике» (Der neue Standort in der Physik).

от нас (pre-existing) внешнего материального мира? Являются ли они, подобно электронам, атомам и полям, чисто абстрактными идеями, применяемыми для того, чтобы предсказывать явления, которые могут наблюдаться в последующем эксперименте, в свою очередь представляющем опять-таки только собрание призраков?

Перед нами — воззрение, типичное для крайнего субъективизма, которому можно было бы дать подходящее название «физического солипсизма». Хорошо известно, что упорно защищаемый солипсизм невозможно опровергнуть с помощью логических аргументов. Однако с тем же основанием можно сказать, что такой солипсизм не разрешает проблему, а уклоняется от нее. Логическая последовательность есть чисто отрицательный критерий; без нее не может быть принята никакая система, но никакая система не приемлема только в силу того, что она логически непротиворечива. Единственный положительный аргумент в пользу этого абстрактного вида ультрасубъективизма есть аргумент исторический. Утверждается, что вера в существование внешнего мира лишена значения и для прогресса науки является прямо-таки помехой. Все, чем физик занимается, может быть достигнуто удовлетворительным образом только в терминах «опыта», а не внешнего мира.

В действительности дело обстоит совсем иначе. Все великие открытия в экспериментальной физике обязаны интуиции людей, откровенно использовавших модели, которые для них были не продуктом их фантазии, а представителями реальных вещей. Как мог бы работать экспериментатор и как мог бы он общаться со своими сотрудниками и современниками, если бы он не использовал модели, которые состояются из частиц (электронов, фотонов, нуклонов, нейтронов), полей и волн — понятий, которые осуждались, как несущественные и бесполезные?

Однако имеется некоторое разумное основание и для этой крайней точки зрения. Мы научились тому, что при применении этих понятий должна иметь место известная осторожность. Наивный подход к проблеме реальности, который был столь успешным в классический, или ньютоновский, период, оказался неудовлетворительным. Современные теории требуют новой формулировки. Эта новая формулировка развивается медленно и, вероятно, не достигла еще окончательного выражения. Я попытаюсь указать на современные тенденции.

При этом с самого начала следует учесть, что слово «реальность» есть составная часть нашего разговорного языка и поэтому — как и большинство слов — не имеет однозначного смысла. Существуют субъективные философии, которые учат, что реален только духовный мир и что физический мир — только кажимость, тень без субстанции. Хотя эта точка зрения и представляет наибольший философский интерес, но она лежит вне нашей дискуссии, которая имеет дело только с физической реальностью. И все же остаются открытыми еще достаточно много других вопросов. «Реальности» крестьянина или ремесленника, купца или банкира, государственного человека или солдата, очевидно, имеют мало общего. Для каждого из них наиболее действительные вещи суть те, которые стоят в центре их духовной деятельности, причем слово «реальный» употребляется почти как синоним со словом «важный». Интересно знать, может ли какая-либо философия так определить понятие реальности, чтобы оно не подвергалось последующему влиянию субъективных ассоциаций этого рода. Что касается нас, то мы спрашиваем: не может ли такое определение дать естествознание?

Это приводит нас к другому пункту, который выдвигает Дингль, а именно: нельзя ли без вреда для естествознания отбросить употребление понятия и слова «реальность»? Мой ответ на этот вопрос состоит в том,

