



Христиан Гюйгенс¹⁾

(К трехсотлетию со дня рождения).

3. Цейтлин.

1. Ученый эпоха буржуазного Sturm und Drang'a.

Фигура Христиана Гюйгенса, его жизнь и деятельность чрезвычайно типичны для ученых XVII века. В ту эпоху юношески могучая буржуазия приступала к генеральному штурму крепостей феодализма. Наиболее прогрессивные элементы дворянства переходили на сторону нового класса, который политически еще был «ничем», но с полной уверенностью готовился быть «всем». В соответствии с размахом исторических задач теоретический горизонт буржуазии был чрезвычайно широк. Буржуазия выдвигала не просто узких специалистов той или иной отрасли знания, а настоящих мыслителей энциклопедического пошиба, которые хорошо выражали гуманитарную и прогрессивную сторону деятельности буржуазии периода под'ема. Энгельс как-то замечает, что для XVII и XVIII веков чрезвычайно характерна идея энциклопедии. Действительно, буржуазия не только стремилась быть всем—политически и экономически, но она хотела обнять все—в философском и научном познании. Буржуазная мысль не только не ставила еще границ себе самой, но, не довольствуясь даже нашими земными границами, переходила на другие небесные тела, утверждая, что и там должны быть представители мыслящего рода. Идея бесконечности и множественности обитаемых миров была очень популярна в эпоху Возрождения и в начале нового времени; ее развивали Н. Кузанский, Бруно, Кеплер, Фонтенель, Гюйгенс (Kosmotheoros) и др. Пропаганда этой идеи была формой антирелигиозной пропаганды, так как множественность обитаемых миров противоречила христианскому учению о воплощении Христа и спасении человеческого рода. Явно противопоставляя свои взгляды господствовавшему христианскому воззрению, Гюйгенс пишет: «было бы неразумно думать; что небесные тела, между которыми наша земля занимает столь ничтожное место, были созданы единственно для того, чтобы мы, ничтожные люди, могли пользоваться их светом и созерцать их положение и движение»²⁾.

Очень популярна была также идея международного языка, построенного на рациональных принципах (Декарт, Лейбниц). Страсть к путешествиям и неусидчивость характерны для интеллигенции того времени. Гюйгенс, родившийся в Гааге (14 апреля 1629 г.), посещал в 1645 г. Лейденский университет; в 1646 г.—университет в Breda; в 1649 г. он путешествовал по Германии и Дании; в 1655 г. посетил Францию, где в Анжерском университете получил степень доктора прав; в 1660 г. он снова во Франции, а затем в Англии в 1663 г. В 1665 г. Гюйгенс был приглашен Кольбером в Париж в Академию наук; в 1681 г. незадолго до отмены Нантского эдикта протестант Гюйгенс окончательно переселяется в свое отечество, где уми-

¹⁾ Редакция помещает статью т. Цейтлина как материал к истории естествознания эпохи Гюйгенса, Ньютона и т. д. В то же время редакция констатирует что, несмотря на большой шаг вперед, проделанный т. Цейтлиным в применении метода марксизма к истории естествознания, у него имеются в предлагаемой статье некоторые остатки изживаемых им механистических воззрений (некоторая переоценка исторического значения методов Гюйгенса).

²⁾ См. «Biographie Universelle» Michaud—статья Biot; см. также Л. Фигье, Светила науки.

рает в 1695 году 67 лет от роду. Теоретические работы Гюйгенса-юриста — по официальному образованию — обнимают четыре научных области: математику, механику, оптику и физическую астрономию¹⁾. Характерным для Гюйгенса является: 1) тесная увязка теории и практики, 2) сочетание картезианских принципов с ньютоновским методом. Развивая картезианские принципы в оптике и учении о тяжести, Гюйгенс, в противоположность многим современникам, умел воплощать их в весьма конкретные формы, пользуясь методом, который обосновал Галилей и впоследствии широко развил Ньютон. Гюйгенс был основателем учения об эволютах кривых, но развил он это учение в связи с теорией маятника (*«Horologium oscillatorium»*, Paris, 1673) и изобретением часов с маятником. Это изобретение, а также изобретение часов со спиралью были проблемами, прямо поставленными Гюйгенсу важнейшей потребностью мореплавания — определением долгот на открытом море. Другим характерным математическим достижением Гюйгенса было изобретение непрерывных дробей. В 1682 г. Гюйгенс занялся постройкой механического планетария. Как указывает Лагранж в *«Additions a l'Algebre d'Euler»* (t. II) необходимость найти приближенные отношения между частями механизма планетария привела Гюйгенса к понятию непрерывной дроби. Это понятие встречается уже у лорда Броннекера и Валлиса, но последние не замечали особых свойств непрерывных дробей. Гюйгенс нашел главные свойства подходящих дробей, простирающиеся от непрерывных.

Оптические работы Гюйгенса равным образом связаны с практикой изготовления оптических инструментов. Гюйгенс также прилежно занимался вопросами конструкции воздушных насосов, барометров, термометров и др. аппаратов. Гюйгенс построил пороховую машину — насос для поднятия воды в Версале; под поршнем насоса воспламенялся порох, энергия которого использовалась в машине. Денис Папин работал в это время вместе с Гюйгенсом в королевской библиотеке; у него и возникла мысль замкнуть порох паром²⁾.

Математические исследования Гюйгенса, кроме теории эволют, касаются квадратур кривых и теории вероятности (*«De rationibus in ludo aleae»*, 1657). В 1651 г. Гюйгенс написал работу «Рассуждение о квадратуре гиперболы, эллипсиса и круга при данном центре тяжести некоторых из их частей». Эта работа направлена против иезуита Григория де Сен-Висана (*Gregorius a Sancto Vicentio*), который полагал, что нашел квадратуру круга (*«Quadratura circuli et hyperbolae»*).

Гюйгенс придумал способ приводить к квадратурам выпрямление кривых и вычислил поверхности кривых коноидов и сфероидов.

В 1656 г. он написал рассуждение о приложении теории вероятностей к азартным играм, развивая принципы, найденные Паскалем и Ферма. Жак Бернулли поместил работу Гюйгенса в виде предисловия к своему *«Art de conjecturer»*. Гюйгенс пользовался в своих математических работах геометрическими методами древних, но, ознакомившись с дифференциальным исчислением (перепиסקа с Лейбницем), он «не пренебрегал знанием новых методов, а, изучив их, соглашался в их полезности. Он употребил дифференциальное исчисление для задачи, которую решил в 1693 г.» (*Condorcet Eloges*, t. II).

Механика обязана Гюйгенсу фундаментальными исследованиями по теории маятника и центробежной силы и по теории толчка. Механические

¹⁾ Краткое изложение содержания основных работ Гюйгенса, см. A. Heller, *Geschichte der Physik*, т. II, стр. 179.

²⁾ См. Л. Фигье, *Светила науки*, стр. 209; E. Gerland, *Geschichte d. Physik*, стр. 546 и 591; J. Poggenдорф, *Geschichte d. Physik*, стр. 547.

исследования Гюйгенса часто сравнивают с исследованиями Архимеда. Необходимо, однако, заметить, что Гюйгенс, будучи учеником Картезия, лишь гениально сочетал широту принципов картезианской физики с математической строгостью исследования Архимеда. В работе «*Dissertatio de causa gravitatis*»¹⁾ Гюйгенс развивает вихревую теорию тяжести Декарта. На ряду с этим он в той же работе, пользуясь наблюдениями астронома Richer в Кайене над длиной секундного маятника, дает на основании своего учения о центробежной силе—теорию изменения силы тяжести вследствие вращения земли и выводит величину сжатия земного шара.