что могут отказаться от этого понятия только те люди, которые живут в изолированных воздушных замках, вдали от всякого опыта и от всех действительных дел и наблюдений, следовательно, тот тип человека, который углубился в чистую математику, метафизику или логику настолько, что совершенно отошел от мира. Нильс Бор, который внес вклад в философию современного естествознания больше, чем кто-либо иной, неоднократно и отчетливо разяснял, что *реальные эксперименты невозможно было бы описать, не применяя при этом разговорного языка и понятий наивного реализма*. Без признания этого немислимо никакое соглашение о фактах даже между самыми возвышенными умами. Существенная часть этого приема состоит в том, что делают различие между идеями, теориями и формулами, с одной стороны, и реальными приборами и устройствами, которые созданы в соответствии с этими идеями, с другой. При этом и в самом деле безусловно необходимо наивное употребление слова «реальное», простая вера в реальное существование материальных аппаратов. Я полагаю, что представляемая Динглем абстрактная школа этого не отрицает, хотя он не говорит это ясно. Однако он запрещает применение понятия реальности к атомам, электронам, полям и т. д., следовательно, к терминам, которые употребляются при объяснении наблюдений. Но где граница между этими двумя областями? Можно кусок кристалла, принадлежащего к области макроскопической реальности, размолоть в порошок до того, что его частицы станут слишком мелкими, чтобы они воспринимались невооруженным глазом. Чтобы увидеть их, нужно применить микроскоп. Становятся ли теперь частицы менее реальными? Еще более мелкие частицы, коллоиды, при соответствующем освещении в ультрамикроскопе покажутся блестящими бесструктурными точками. Между этими частицами и единичными молекулами или атомами имеется непрерывный переход. Когда оказывается недостаточным ультрамикроскоп, можно взять электронный микроскоп, с помощью которого можно видеть даже большие молекулы. Так где же оканчивается макроскопическая реальность, в которой живет экспериментатор, и где начинается мир атомов, из которого идея реальности подлежит изгнанию, как иллюзорная?

Такой границы, конечно, не существует; если мы вынуждены приписывать реальность обычным вещам повседневной жизни — включая применяемые в экспериментах приборы и материалы, — то мы не можем отрицать реальности и тех объектов, которые мы наблюдаем только с помощью приборов. Однако тот факт, что мы обозначаем их как реальные, как часть внешнего мира, еще никоим образом не обязывает нас к какому-то определенному описанию: вещь может быть реальной и при этом может еще очень отличаться от других известных нам вещей.

Я хотел бы обсудить некоторые примеры, которые Дингль приводит с целью обосновать отказ от понятия объективной реальности в физике.

Первым примером будет кинетическая теория материи. Дингль говорит о статистическом методе, в котором не заботятся о движении отдельных молекул, а ограничиваются подсчетом средних значений, необходимых для изображения «наблюдений (то-есть явлений)»; эту позицию он обозначает как «измену настоящей миссии физики, как ее рассматривала признанная философия. Они (физики) посвятили себя исследованию реальности, которое стало исследованием природы и поведения молекул. Вместо того чтобы следовать этому, они занялись показом того, как можно использовать их незнание реальности, чтобы описать чистые явления». Я не мог себе уяснить, считает ли Дингль излишней всю кинетическую теорию, или же он лишает реальности молекулы, называя их «counters» (счетными единицами) или «dummies» (фишками), ибо он не делает никакой попытки проанализировать фактический материал, который

использует кинетическая теория для доказательств существования молекул. Я позволю себе обрисовать такой анализ в немногих словах.

Кинетический вывод закона Бойля установил только возможность атомистического объяснения, но едва ли может рассматриваться как окончательное доказательство. Однако сформулированный более точно этот вывод приводит к определенному значению средней энергии и тем самым удельной теплоемкости ($\frac{3}{2} R$ для одноатомного газа, причем R — газовая константа), которое не могло бы быть получено никакими феноменологическими рассуждениями. Общая формула для средней энергии содержит число степеней молекулы — или «*dummies*», если употреблять выражение Дингля. Кинетическое объяснение отклонений от закона Бойля приводит к оценке величины молекул, которая подтверждается совершенно другой группой явлений, а именно необратимыми процессами теплопроводности, вязкости и диффузии. Многие понятия, которые вначале вводятся через теорию, вроде, например, распределения скоростей, длины свободного пробега и т. п., подтверждаются и определяются путем непосредственных измерений. Предсказанные кинетической теорией флуктуации наблюдаются многими способами, например, в явлениях броуновского движения, синего цвета неба и т. п.