Наиболее важным, в методологическом отношении, достижением Гюйгенса была его трактовка кругового движения тел. Ньютон признает в одном из писем к Галлею, что именно метод Гюйгенса дает настоящее обоснование теории всемирного тяготения. Тот факт, что именно картезианец Гюйгенс²⁾ открыл основной для физики Ньютона метод, доказывает, что между этой физикой и физикой Декарта нет того непримиримого противоречия, которое так часто подчеркивается историками науки. Контраст между физикой Декарта и физикой Ньютона возник отчасти вследствие того, что первые картезианцы слишком упрощенно поняли руководящие идеи своего учителя. Гюйгенс был одним из тех великих последователей физики Декарта, которые как следует уразумели картезианские принципы познания природы. Вот почему на ряду с существенным исследованием процессов природы Гюйгенс уделил также подобающее место относительно формальному. Чтобы изучить движение физического маятника, нет необходимости знать теорию самой силы тяжести, а лишь закон действия этой силы. Значит ли это, что теория силы тяжести, вообще говоря, не имеет значения? Гюйгенс был слишком глубоким мыслителем, чтобы утверждать, что познание сущности процесса не имеет значения для познания формы его проявления. Вот почему на ряду с относительно формальным исследованием движения маятников мы находим у Гюйгенса изучение причины гравитационных сил. Гюйгенсова теория маятника сама базируется на нескольких существенных принципах, образующих основу современной механики. В «*Horologium oscillatorium*» Гюйгенс выдвигает три гипотезы, которые аналогичны Ньютонovým *Leges Motus*.

При исследовании движения маятника Гюйгенс фактически пользуется принципом сохранения живой силы, хотя в очень специальной форме: при колебательном движении около горизонтальной оси системы тел общий центр тяжести системы не может подняться выше первоначального уровня подъема. Что этот принцип понимался Гюйгенсом в широком смысле закона сохранения энергии, видно из того, что он обосновывает им невозможность *perpetuum mobile* («*Opera varia*», изд. 1724, vol. I, p. 123).

¹⁾ Приложение к «*Traité de la lumière*», Leyde 1690. В «*Opera reliqua*», изд. G. J. s'Gravesande'a, помещено в I томе под названием: «*Dissertatio de causa gravitatis*». См. также «*Oeuvres complètes*», изд. Голландского общества наук.

²⁾ Во избежание недоразумений—здесь и в дальнейшем—подчеркнем, что, называя Гюйгенса картезианцем, мы тем самым отнюдь не утверждаем, что Гюйгенс был во всех частностях своего мировоззрения, согласен с Декартом. Но он безусловно принимал самое существенное в физике Декарта, именно, объяснение процессов природы помощью различных форм механического (в философском смысле) движения материи и фактически осуществлял философскую программу Декарта в своих научных работах. Вот почему мы не считаем существенной форму атомизма Гюйгенса, которая была гораздо ниже формы Декарта, ибо утверждала совершенную твердость и неделимость в качестве существенных свойств атомов. (См. переписку Гюйгенса и Папина, письма от 18 июня и 2 сентября 1690 г., «*Oeuvres complètes*», т. IX, стр. 423 и 484). Можно показать, на основании некоторых мест из сочинений Гюйгенса (напр., «*Traité de la lumière*»), что Гюйгенс, резко утверждая твердость и неделимость атомов и противопоставляя себя Декарту, сам не был достаточно тверд в этой своей концепции.

Принцип сохранения живой силы формулируется также Гюйгенсом в XI предложении его работы по теории удара («*De motu corporum ex percussione*»).

При выводе законов удара Гюйгенс чрезвычайно остроумно пользуется принципом относительности движения.

Для широты образа мышления Гюйгенса характерна идея установления связи между пространством и временем в форме естественной единицы длины—«часового фута» (*pes horarius*), равного одной трети длины секундного маятника в Париже.

Оптические работы Гюйгенса касаются трех тем: а) геометрии световых лучей в связи с теорией телескопа (см. «*Dioptrica*» и «*Commentarii de formandis poliendisque vitris ad telescopa*»); б) теории солнечных и лунных кругов, гало и паргелиев («*Dissertatio de coronis et parheliis*»); в) наконец, физической теории света («*Traité de la lumière*»). Работы Гюйгенса по усовершенствованию телескопа привели его к ряду важных астрономических открытий. В 1655 году Гюйгенс открыл шестого спутника Сатурна (Титана), а в 1656 г.—туманность в созвездии Ориона; в том же году Гюйгенс опубликовал работу «*De Saturni Luna observatio nova*», в которой дал анаграмму, объясняющую форму Сатурна путем предположения окружающего Сатурн планетарного кольца. Смысл анаграммы раскрыт Гюйгенсом в работе «*Systema Saturnium*» (1653). Гюйгенс первый наблюдал полярные пятна на Марсе и дал оценку вращения Марса. В «*Kosmotheoros*» Гюйгенс формулирует принципы распределения звезд и впервые устанавливает фотометрический метод оценки яркости звезд и их расстояний.

Исследование Гюйгенса о природе гало и паргелиев развивает идеи, высказанные Декартом в «Метеорах». Предположения Гюйгенса по этому вопросу не оказались удачными. Фундаментальное значение в истории физики имеет зато «Трактат о свете». Трактат этот является наиболее характерным сочинением Гюйгенса. В нем дан классический образец синтеза картезианских принципов и относительного формального метода Ньютона. Трактат начинается со следующей формулировки основного принципа картезианской физики:

«Не следует сомневаться в том, что свет есть движение какого-то вещества. Так, если мы станем разбирать возникновение света, то найдем, что здесь, на земле, возникает он преимущественно благодаря огню и пламени, которые без сомнения содержат тела, находящиеся в стремительном движении, так как они растворяют и расплавляют твердейшие тела; далее, если мы станем разбирать действие света, то увидим, что свет, собранный с помощью вогнутого зеркала, обладает способностью гореть, как огонь, т.-е. разделять тела на части, что несомненно означает движение, по крайней мере, в истинной философии, которая все естественные явления сводит к механическим причинам. И это, по моему мнению, необходимо должно делать, если мы не желаем оставить всякую надежду что-нибудь постигнуть в физике».

Эрнст Мах подверг это положение Гюйгенса критике в работе «Принцип сохранения энергии» (§ 2 «Механическая физика»).

Свой основной аргумент Мах формулирует в следующих словах:

«Разве по существу дела мы знаем больше о том, почему тело, оставая одно место, возникает в другом, чем то, каким образом холодное тело становится горячим? Допустим, что мы вполне постигли механические процессы; могли ли бы мы и должны ли бы мы тогда устранить из мира другие процессы, которых мы не понимаем? Согласно этому воззрению, было бы действительно

самым простым отрицать существование мира. Элеаты, собственно, дошли до этого, гербартианцы же были недалеко от этой цели».

Мах имеет здесь в виду «мир ощущений», которые бесспорно нельзя свести к механическому движению.

Мах утверждает, что если аксиомы механики считать аксиомами физики, то получится «отрицание всех процессов за исключением движения».

Мах пытается объяснить стремление к механическому объяснению процессов природы тем, что механические движения наиболее просты и доступны наблюдению, что, разумеется, является объяснением весьма поверхностным.