Конечно, все это, как говорит Дингль, суть феномены, «видимости», причем молекулы остаются на заднем плане. Но бросается в глаза пункт, который Дингль не упоминает, а именно, что кинетическая теория приводит к определенным свойствам молекул — к весу, величине, форме (степени свободы) и взаимодействию. Небольшое число молекулярных констант определяет, на основе молекулярной гипотезы, неограниченное число феноменологических свойств. Поэтому каждое новое свойство, которое предсказано, является подтверждением молекулярной гипотезы. К этим предсказаниям относятся такие изумительные примеры, как лауэ-диаграммы рентгеновских излучений на кристаллах и вся область радиоактивных явлений. Здесь в самом деле убедительно прорвалось доказательство реальности молекул, и говорить о какой-то «*dumpty*», которая оставляет след в камере Вильсона или в фотографической эмульсии, мне кажется делом, мягко выражаясь, малоподходящим.

Этот род реальности сопоставим со следующим случаем: вы видите, как стреляет ружье и как находящийся в ста метрах от него человек падает. Откуда вы знаете, что извлеченная из раны пуля действительно попала в тело из ружья? Никто ее не видел, да и никто не мог видеть, кроме ученого, после обстоятельной подготовки, т. е. после изготовления сложного оптического аппарата, вроде того, который изобрел Мах для фотографии летящих снарядов. Тем не менее я убежден, что вы верите в то, что пуля в краткий промежуток времени между выстрелом ружья и ранением человека описывала определенную траекторию, — и вы верите также, что в этот промежуток времени она действительно была там. Или разве вы позволите себе удовлетвориться только чистой констатацией: «О, я этого не знаю; достаточно знать феномены выстрела и ранения. Все, что лежит между ними, есть игра теоретической фантазии; летящая пуля есть чистая «*dumpty*», которая была изобретена для того, чтобы связать оба явления посредством законов механики». С помощью логических аргументов я не могу опровергнуть такое положение. Я хочу только указать, что тот, кто отрицает существующую доказательную силу атомного следа, хотя он *наблюдает*, должен также отрицать и существование летящих пуль, которые *не наблюдаемы*, и также многие подобные вещи.

Корень этого странного отрицания реальности молекул и других подобных вещей лежит в толковании понятия «реальности», как того, что «известно во всех деталях». Но это не согласуется с обычным примене-

нием слов. Мы представляем себе все 500 миллионов китайцев как реальных людей, хотя, может быть, не знаем никаких отдельных индивидуумов или знаем только немногих, и при этом ничего не знаем об их местопребывании, их деятельности, движениях, реакциях. Мы представляем себе римлян времен Цезаря или китайцев времени Конфуция как реальных, хотя мы не имеем никакой возможности это представление проверить таким же родом, как этого требует Дингль для молекул. Являются ли эти римляне или китайцы нашего времени или прошедшего только «dummies», которые изобрели историки, чтобы связать явления? И какие явления? Может быть, слова, которые они нашли в газетах, книгах или на старых могильных плитах?

Но все эти соображения скорее остаются на поверхности и не затрагивают коренные трудности, которые встречает физик и которые вынуждают нас к пересмотру наших основоположных понятий. Следующий пример Дингля — теория относительности — подводит нас несколько ближе к этой проблеме. Он утверждает, что, «в согласии с философией нашего времени, реальный материальный мир — независимо от того, считают ли его состоящим из молекул или из больших тел, — был представлен так, что он обладает своими свойствами в силу врожденности, таким образом, его составные элементы имеют размер, массу, скорость и т. д.». Развив эти мысли, он продолжает: «и вот основное требование теории относительности состояло в том, чтобы все эти свойства были почти совершенно неопределенными», и как пример этого он приводит понятие длины и массы, которые согласно теории относительности зависят от скорости наблюдателя. Одни и те же длины, измеряемые различными наблюдателями, находящимися в относительном движении, могут колебаться между максимумом и нулем, одна и та же масса — между минимумом и бесконечностью. Он приходит к выводу, что, «отклоняя все попытки приписать материи какое-либо свойство вообще, мы все более узнаем о зависимости явлений». Но это ведь неправильное изложение теории относительности, которая никогда не отказывалась от попыток указать свойства материи, но только уточняла в этих целях применяемые методы, чтобы приспособиться к известным новым опытам, например к знаменитому эксперименту Майкельсона — Морли.