«Как бы ни было понятно,—замечает Мах,—стремление свести все физические процессы к «движению атомов», но все же нужно сказать, что этот идеал является химерой. Последний не раз служил эффектной программой популярных лекций. Для трудов же серьезных испытателей вряд ли имело оно какое-либо существенное значение».

Но как тогда понять собственные же слова Маха, которыми начинается параграф «Механическая физика»: «Нельзя отрицать того, что начиная с Демокрита и до новейшего времени существует не объяснимое стремление к механическому объяснению всех физических процессов».

Мах приводит в качестве примеров Гюйгенса и С. Карно. Получается стало быть, что Демокрит, Гюйгенс, Карно и другие крупные мыслители, стремившиеся к механическому объяснению процессов природы, не являются серьезными испытателями природы. Мах пытается смягчить этот вывод указанием на значение механических аналогий. Но что такое аналогия в научном исследовании — этого Мах не объясняет. Если теплота и электромагнетизм обнаруживают аналогию с формами механического движения, то этот факт, который никто не в состоянии отрицать, должен быть каким бы то ни было образом истолкован. Мах и другие ему подобные критики «механизма» уклоняются, однако, от такого истолкования и тем самым доказывают свое полное бессилие или догматическое нежелание объяснить то «необъяснимое стремление к механическому объяснению всех физических процессов», которого нельзя отрицать на протяжении всей истории физики, «начиная с Демокрита до новейшего времени».

Приведенный нами отрывок из трактата Гюйгенса вскрывает, однако, совершенно отчетливо всякому непредубежденному читателю истинный смысл и значение «механизма». Этот смысл и значение можно выразить следующими словами Энгельса («Диалектика природы», «Основные формы движения», стр. 231):

«Всякое движение связано с каким-нибудь перемещением — перемещением небесных тел, земных масс, молекул, атомов или частиц эфира. Чем выше форма движения, тем мельче это перемещение. Оно несколько не исчерпывает природы соответствующего движения, но оно неотделимо от него. Поэтому его приходится исследовать раньше всего остального».

Энгельс называет такое исследование — первой задачей науки.

Выражаясь философским языком, можно сказать, что «механизм» исследует процессы природы с точки зрения атрибута протяженности и внешнего движения — перемещения. Ясному пониманию этой сути «механизма» препятствует запутанный ход исторического развития «механизма» в естествознании. Исторически дело обстояло так, что ученые стремились подогнать процессы природы под определенную исторически сложившуюся механику, например, механику тяжести и упругости. В XVIII веке сложнейшие биологические процессы изображались наподобие

процессов в сложных механизмах, процессов, протекающих по законам механики тяжести и упругости. До самого конца XIX века аналогия электромагнитного движения и обычного волнового—в жидкостях и газах—истолковывалась в смысле тождества. Но так как даже в упрощенном и вульгарном понимании сути дела скрывалось зерно важной истины, то этим именно объясняется исторический успех «механизма» в естествознании. Классическим примером такого успеха является рассматриваемый трактат Гюйгенса. Историк физики Герлянд пишет¹⁾, что достаточно открыть любой современный учебник физики, чтобы там найти не только в точности рисунки Гюйгенса, но и его изложение в том виде, в каком оно было более чем 200 лет тому назад представлено Парижской Академии Наук.

Мы ныне знаем всю сложность вопроса о природе света. Гюйгенс добился, однако, определенного успеха, исходя из той правильной, по существу, мысли, что свет представляет собой форму движения некоторой субстанции, наполняющей пространство.

Полное заглавие Гюйгенса трактата о свете—«*Traité de la lumière avec un discours de la cause de la pesanteur*». Соединение теории света с теорией тяжести не является случайным. Гюйгенс стоял на точке зрения единства материального мира и стремился истолковать разнообразие процессов природы разнообразием форм движения единой материальной субстанции. Гюйгенс пишет: «Декарт пробовал также объяснить тяжесть движением некоторого вещества, вращающегося вокруг земли; выдвинуть первым такого рода мысль является большим достижением» («*c'est beaucoup d'avoir eu le premier cette pensée*»).

В наше время эпигоны великих буржуазных мыслителей, научные импотенты, но чрезвычайно ловкие катехизаторы науки, основная задача которых—вытравить все материалистическое содержание науки, сохранив необходимую еще буржуазии форму—чрезвычайно презрительно относятся к попыткам объяснить силы природы из форм движения единой материальной субстанции. Концепции Декарта, Гюйгенса, Фарадея характеризуются как младенческие, давно превзойденные, состояния научного исследования, как *научная мифология*, придерживаться которой не подобает «современному» ученому. Критерием истины является, однако, практика. Практика четырехсотлетнего развития буржуазной науки и техники неопровержимо доказывает, что крупнейшие научные и технические достижения были связаны с принципом единства процессов природы. Классическим примером является учение об электромагнетизме Фарадея-Максвелла. Фарадей и Максвелл построили учение об электрических и магнитных явлениях в весомой материи, как особых формах движения, связанных с процессами в некоторой среде—эфире. Так как, с другой стороны, наука давно уже установила, что свет является формой движения некоторой материальной среды, то отсюда естественным образом возникла идея единства электромагнитных и световых процессов.

Гюйгенс первоначально принимал, что эфир, вихревое движение которого обуславливает силу тяжести, отличен от светового эфира и проникает последний. После появления «Начал» Ньютона и измерения Пикаром поперечника земли Гюйгенс написал к своей работе о тяжести дополнение, смысл которого сводится к отождествлению эфира поля тяжести со световым эфиром.

Прибавим, что Гюйгенс рассматривал также магнетизм и сцепление, как проявление скрытого движения некоторых сред.

¹⁾ Geschichte d. Physik, стр. 516.

В «*Traité de l'Aimant*» он для объяснения магнетизма принимает магнитную жидкость, которая тоньше светоносного эфира, но более груба, нежели гравитационный эфир. Явления магнетизма обусловлены, по Гюйгенсу, протеканием магнитной жидкости через магнитные тела. Боша¹⁾ показал, что воззрения Гюйгенса легко могут быть согласованы с современными, так как, по существу, у Гюйгенса движение магнитов определяется тем, что мы ныне называем потенциальной энергией магнитов.

Точно так же из писем Гюйгенса к Лейбницу и Папину²⁾ видно, что он сцепление тел объяснял движением некоторого флюида. Гюйгенс считал, что весомая материя состоит из атомов, обладающих твердостью и упругостью. При известных условиях, благодаря движению и действию некоторой среды, атомы сцепляются друг с другом, образуя твердые и упругие тела. Ласвиц указывает в своей «Истории атомистики», что Гюйгенс считал возможным построить кинетическую атомистику на основе законов сохранения количества движения и энергии, которые он применил к обоснованию явлений удара.

Необходимо подчеркнуть здесь одно обстоятельство, которое очень часто служит источником недоразумений и ошибок. Когда говорят о жидкостях или флюидах,—тепловых, магнитных, электрических и т. д., при помощи которых старые физики пытались объяснить различного рода процессы природы, то это обычно делается для того, чтобы выявить наивный характер старинных концепций и подчеркнуть слабое развитие научного познания. При этом, упускаются из виду не только фактические услуги, которые оказали представления о флюидах науке, и, стало быть, та истина, которая заключена в таких представлениях, но, главным образом, то, что концепции флюидов у различных физиков бывали разные.

Последнее различие очень важно с методологической точки зрения.

Если проанализировать как следует концепцию флюидов у Гюйгенса, нетрудно убедиться, что центр тяжести концепции не в самих флюидах, как особых материальных образованиях, а в присущем этим флюидам движении. Гюйгенс объясняет различного рода процессы природы не столько флюидами, как таковыми, сколько присущим этим флюидам движением. Множество флюидов у Гюйгенса означает, таким образом, не множество специфических субстанций, а многообразие форм движения материи.

* * *

Будучи в Париже, Гюйгенс познакомился с знаменитой Ниной Ланкло. Пораженный ее красотой и остроумием, Гюйгенс выразил свое восхищение в неудачном четверостишии. Злой остроумец Вольтер сохранил поэтический опыт Гюйгенса и показывал его всем в качестве доказательства несовместимости поэтического гения с гением научным. Анекдот со стихами очень хорошо, однако, характеризует Гюйгенса, как представителя буржуазно-дворянской интеллигенции эпохи буржуазного «*Sturm und Drang*».

Юрист по образованию, Гюйгенс был крупным математиком, гениальным теоретиком и практиком механики и оптики, выдающимся физиком и астрономом, философом, стремившимся раскрыть тайну строения материи, автором «*Kosmotheoros*»—научной фантазии, символизировавшей непоколебимое убеждение Гюйгенса в познавательной мощи человеческого ума. Гюйгенс хотел также быть поэтом, чтобы размеренной речью выразить восхищение перед совершеннейшей формой природы. Если с этим типом дворянско-буржуазного интеллигента XVII века сравнить современный тип сухого буржуазного специалиста, радующегося ограниченности человеческого

¹⁾ Bosscha, Ch. Huygens.

²⁾ См. Gerland, *Gesch. d. Physik*, стр. 518.

ума, везде ищущего эту ограниченность, чуждого всякой научной и философской фантазии и верующего лишь в чистое описание помощью математических формул, за которыми часто скрываются плоскость и убожество мысли, тогда станет очевидным, что буржуазно-капиталистический мир склоняется к закату. Деградация и измельчание философии в современном буржуазном обществе показывает, что теоретически буржуазии уже не нужно познание природы; оно нужно ей лишь практически, чтобы поддержать свое шатающееся господство. В теории буржуазия все более и более приближается к религии, мистике и обскурантизму, которые обычно прикрываются научным формализмом и плоским эмпиризмом. Вот почему празднование трехсотлетия со дня рождения Гюйгенса приобретает для буржуазии зловещий смысл гиппократова лица. Для пролетариата же это празднование имеет радостное значение, так как пролетариат является законным наследником всего того лучшего и положительного, что сделано буржуазией за время ее длительного господства.

2. Механика Гюйгенса¹⁾.

Перейдем теперь к подробностям, в первую очередь к механике Гюйгенса, чтобы более конкретно выяснить метод физики Гюйгенса. Метод этот не может быть как следует понят без отчетливого уразумения общеполитической концепции природы Гюйгенса. В принципах познания природы Гюйгенс следовал за Декартом²⁾. Сущность механики (в философском смысле) Декарта сводится к следующему:

1. Протяженность — атрибут материи. Нельзя мыслить о материи, не мысля о протяженности. Наоборот, всякая протяженность связана с материей. Обычно говорят, что Декарт отождествлял материю с пространством. Это верно лишь в смысле картезианской теории абстракции, в связи со взглядом Декарта на сущность движения.

2. Движение — перемещение, согласно Декарта, это внешний модус или форма существования материи, в н е ш н е определяющая все качества конкретной материи. Качества по Декарту, это формы движения материи, определяющие как структуру данной материальной системы, так и ее отношение к другим системам. Декарт называл движение модусом, а не атрибутом материи по той, во-первых, причине, что движение в отличие от протяжения может быть сообщено или отнято от тел; во-вторых, однако, определение движения, как модуса, было обусловлено боязнью Декарта быть обвиненным в пантеизме. Декарт открыто признает это в одном из писем к Генриху Мору. Если бы Декарт действительно считал движение чистой относительностью, он не сформулировал бы закона сохранения движения и не писал бы Мерсенну, что вся его философия зиждется на учении Коперника.

Вот почему те, которые усматривают противоречие у Декарта между его определением движения как относительности, провозглашением верховности закона сохранения движения и защитой системы Коперника, не понимают блестящей диалектики Декарта. Декарт на самом деле рассматривал движение как синтез относительного и абсолютного. Если он подчеркнул относительность движения, то по той причине, что в его эпоху царило одностороннее и антропоморфно-узкое качественное понимание движения, между

¹⁾ Помимо указанных выше общего характера сочинений, характеризующих ученую деятельность Гюйгенса, см. E. Jouguet, *Lectures de Mécanique*, 2 тома, изд. 1924 г.; P. Duham, *Les origines de la statique*, 2 тома, изд. 1906 г.; Э. Мах, *Механика*, изд. 1909 г.; P. Duham, *L'évolution de la Mécanique*, изд. 1903 г.; A. Voss, *Die Prinzipien der rationellen Mechanik*, «Enc. d. Mat. Wiss.», B. IV; E. Düring, *Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik*; Розенбергер, *История физики*.

²⁾ См. примечание на стр. 199.

тем как принцип относительности движения, как это конкретно показал вслед за Декартом Гюйгенс, а в наше время Эйнштейн, имеет большое методологическое значение при решении физических проблем.

3. Декарт был атомистом, но его атомы были кинетическими образованиями в чистой протяженности или первой материи (*materia prima*) Протяженность или первая материя существует лишь в абстракции, конкретным существованием обладает вторая материя (*materia secunda*), представляющая собою синтез протяженности и движения. Вот почему все конкретные формы материи и все физические процессы необходимо изучать с точки зрения образующего их синтеза протяженности и движения.

Механика Декарта—это философская программа естествознания постольку, поскольку она ставит перед собою задачу изучения внешнего движения материи.

Гюйгенс применил картезианские принципы к решению ряда важных механических и оптических задач. Принцип относительности движения он использовал в теории удара («*De motu corporum ex percussione*») и в теории центробежной силы («*De vi centrifuga*»¹⁾.

Принцип относительности движения и Гюйгенсова теория удара. Jouguet приводит следующие отрывки из писем Гюйгенса²⁾, касающиеся понятия движения: «Я покажу, что движение тела может быть в одно и то же время действительно равномерным и действительно ускоренным в зависимости от того, относят ли движение к другим различного рода телам» (Письмо № 1688, год 1668?). «С моей точки зрения покой и движение могут быть, рассматриваемы лишь относительно, и то же самое тело, о котором говорят, что оно в покое относительно одних тел, может рассматриваться, как движущееся относительно других; в одном нет более реальности движения, нежели в другом: «*il n'y a pas plus de réalité de mouvement dans l'un que dans l'autre*». (Письмо № 1754, 10 авг. 1669 г.). «И если он не соглашается со мною, что движение и покой могут быть рассматриваемы лишь относительно, я прошу его сказать мне и определить, что значит трактовать их *absolue* и без отношения» (Письмо № 1770, 30 октября 1669 г.).