Действительно, этот пример очень удачен, чтобы дойти до самой сути проблемы. Эта суть лежит в совершенно простом логическом различии, которое должно быть ясно каждому, кто не предубежден в силу солипсистской метафизики, а именно, что часто измеряемая величина является не предметом, а свойством его отношения к другим предметам.

Укажем пример. Вырежьте из куска картона фигуру, скажем круг, и наблюдайте тени, которые он отбрасывает от удаленной лампы на плоскую стену. Тени от круга в общем случае окажутся эллипсами; вращая вашу картонную фигуру, вы можете получить любое значение длины оси эллиптических теней между близким к нулю и максимумом. Это точная аналогия с поведением длины в теории относительности, которая в различных состояниях движения может иметь любое значение между нулем и максимумом. Если вы хотите получить аналогию поведения массы, которая соответственно скорости может иметь любое значение между минимумом и бесконечностью, то возьмите длинную колбасу и отрезайте от нее куски под различным углом наклона, вы получите при этом эллипсы, оси которых будут колебаться между минимумом и «практически» бесконечностью. Но вернемся опять к теням от круга; очевидно, что одновременное рассмотрение теней на многих различных плоскостях достаточно для того, чтобы доказать тот факт, что первоначальная картонная фигура является кругом, и однозначно определить ее радиус.

Этот радиус есть то, что математики называют инвариантом преобразований, вызываемых параллельными проекциями. Равным образом существует инвариант для всех разрезов колбасы, а именно — сечение с наименьшей площадью. Большинство измерений в физике относится не к интересующим нас вещам, а к некоторого рода проекциям, причем это слово употребляется в самом широком смысле. Можно применять также выражение координаты или компоненты.

Проекция (тень в нашем примере) определяется относительно системы отсчета (стен, на которые может отбрасываться тень). В общем случае существует много эквивалентных систем отсчета. Во всякой физической теории дается правило, которое связывает друг с другом проекции одного и того же объекта на различные системы отсчета. Это правило называется законом преобразования; все эти преобразования имеют то свойство, что они образуют группу, т. е. результат двух последующих преобразований является преобразованием того же рода. Инварианты суть величины, которые имеют одно и то же значение для любой системы отсчета и потому независимы от преобразований.

И вот главный прогресс в структуре понятий в физике состоит в открытии того, что определенная величина, которая рассматривалась как свойство предмета, в действительности есть только свойство проекции.

Примером этого является развитие теории гравитации. Примитивное, или доньютоновское, представление о силе тяжести, выражаясь на современном математическом языке, связано с группой преобразований, для которых вертикаль — имеется в виду нормаль к плоской поверхности Земли — абсолютно фиксирована. Для этого преобразования величина и направление силы тяжести есть инвариант; это означает, что вес есть врожденное свойство тела, которое оно несет в себе. Положение совершенно изменилось, когда Ньютон открыл, что сила тяжести — только особый случай всеобщей гравитации. И вот группа преобразований расширилась таким образом, что пространство стало изотропным, не имеющим фиксированного направления; сила тяжести стала теперь не больше как компонентой силы гравитации.

Теория относительности продолжала это развитие. Преобразования классической механики — их часто называют также галилеевыми преобразованиями — исходят из того, что пространство и время не связаны друг с другом. Но опыт, нашедший отражение в теории относительности, показал, что это не соответствует фактам. Необходимо применить более общую группу — лорентцевых преобразований, — чтобы ввести тесную связь между пространственными координатами и временем. Естественно, что величины, которые в старых теориях рассматривались как инварианты, например расстояние в жестких системах, интервалы времени, отмеченные по часам, находящимся в разных местах, массы тел, ныне обнаруживаются как проекции, как компоненты инвариантных величин, которые непосредственно недоступны. Однако, как и в случае теней, определяя некоторое число этих компонент, можно найти инварианты. Так оказывается, что максимальная длина и минимальная масса суть релятивистские инварианты. Может быть, было бы предпочтительнее эти инварианты, которые суть свойства тел, называть по-старому длиной, временем, массой, а для проекций изобрести новые названия. Но естественно в таких вопросах до странности консервативно, и все согласилось переименовать инварианты в длину покоя, собственное время, массу покоя и т. д., а старые выражения сохранить за компонентами, хотя они являются не свойствами тела, а его отношениями к системе отсчета.