Было бы, однако, ошибкой думать, что в приведенных словах содержится вообще отрицание абсолютности движения. Если вспомнить современные споры о принципе относительности движения, то не покажется удивительным, что три столетия тому назад Гюйгенс, следуя Декарту, хотел подчеркнуть значение этого принципа в противовес тем, которые этого значения не понимали. Гюйгенс не отрицает абсолютности движения, но утверждает лишь, что эта абсолютность не может быть рационально понята без относительности. Это обстоятельство вынужден признать релятивист Jouguet, который пишет. (стр. 150, т. I): «В приложениях Гюйгенс не сохранил в их целостности эти общие идеи; он не исключил полностью из своей Механики понятие абсолютного движения. Формулировка, которую он дает своей первой гипотезе, принципу, известному ныне под названием принципа инерции, предполагает это понятие. И в своей третьей гипотезе, в основу которой он первоначально столь отчетливо кладет понятие относительности движения, он затем ограничивает свое утверждение предположением равномерного движения».

Jouguet высказывает ту мысль, что противоречия Гюйгенса обусловлены, тем, что он был современником Галилея и великих битв, разгравшихся вокруг вопроса о движении и неподвижности земли. Необходимо, однако, заметить, что Декарту в особенности, а также Гюйгенсу, если бы они действительно считали движение чистой относительностью, было бы гораздо

¹⁾ См. «*Ostwald's Klassiker*», № 138, редакция Hausdorff'a.

²⁾ См. «*Oeuvres complètes*», изд. Голландского общества наук.

удобнее противопоставить себя Копернику и Галилею, нежели примыкать к чрезвычайно опасной в то время точке зрения и входить в столкновение с могущественными силами церковной реакции. Общеизвестно, например, что Бэкон отрицал систему Коперника, Декарт же, услышав об осуждении Галилея, припрятал свое сочинение «Du Monde» из страха перед инквизицией. Последнее сочинение объясняет, именно почему Декарт считал движение абсолютной реальностью, а не только относительностью: «Du Monde» дает эволюционную картину происхождения мира. Статически анализируемое движение может еще так или иначе трактоваться как чисто-относительное, но историческое рассмотрение движения неизбежно приводит к понятию абсолютности движения. Простой пример выясняет это обстоятельство. Пусть на плоскости имеется два тела А и В с массами 1 кг и 10⁶ кг. Ставится задача сообщить телу В скорость $v = 1$ м/с относительно тела А. Существует бесконечное число путей решения этой задачи, при чем пути эти можно подразделить на три основных: или телу В непосредственно сообщается искомая скорость, или же она сообщается телу А, тогда тело В относительно тела А имеет искомую скорость, или, наконец, телам А и В сообщаются скорости, дающие в итоге искомую относительную скорость, что можно выполнить бесчисленным количеством способов. Все эти способы существенно различны между собою и указывают на абсолютный характер движения. Например, для непосредственного сообщения телу В скорости v необходимо или действовать малой силой в течение длительного времени, или же сконструировать мощный двигатель для получения желаемого эффекта в короткое время; для сообщения скорости телу А достаточно короткое время и незначительная сила человеческой руки; наконец, величина силы в третьем случае зависит от характера сообщаемых телам А и В движений. Если полученное движение рассматривать статически, то можно еще, пожалуй, защищать чистую относительность движения, но исторический анализ происхождения данного относительного движения немедленно обнаруживает бесконечные абсолютные различия времен и сил, различия, указывающие на абсолютную природу движения. Только крайние абстракты, потерявшие всякое сознание реальности, могут не замечать абсолютного различия между длительными и короткими временами, между необходимостью сконструировать двигатель и возможностью применить силу человеческой руки в тех или иных случаях получения одного и того же относительного движения. Если иметь в виду природу, то абсолютный характер движения выявляется в различии между дурной бесконечностью возможностей и истинной бесконечностью реального времени и движений природы.

Реальность времени и реальные различия путей исторически определяют абсолютность внешне как будто равнодушного относительного движения. Сознание абсолютности движения имеет в первую очередь своим источником практическую деятельность людей. Если бы сторонники абсолютного релятивизма попытались на практике провести поддерживаемую ими теорию, то весьма чувствительные интересы кармана немедленно же заставили бы их отказаться от подобного рода затей.

Необходимо, однако, признать, что определение абсолютных моментов движения представляет неизмеримо большие трудности, нежели определение относительных. Ньютон в знаменитом опыте с вращающимся ведром с водой дал пример проявления абсолютности движения, пример, методологическое значение которого в свое время пытался оспорить Мах, а ныне на более серьезных основаниях пытаются оспорить релятивисты.

Не останавливаясь на этом вопросе, укажем лишь, что Ньютон вполне прав, утверждая, что научное определение абсолютного движения трудно, но не невозможно.

Трудность эта связана с трудностью общефилософской проблемы абсолютного и относительного в познании. Можно полагать, что теория относительности, широко разработавшая понятие относительности движения, будет иметь своим синтетическим завершением теорию абсолютного движения, которая основательно, наконец, выяснит поднятую три столетия тому назад и еще смутную до сих пор проблему полного определения движения. На основе теории диалектики необходимо утверждать, что это определение будет носить характер синтеза абсолютного и относительного.

* * *

Теория удара Гюйгенса основывается на следующих сформулированных им трех гипотезах:

«Hypotheses. — I. Движущееся тело, если оно не встречает никаких препятствий, стремится бесконечно двигаться с той же скоростью по прямой линии. II. Какова бы ни была причина, вследствие которой два сталкивающихся тела отскакивают друг от друга, мы сделаем следующую гипотезу: если оба тела равны, если их скорости равны, полученные скорости имеют обратное направление; если имеет место центральный удар, каждое тело отскакивает со скоростью, которую оно имело до столкновения. Говорят, что два тела центрально сталкиваются, если движение происходит по прямой соединяющей центры тяжести и соприкосновение происходит на этой прямой. III. Движения тел, равные или неравные скорости — эти выражения должны пониматься в отношении других тел, которые считаются неподвижными, хотя возможно, что как те, так и другие тела увлекаются общим движением. При столкновении двух тел, если даже они подвержены общему равномерному движению, они будут отталкиваться друг от друга, для наблюдателя, увлекаемого ющим движением, точно таким же образом, как будто это добавочное движение (*mouvement parasite*) не существовало.

Так, пусть экспериментатор, находящийся на равномерно-движущемся судне, производит столкновение двух шаров, сообщая им равные и противоположно-направленные скорости относительно его самого и судна. Мы говорим, что оба шара отскочат с равными скоростями относительно судна в точности так же, как будто удар производился на неподвижном судне или на твердой земле».

Из приведенных гипотез исключительно трудной для понимания является первая — принцип инерции. С одной стороны, мы чрезвычайно отчетливо представляем себе прямую линию в пространстве, вдоль которой по инерции движется тело, с другой стороны, однако, совершенно непонятно, о какой прямой идет речь, ибо прямолинейное движение по отношению к одной системе координат не является таковым по отношению к другой — тело, падающее в поле земной тяжести по вертикали, падает по параболе в системе координат равномерно и прямолинейно движущегося поезда. Указанная трудность, являющаяся классическим аргументом абсолютных релятивистов, проистекает от укоренившейся привычки отделять пространство от материи в качестве самостоятельной сущности. В действительности геометрическое пространство является лишь формой существования материи, формой, отделить которую от содержания можно лишь в абстракции. Если эту абстракцию превращать в самостоятельную субстанцию — нечто в роде бесконечного пустого сосуда, в котором находятся и движутся материальные системы, то на деле такой *modus operandi* приводит к сотворению для каждой материальной системы особо ей присущего пространства. Неудивительно поэтому, что форма движения тел меняется при переходе из одного абстрактного пространства в другое. Обычно, однако, когда утверждают, например, что падающее на землю по вертикали тело падает по параболе относительно равномерно-прямолинейно движущегося поезда, не замечают, что квалификация форм движения относится к абстрактному геометри-

ческому пространству, созданному вокруг каждой из систем отсчета. В действительности же всякое движение тел происходит по вполне определенным физическим траекториям и лишь геометризация этих реальных траекторий в абстракции приводит к их релятивизации, к зависимости их формы от выбранной системы координат. Чтобы стать на единственно правильную диалектико-материалистическую точку зрения, необходимо раз-на-всегда твердо помнить, что геометрические формы—это абстракция, а физические тела—«вещи в себе», существующие независимо от каких бы то ни было точек зрения бесчисленного количества возможных систем координат.