Я убежден, что идея инвариантов является ключом к рациональному понятию реальности, и не только в физике, но и в каждом аспекте мира.

Теория групп преобразований и их инвариантов есть фундаментальная ветвь математики. Великий математик Феликс Клейн уже в 1872 г. в своей знаменитой «Эрлангенской программе» обсуждал классификацию геометрии в соответствии с этой точкой зрения; теорию относительности можно рассматривать как расширение этой программы на четырехмерную геометрию пространства — времени. Вопрос о реальности по отношению к макроскопической материи получает с этой точки зрения ясный и простой ответ.

Труднее положение в атомной физике. Хорошо известно, что законы квантовой механики приводят к неопределенности, выражаемой соотношением неточностей Гейзенберга. Не является ли эта неопределенность, эта невозможность дать ответ на определенные вопросы о положении и скорости частицы, аргументом против реальности частиц и вообще против всего реального, объективного мира? Здесь мы должны разъяснить, что мы понимаем под частицей, например фотоном, электроном, мезоном или нуклоном, в отношении к экспериментальным показаниям; и мы снова находим, что эти слова обозначают определенные инварианты, которые могут быть однозначно построены посредством комбинации некоторого числа наблюдений.

Однако лежащая в основе теории преобразования довольно сложна, и я могу здесь дать только краткое указание в общих чертах. Сущность дела можно выяснить с помощью обыкновенного света.

Волновой характер света был доказан Юнгом и Френелем с помощью того факта, что два световых луча, образованные путем расщепления одного луча, дают при встрече интерференционные кольца. Почти сто лет спустя Эйнштейн объяснил фотоэлектрический эффект как действие световых квантов, или фотонов, которые выбиваются при попадании электронов на поверхность металла. Таким образом, свет имеет также и корпускулярный характер, — факт, который был подтвержден многочисленными экспериментами. При этом удивительно то, что между этими обоими, по-видимому, противоречивыми понятиями существует простое количественное соотношение, которое уже за пять лет до этого вывел Планк из закономерностей теплового излучения, а именно: $E = h\nu$, где E — энергия фотона, ν — частота волны, а h — константа. Трудности для понимания вытекают из того, что энергия E концентрируется в очень маленькой частице, в то время как частота ν или, лучше сказать, длина волны $\lambda = c/\nu$ нуждается для своего определения (практически) в бесконечном пути волн.

Этот парадокс может быть разрешен только при условии, если пожертвовать некоторым традиционным понятием. Как мы теперь знаем, мы должны отказаться от идеи, что частицы, рассматриваемые сами по себе, следуют детерминистическим законам, которые подобны законам классической механики. Теория может предсказать только вероятности, а они определяются волнами (они суть квадраты амплитуд). Это означает, конечно, решительную смену наших взглядов на природу. Она зовет нас на новый путь описания физического мира, но не на отказ от его реальности. Сущность нового метода может быть лучше всего пояснена простым примером.

Пусть световой луч проходит сквозь призму Николя; при этом он будет линейно поляризован. Пусть этот первичный луч, амплитуды A , проходит сквозь двоякопреломляющий кристалл, тогда получается два вторичных луча, линейно поляризованных перпендикулярно друг другу. Если δ есть угол между направлениями поляризации первичного и одного из вторичных лучей, то амплитуды последних будут $A \cos \delta$ и $A \sin \delta$. Поэтому их интенсивности будут относиться друг к другу как

$\cos^2 \delta : \sin^2 \delta$. Если теперь интенсивность первичного луча уменьшится до того, что невооруженным глазом ничего нельзя будет увидеть, то все же с помощью чувствительного фотоэлемента и подходящего усиления можно наблюдать и подсчитывать пролетающие фотоны. При этом будет найдено, что средние числа их во вторичных лучах находятся в отношении $\cos^2 \delta : \sin^2 \delta$. Это простейший пример упомянутого выше статистического толкования, согласно которому вероятности определяются квадратами волновых амплитуд. Я хотел бы теперь особенно подчеркнуть, что эти вторичные амплитуды суть проекции первичных амплитуд на два направления, определенные прибором. Предсказания, которые делает теория об интенсивности расщепленных лучей или о числе содержащихся в них фотонов, имеют смысл только в отношении ко всей экспериментальной установке, николевой призме и кристаллу.