Практически прямолинейный материальный стержень или прямо-расположенный ряд световых частиц действительно являются таковыми «ap und für sich», хотя они могут представляться в бесконечном многообразии возможных систем координат. Движение поршня в прямолинейном материальном цилиндре является действительно прямолинейным постольку, поскольку мы пренебрегаем физическим влиянием абсолютного движения земли и других физических факторов, практическое значение которых ничтожно. Сказанное необходимо понять как следует, т.-е. диалектически. Утверждая, что прямолинейный физический стержень об'ективно является таковым, мы имеем в виду выявить то об'ективное различие, которое существует между таким стержнем и, напр., стержнем в форме круга. Рассматривая прямолинейный стержень с точки зрения составляющих его атомов, мы обнаруживаем, что эти атомы расположены не прямолинейно, но, вместе с тем, мы утверждаем, они все же расположены прямолинейно, именно, в среднем, интегрально. Те, которые подчеркивают субъективность нашего восприятия прямолинейности, не понимают диалектики субъективного, то именно, что все субъективное имеет своим основанием нечто об'ективное. Все искусство философии и науки в том, чтобы как следует определить это основание. Неправильные или искаженные определения ведут к ошибочному или идеалистически искаженному познанию, напр., эмпириокритицизму.

Приведенные рассуждения отнюдь не имеют целью отрицать значение изучения движений с точки зрения абстрактных геометрических пространств. Такое изучение имеет большое значение, ибо оно по существу является изучением относительного движения различных материальных систем. Необходимо, однако, ясно отдавать себе отчет в истинном смысле значения употребляемых понятий. Всякого рода абстракции способствуют научному познанию постольку, поскольку они понимаются диалектически, иначе они ведут к тяжелым заблуждениям и путанице.

Одна из существенных истин диалектики учит, что материальная система существует не только в своем отношении к другим системам, но также в себе и для себя, о чем не следует забывать, если добиваются ясности в понимании научных и философских проблем.

К сожалению, недостаток сознательного диалектического мышления у подавляющего большинства ученых и философов истекших столетий обусловил неясность и недостаточность формулировок важнейших научных принципов, в частности принципа инерции, хотя практически эти принципы в большинстве случаев применялись правильно. Недоразумения с принципом инерции, затемнение его смысла проистекают от абстрактно-геометрической формы, в которую он облачается. Наиболее правильную формулировку принципу инерции дал Декарт.

В VIII главе трактата «Du Monde» Декарт следующим образом выражает принципы инерции:

«Каждая часть материи в отдельности всегда сохраняет свое состояние, пока встреча с другими частями не заставляет ее изменить это состояние; в

частности, раз придя в движение, она будет продолжать двигаться с той же силой, до тех пор, пока другие части не остановят ее или не замедлят ее движения.

«Хотя каждое тело чаще всего движется по кривой и вообще говоря не может быть движения, которое не было бы в известной степени циклическим, как это было сказано выше, все же каждая часть тела в отдельности всегда стремится продолжать свое движение по прямой линии». Поясняя это правило, Декарт подчеркивает: «лишь различное расположение частей материи делает движение неправильным и искривленным» («Du Monde», стр. 262, изд. Кузена); «множество частей материи принуждено часто сворачивать с прямого пути, потому что на этих путях встречаются другие части материи» («Principes», стр. 154, изд. Кузена).

Отличие Декартовской формулировки принципа инерции от обычных в том, что в этой формулировке отчетливо выявляется физический смысл принципа как отношения к реально-физическому, а не абстрактно-геометрическому пространству. Впоследствии Г. Герц, следуя Декарту, дал так называемый обобщенный принцип инерции, характеризующий поведение частей тел в физической среде.

С точки зрения картезианской физики прямолинейно-равномерное движение тел по инерции не является каким-то независимым от чего-либо механическим постулатом; оно представляет собою факт физического опыта в обычных условиях так наз. «пустоты» для обычных тел. Если же мы, напр., рассматриваем условия так наз. бесконечно-малого вихревого движения в идеальной несжимаемой жидкости, то там движение происходит согласно обобщенному принципу инерции Герца. Вот почему Гюйгенс везде квалифицирует закон инерции, как гипотезу. Для Гюйгенса обычный закон инерции не был априори очевидным, каковым он является для сторонников абсолютной пустоты. То, что тело при отсутствии тяжести и сопротивления воздуха будет двигаться прямолинейно-равномерно в эфире — это лишь гипотеза, нуждающаяся в проверке опытом. На самом деле Гюйгенс, вслед за Декартом считал, что инерционное движение зависит от физических условий среды и что даже обычное движение по инерции является с т р е м л е н и е м (conatus) двигаться прямолинейно, так как вечное прямолинейное движение в эфире невозможно. Жестокую критику обычного в школе Ньютона абстрактно геометрического подхода к инерционному движению (в случае кругового движения) дали Гегель и Энгельс.

Интересно отметить, что в результате длительной дискуссии вокруг смысла принципа инерции ученые постепенно приходят к правильному пониманию смысла принципа. Так, Э. Вихерт, подводя в своей статье: «Механика в рамках общей физики»¹⁾, итог дискуссии указывает, что в принципе инерции находят свое выражение две особенности физического мира: а) «отдельные материальные тела обнаруживают в своем движении известную с а м о с т о я т е л ь н о с т ь» и б) «нечто общее объединяет все тела во времени и пространстве» («in Zeit und Raum etwas Gemeinsames alle materiellen Körper verbindet»). Но ведь то, что говорит здесь Вихерт, не что иное, как выражение давно сформулированного Гегелем общего положения диалектической логики: всякая вещь является одновременно бытием в себе и для себя и вне себя бытием.

Что Гюйгенс понимал принцип инерции, как принцип, выражающий отношение к физическому пространству, видно из тех приложений, которые он дал этому принципу.

В третьей гипотезе теории удара Гюйгенс ограничивает приложение принципа относительности движения случаем равномерно-прямолинейного

¹⁾ См. том «Physik», серия «Kultur der Gegenwart», стр. 41.

движения системы координат. Если в инерции выражается абсолютность движения тела, то в ускорении выражается абсолютность взаимодействия тела с другими телами. Поэтому, для применения принципа относительности к ускоренным движениям, необходимо точно знать характер этого взаимодействия. Постольку, поскольку Гюйгенс не ставил перед собою в общей форме такой задачи в виду ее большой трудности, он ограничил себя случаем равномерно-прямолинейного движения. Три столетия спустя Эйнштейн предпринял попытку применить принцип относительности к ускоренным движениям. Эта попытка имеет большое методологическое значение, несмотря на свой односторонний и слишком формальный характер.