Этот пример типичен для квантовых явлений. Возьмем, например, соответствующий эксперимент с электронами, известный как опыт Штерна — Герлаха, в котором николева призма заменяется неоднородным магнитным полем, а поляризация — ориентацией спина. И опять то, что здесь может наблюдаться, а именно число электронов заданного спина, зависит от особой экспериментальной установки; эта зависимость может описываться указанием на то, что прибор отмечает проекции фактического состояния.

Это описание справедливо для любого квантового эффекта. Наблюдение или измерение относится не к явлению природы как таковому, а только к аспекту, под которым оно рассматривается в системе отсчета, или к проекциям на систему отсчета, которая, само собою разумеется, создается всей применяемой установкой. Выраженное математическим термином слово «проекция» вполне правомерно, так как основная операция представляет собой прямое обобщение геометрического проектирования, только на этот раз в пространстве многих, а часто бесконечно многих измерений.

Если приведенные выше факты анализируются с точки зрения только частиц, получается соотношение неточностей, в обсуждение которого я не буду здесь входить, поскольку теперь это можно найти в каждом учебнике квантовой механики. Бор ввел понятие дополнительности для выражения того факта, что максимальное знание физической сущности не может быть получено из единичного наблюдения или из единичной экспериментальной установки, но что необходимы различные экспериментальные устройства, взаимно исключающие друг друга, но дополнительные. Говоря принятым здесь языком, это означало бы, что максимальное знание может быть получено только через достаточное число независимых проекций той же самой физической сущности, точно так же, как в случае круглого куска картона, когда необходимы были тени на различных плоскостях, чтобы определить его форму и инвариант (радиус). Наблюдение различных теней на двух перпендикулярных плоскостях, которое мы использовали выше для разъяснения понятия инварианта, очень хорошо также разъясняет сущность идеи дополнительности. Конечный результат дополнительных экспериментов есть группа инвариантов, характерная для обсуждаемой сущности. Главными инвариантами называют заряд, массу (или лучше: массу покоя), спин и т. д.; и в каждом случае, когда мы в состоянии определить эти величины, мы заключаем, что имеем дело с определенной частицей. Я убежден, что мы вправе рассматривать эти частицы как реальные в том смысле, который не отличается существенно от обычного смысла этого слова.

Прежде чем я мотивирую эту свою точку зрения, я хотел бы в нескольких словах коснуться того часто повторяющегося замечания, что

квантовая механика разрушила различие между объектом и субъектом, ибо она может описывать ситуацию в природе не как таковую, а только как ситуацию, созданную экспериментом человека. Это совершенно верно. Атомный физик далеко ушел от идиллического представления старомодного натуралиста, который надеялся проникнуть в тайны природы, подстерегая бабочек на лугу. Для наблюдения атомарных явлений необходимы приборы такой чувствительности, что должна быть принята во внимание их реакция при измерениях; так как эта реакция подчиняется тем же квантовым законам, которым подчиняется и наблюдаемая частица, то вместе с ней вошел и фактор ненадежности, который исключает детерминистическое предсказание. Поэтому было бы, очевидно, пустым делом обсуждать ситуацию, какая получилась бы без вмешательства наблюдателя или независимо от него. Но что касается данного вмешательства наблюдателя в данной экспериментальной ситуации, то квантовая механика дает определенные утверждения относительно того максимального знания, которое может быть получено. Хотя мы не можем все знать или даже приближаться к полному знанию, все же, улучшая наши приборы, мы можем получить известные, ограниченные, но хорошо описанные сведения, независимые от наблюдателя и его прибора, а именно инвариантные особенности некоторого числа подходящим образом спроектированных экспериментов. Процесс, посредством которого мы приобретаем эти знания, несомненно, обуславливается также и наблюдающим субъектом, но это, однако, не означает, что в результатах нет реальности. Ибо совершенно очевидно, что экспериментатор со своим прибором является частью реального мира, реальны также и мыслительные процессы при проектировании экспериментов. Граница между действием субъекта и реакцией объекта во всяком случае неточна. Но это не препятствует нам применять эти понятия разумным образом. Так же неточна граница между жидкостью и ее паром, ибо ее атомы непрерывно испаряются и конденсируются, и несмотря на это мы можем говорить о жидкости и паре.