В виду большого интереса, который ныне проявляют к принципу относительности, мы полностью приведем Гюйгеново доказательство первого закона удара тел при помощи этого принципа:

«Предложение I. Если покоящееся тело соударяется с другим, равным ему, то после удара второе тело будет в покое, а первое приобретет скорость, которую имело второе до удара.

Вообразим судно, увлекаемое вдоль берега течением реки. Судно движется так близко от берега, что пассажир, находящийся на судне, может схватить руки помощника, стоящего на берегу. Пассажир держит в руках А и В два равных тела Е и F, подвешенных на нитях, и расстояние между которыми делится на равные части точкой G. Перемещая одинаковым образом руки навстречу друг другу относительно себя и относительно судна, пассажир может произвести удар тел Е и F с одинаковыми скоростями, тела необходимо отскочат с равными скоростями (гипотеза II) относительно пассажира и судна. Но в это время пусть судно движется со скоростью GE, равную той, с которой правая рука движется к левой. Тогда рука А пассажира будет в покое относительно берега и стоящего на нем помощника, но рука В, относительно этого помощника перемещается со скоростью EF, в два раза большей GE или FG.

Предположим, что помощник, стоящий на берегу, хватая своей рукой С руку пассажира А вместе с концом нити, которая поддерживает шар Е рукой же D руку пассажира В и нить, на которой висит шар F. Мы видим, что, в то время как пассажир соударяет шары Е и F с равными скоростями относительно себя и судна, в то же время его помощник, стоящий на берегу, соударяет неподвижный шар Е с шаром F, движущимся со скоростью FE относительно его и берега. Несомненно, что для пассажира, перемещающего, как указано, шары, нет никакого препятствия к тому, чтобы его помощник, стоящий на берегу, схватил его руки и концы нитей, лишь бы этот последний сопровождал как следует движение шаров и не чинил ему препятствий. Точно так же, для помощника на берегу, соударяющего шар F с неподвижным Е, нет препятствий к тому, чтобы пассажир соединил свои руки с его руками, если только руки А и С в покое относительно берега и помощника, в то время как руки D и В двигаются с той же скоростью FE. Как сказано, шары Е и F отскакивают после удара с равными скоростями относительно пассажира и судна: шар Е со скоростью GE и шар F со скоростью GF. В то же время судно перемещается направо со скоростью GE или FG. Следовательно, относительно берега и помощника, шар F остается в покое после удара, шар Е движется налево со скоростью в два раза большей, нежели GE, именно со скоростью FE, с которой шар F ударил Е. Мы доказываем стало быть, что для наблюдателя, стоящего на земле, движущееся тело, соударяющееся с другим равным ему, теряет после удара всю скорость, ударяемое же тело, напротив, приобретает эту скорость».

Доказательство Гюйгенса поражает своей конкретностью — такого рода доказательства мы не найдем ни в одном из современных изложений механики. Не следует думать, что все конкретные аксессуары мысленного опыта Гюйгенса приведены лишь для наглядности ¹⁾. Гюйгенс хочет ими доказать, что сцепление физических факторов движения вызывает принцип относительности. Поэтому совершенно неправильным является утверждение Jouguet (см. стр. 151, т. I), будто бы принцип инерции собственно говоря никакой роли не играет в теории Гюйгенса. Сам Jouguet опровергает это утверждение в своем определении условий возможности построения теории удара в любой системе пространственно-временных координат. Для доказательств основного предложения (VIII) теории удара о взаимодействии тел, сталкивающихся со скоростями, обратно-пропорциональными массам, Гюйгенс пользуется теоремой живых сил в приведенной нами выше (см. § I) форме. Jouguet доказывает, что теорема живых сил сохраняет силу в любой системе координат при условиях: а) сохранения количества движения при ударе, что эквивалентно закону равенства действия и противодействия, б) отсутствия мгновенных изменений относительного движения систем координат.

Сверх того Jouguet рассматривает удар тел, как происходящий в истину мгновенно.

Формулированные Jouguet условия являются, однако, не чем иным, как выражением принципа инерции. Закон сохранения энергии, закон сохранения количества движения или закон равенства действия и противодействия и процессы мгновенных изменений движений систем резко выявляют абсолютную природу движения и физического взаимодействия ²⁾. Если энергия и движение не абсолютны, то не имеет никакого смысла говорить об их сохранении. Принцип относительности в материалистическом понимании как раз подтверждает абсолютность движения материи, ибо, если в любой системе координат имеет силу закон сохранения энергии и количества движения, то это именно и означает абсолютность движения материи, его независимость от точки зрения наблюдателя. Идеалисты-релятивисты при помощи различного рода логических тонкостей и фокусов, стараются затемнить истинный смысл принципа относительности и заменить абсолютность движения материи абсолютностью абстрактных отношений, при чем реальные субъекты этих отношений, т.-е. элементы движущейся материи, выкидываются вон.

Гюйгенсова теория центробежной силы. Наиболее важным методологическим достижением Гюйгенса является его теория кругового движения тел. В современных курсах механики теория эта излагается абстрактно-геометрически и формально. Мы считаем, поэтому, необходимым остановиться на ней подробнее. Напомним прежде всего еще раз, что Гюйгенс, вслед за Декартом, рассматривал т. н. силы, как результаты более или менее сложных движений материальных сред. Гюйгенс выступил поэтому против тех, которые защищали гравитационное дальное действие, и в работе «De causa gravitatis» дал теорию силы тяжести, как проявления вихревого движения эфира. Гюйгенс сумел, однако, сделать важнейший методологический шаг, именно отделить вопрос об окончательном определении сущности тех или иных сил от формы их проявления, т.-е. закона их действия. Для изучения движения маятников Гюйгенс выдвигает, например, три следующих гипотезы:

¹⁾ В этом смысле высказывается Dühring, а вслед за ним Hausdorff. См. «Ostwald's Klassiker», № 138, стр. 64.

²⁾ О значении законов сохранения энергии и количества движения для поднятия абсолютного движения см. И. Орлов, «Классическая физика и релятивизм». Сб. «Теория относительности и материализма». ГИЗ. 1925 г.

«I. Если бы не было ни тяжести, ни сопротивления воздуха, тело, однажды приведенное в движение, продолжало бы двигаться с равномерной скоростью по прямой линии.

II. Действие тяжести, каково бы ни было его происхождение, придает телам сложное движение, состоящее из равномерного движения, которым они обладали в том или другом направлении, и движения вниз, обусловленного тяжестью.

III. Каждое из этих движений можно рассматривать в отдельности; они не мешают друг другу».

Здесь, как в теории удара, основные положения квалифицируются как гипотезы, — и рассматривается не движение элементов материи вообще, а движение обычных тяжелых тел в т. н. «пустоте», подчиняющееся определенному основному закону (Галилея). Точно также Гюйгенс начинает трактат «*De vi centrifuga*» со следующего определения силы тяжести: «Сила тяжести есть стремление (*conatus*), к нисхождению». Далее он говорит, имея в виду рамки исследования: «Нет необходимости знать причину происхождения *conatus'a*; достаточно, что оно существует. И *conatus* существует всякий раз той же интенсивности, когда в данных условиях, не уничтоженное, оно порождает то же движение». Гюйгенс прибавляет, что движение падения необходимо рассматривать в течение малого промежутка времени, так как тело, первоначально падающее вертикально, может вследствие различных условий падать криволинейно. Те, которые анализируют высказывания Гюйгенса вне связи с его общей концепцией природы, зачисляя Гюйгенса, на основании вышеприведенных формулировок, в предшественники «статического течения» в механике (см., например, Jouguet, стр. 178, т. I). Гюйгенс, мол, дает статическое определение силы. На самом деле, концепция силы у Гюйгенса насквозь кинетична. Гюйгенс лишь методологически отделяет сложный вопрос — о происхождении данной силы — от более простого вопроса — о форме ее проявления. Груз висит на нити, обуславливая натяжение последней. Упругое напряжение нити и сила тяжести вызываются сложнейшими движениями в эфире. В рамках известного исследования нет необходимости знать характер этих движений, а достаточно определить закон напряжения нити под влиянием того или иного груза. Гюйгенс измеряет напряжение нити величиной действующей силы тяжести, а последнюю движением падения, согласно закону Галилея, т.-е. произведением массы тела на его ускорение в поле тяжести.