Мы хотим теперь вернуться к вопросу о реальности и ясно представить себе взгляды некоторых современных философов об этом предмете.

В недавно вышедшей книге американский автор Г. Моргенау развил взгляд, будто реальность состоит из двух слоев: из непосредственных чувственных данных и из конструированных образов («constructs»); последние представляют собой как вещи повседневной жизни, так и научные понятия, поскольку они могут быть проверены многочисленными независимыми экспериментами. Логические позитивисты, претендующие на то, что они обладают единственной точной научной философией, считают, если я правильно их понимаю, «constructs» чисто мыслительными орудиями, с помощью которых можно обозреть и упорядочить грубые чувственные данные, единственно за которыми они и признают характер действительности. Это только несущественные вариации на ту же тему, и они кажутся мне неважными в силу того, что при этом недооцениваются два существенных пункта, касающихся реальности. Первый состоит в том, что психологически и физиологически неправильно рассматривать грубые впечатления чувств как первичные данные; второй же — в том, что не каждое понятие из области научных «constructs» имеет характер реальных вещей, а только такие понятия, которые являются инвариантами в отношении имеющих место преобразований.

Что касается первого пункта, то мы должны подумать о том, что каждое человеческое существо уже в самом раннем детстве приобретает способность различать и распознавать предметы. В силу этого мир нормального человеческого существа не есть калейдоскопический ряд чувственных впечатлений, а осмысленная, непрерывно меняющаяся арена

событий, в которой определенная вещь сохраняет свою идентичность, несмотря на ее меняющиеся аспекты. Эта способность души пренебрегать различием чувственных впечатлений и отмечать только их инвариантный характер кажется мне наиболее выразительным фактом нашей духовной структуры.

Представьте себе, что Вы идете гулять в сопровождении своей собаки. Она видит зайца и с дикой яростью преследует его; скоро собака становится только крохотным пятном в поле вашего зрения. Но вы все время видите только свою собаку, а не последовательность зрительных впечатлений все уменьшающейся величины.

Современная психология учла эту основоположную ситуацию в гештальт-психологии Келера (Köhler), Хорнбостеля (Hornbostel) и Вертхаймера (Wertheimer), если называть только некоторых, лично мне известных, немецких психологов этой школы. И вот я хотел бы слово «Gestalt» перевести не английским словом «shape» или «form», а словом «Invarianten» и говорить об «инвариантах восприятия» («Invarianten der Wahrnehmung») как элементах нашего духовного мира. Насколько мне известны физиология и анатомия нервной системы из работ Е. Д. Адриана (E. D. Adrian) и Ю. Ц. Юнга (J. Z. Young), их результаты полностью согласуются с результатами психологического наблюдения.

Каждое отдельное нервное волокно, является ли оно моторным или сенсорным, а в последнем случае независимо от того, переносит ли оно тактильные, зрительные, слуховые или термические сигналы, передает ряд регулярных импульсов, которые не имеют ни малейшего сходства с физическим раздражением. Мозг получает не что иное, как ряд таких импульсов, каждый из которых передается посредством различных волокон определенному месту коры мозга. Мозг обладает удивительной способностью почти мгновенно распознавать эти зашифрованные сигналы. Тем самым он разрешает крайне трудную алгебраическую проблему, определяя инвариантную форму в неразберихе всегда меняющихся сигналов. Эти инварианты определяют, таким образом, не расплывчатый ряд впечатлений, а опознаваемые вещи.

Если бы попытались построить философию естествознания в предположении, что наш исходный материал суть неупорядоченные чувственные ощущения, то мы не могли бы даже описать наши действия и простые приборы. Как я уже говорил, естествознание должно принять понятия повседневной жизни и выражения разговорного языка. Но, применяя усиленные устройства, телескопы, микроскопы, электромагнитные усилители и т. п., оно выходит за пределы этих понятий. Как только встречаются такие новые ситуации, в которых обычный опыт нам изменяет, мы попадаем в затруднение по поводу того, как следует объяснить воспринятые сигналы. Вы поймете, что я имею в виду, если вы когда-либо смотрели в микроскоп, в котором любезный врач показывал свои замечательные клетки или микробы, а именно: вы не видели ничего, кроме путаницы неопределенных линий и цветов, и должны были верить ему, что какое-нибудь желтое овальное изображение представляет для него интерес. Точно так же обстоит дело во всех областях физики, в которых применяют приборы. Мы должны бросать взгляд в неизвестное, и это приводит нас в замешательство; ибо теперь мы уже больше не дети; мы уже потеряли способность бессознательно расшифровывать приходящие нервные сигналы и должны привлекать технику нашего сознательного мышления, математику, со всеми ее хитростями. Исключение из этого составляют только некоторые немногие гении, вроде Фарадея, который, как дитя, способен был интуитивно видеть внутреннюю связь природы. Так мы применяем анализ, чтобы отыскать в потоке явлений нечто постоянное,

которое как раз и есть инвариант. Таким образом, инварианты суть понятия, о которых естествознание говорит так же, как на обыкновенном языке говорят о «вещах», и которым оно присваивает названия так же, как если бы это были обычные вещи.

Конечно, они не обычные вещи. Если мы называем электрон частицей, мы очень хорошо знаем, что он совсем не то же, что крупинка песка или цветочная пыльца. Например, при определенных обстоятельствах он не имеет определенной индивидуальности: если электрон выбивают из атома посредством другого электрона, то два улетающих электрона уже невозможно больше различить. Несмотря на это, электрон имеет некоторые свойства, общие с обычной «частицей», что оправдывает его наименование. Такое расширение номенклатуры и в жизни и в естествознании — дело обычное, оно систематически развивается математикой. Например, число вначале обозначает целое число, с помощью которого можно считать ряд объектов. Но это слово употребляется также и для дробных чисел, вроде $\frac{2}{3}$, корней, вроде $\sqrt{2}$, трансцендентных чисел, вроде π , и мнимых чисел, вроде $\sqrt{-1}$, хотя с помощью этих чисел нельзя считать. Мы оправдываем это тем, что эти числа имеют некоторые общие формальные свойства с целыми числами, хотя каждый вид в несколько меньшей степени, но все же в достаточной, чтобы применить к нему знакомое слово. Тот же принцип справедлив в аналитической геометрии, когда мы говорим о бесконечно удаленных прямых в плоскости, или о четырехмерной сфере и т. д. Точно так же и в физике. Мы говорим об инфракрасном или ультрафиолетовом свете, хотя не можем его видеть, или об ультразвуковых волнах, хотя не можем ультразвук слышать. Мы так сильно привыкли к тому, чтобы экстраполировать в области, лежащей по ту сторону нашей способности ощущений, что при этом мы больше не сознаем, что расширяем понятия вне первоначальной области их применения. При этом мы всегда следуем одному и тому же принципу. Мы рассматриваем однажды понятие волны. Волны на озере мы считаем за реальные, хотя они не представляют ничего материального, а лишь известную форму поверхности воды. Мы можем это обосновать, потому что можем характеризовать их спектр посредством известных инвариантных величин, вроде частоты, длины волны и т. д. Но то же самое справедливо и для световых волн. Почему же мы должны отбрасывать этот атрибут «реальное» для волн в квантовой механике, если мы представляем их только как распределение вероятностей? Что здесь приближает к реальности, так это всегда своего рода инвариантный характер структуры, независимый от аспекта, от проекций. Однако этот характер является общим и для повседневной жизни и для естествознания, и эта, хотя и отдаленная, связь между вещами повседневной жизни и естествознанием вынуждает нас употреблять одну и ту же терминологию. В таком случае это и есть предпосылка для сохранения единства чистого и прикладного естествознания.