Приведенные замечания позволяют как следует уразуметь метод трактовки Гюйгенсом кругового движения. Этим методом в расширенном масштабе, но в сильной степени формально, пользуется Эйнштейн в своей общей теории относительности. Гюйгенс рассматривает большое вращающееся горизонтальное колесо, на окружности которого находится экспериментатор, держащий в руке привязанный на нити свинцовый шар. Прилагая к рассматриваемому движению принципы инерции и относительности¹⁾, Гюйгенс ставит следующий вопрос: какова будет форма инерционного движения (в эфире — «пустоте») сброшенного вращением груза по отношению к вращающемуся экспериментатору. При помощи простого геометрического чертежа и весьма простых рассуждений Гюйгенс показывает, что эта форма движения подчиняется тому же закону, что и падение тела в поле тяжести, т.-е. представляет собою равномерно-ускоренное движение в пределах небольшого промежутка времени, так как кривая относительного движения — это эвольвента круга, касающаяся радиуса, идущего к экспериментатору.

Conatus, возникающее при вращении, или центробежная сила будет, следовательно, измеряться произведением массы на ускорение, а так как

¹⁾ В анализе движения сила тяжести не принимается во внимание.

ускорение это пропорционально квадрату скорости вращения и обратно пропорционально радиусу, то центробежная сила выражается формулой: $F = \frac{mv^2}{R}$.

Мы видим таким образом, что центробежное движение является тем же движением инерции, но только относительно вращающихся частей материальной системы.

Гюйгенсова теория центробежной силы представляет собой точный аналог его теории силы тяжести. Сила тяжести и центробежная сила одинаково порождаются движением материи, но объяснение механизма тяжести гораздо более сложно, нежели объяснение механизма центробежной силы.

Ньютон, как он это сам признает в одном из писем к Галилею, развил метод Гюйгенса в приложении к проблеме всемирного тяготения. Гюйгенс дал определение центробежной силы при вращении, Ньютон расширил вопрос и поставил задачу определения сил при движении по коническим сечениям. Гений Ньютона сказался в том, что он поставил эту задачу для «материальных точек», т.е. атомистических элементов материи, к понятию которых он пришел через закон падения тел Галилея. Полученный Ньютоном дифференциальный закон всемирного тяготения сделался основанием небесной механики. В наше время метод Гюйгенса получил свое развитие в теории относительности.

Для Гюйгенса, как ученого эпохи буржуазного Sturm und Drang'a, характерно то, что он свой метод обосновывает общей концепцией процессов природы, как реальных форм движения материи. Эйнштейн же, например, пользуясь по существу тем же методом относительности, обосновывает его лишь формально при помощи некоторого числа положений, которые рассматриваются как «аксиомы опыта», так как они дают возможность сравнительно просто и легко систематизировать экспериментальные данные науки. Образно выражаясь, можно сказать, что Гюйгенса интересует не только то, что происходит на сцене природы, но также и то, что происходит за кулисами, внимание же Эйнштейна всецело поглощено происходящим на сцене.

Представители современной буржуазной науки, как и ее государственные и общественные деятели, не хотят заглядывать слишком далеко. Разумеется было бы антидиалектическим на этом основании целиком отрицать значение теории относительности; теория эта имеет свои отрицательные и положительные стороны, которые необходимо уметь разделять и оценивать.

Теория центра колебания. Третьим важным достижением Гюйгенса в области механики, которое мы рассмотрим, является его теория центра колебания физического маятника. Задачу о нахождении центра колебания поставил друг Декарта — Мерсенн. Сам Декарт первый дал решение этой задачи, пользуясь понятием количества движения; затем различными методами ее решали Роберваль, Гюйгенс, Лопиталь, Жак Бернулли и др. Из всех этих методов наиболее замечательным и характерным для автора является метод Гюйгенса. Лагранж в «Аналитической механике» замечает, что трудно понять, каким образом Гюйгенс пришел к идее своего метода; Лагранж полагает, что эта идея была внушена Гюйгенсу теоремой Галилея, согласно которой тяжелые тела, падающие с некоторых высот вертикально или по наклонной плоскости, всегда приобретают скорости, достаточные для подъема на те же высоты. Предположение Лагранжа верно, но лишь по отношению к частностям метода решения задачи о центре колебания Гюйгенсом. Что касается общей идеи метода, то ее источник не так трудно обнаружить. Этим источником является основной закон картезианской механики — закон сохранения движения.

Декарт дал не совсем удачное математическое выражение закону, предполагая сохранение количеств движения (mv) в скалярном смысле. Гюй

генс в теории удара показал, что собственно говоря сохранение количеств движения имеет векториальный смысл. Значение закона Декарта не заключается, однако, в том или ином математическом выражении закона. Те, которые любят подчеркивать ошибку Декарта, забывают, что математическое выражение закона является частностью, и что даже векториальное сохранение количеств движения в обычном смысле зависит от физических условий; например, при ударе тел только идеально упругие тела дают строгое сохранение векториального количества движения. Энгельс совершенно прав поэтому, называя Декарта отцом современного закона сохранения энергии. Декарт первый высказал совершенно точно и всеобъемлюще общую идею сохранения движения в природе. Конкретное воплощение этой идеи и ее математическое выражение зависят от степени развития наших знаний, так что ошибаются те, которые думают, что ныне мы имеем уже окончательную формулировку закона сохранения движения или энергии.

Гюйгенс, исследуя движение физического маятника, исходил из общей идеи сохранения движения. Он искал конкретное выражение закона сохранения и нашел закон сохранения кинетической энергии («живой силы»), который, как это показал Гюйгенс, имеет также место при упругом ударе. Основные гипотезы Гюйгенса таковы:

«Гипотезы. — I. Если некоторое число грузов начинает двигаться под влиянием их тяжести, то центр тяжести грузов не может подняться выше точки, в которой этот центр находился в начале движения.

II. Абстрагируясь от сопротивления воздуха и других препятствий, как мы это делаем в последующих доказательствах, центр тяжести движущегося маятника проходит одинаковые дуги, опускаясь и поднимаясь».

Гюйгенс предполагает, что характер связей между падающими телами или частями маятников не влияет на сформулированные им гипотезы, иначе возможно было бы *perpetuum mobile*. Если бы, благодаря изменению связей, центр тяжести мог подниматься выше, чем он упал, то периодическое изменение связей дало бы возможность поднимать системы тел на любые высоты; если бы, наоборот, изменение связей вызывало уменьшение высоты подъема, то обращение процесса опять-таки дало бы возможность построить *perpetuum mobile*. Гюйгенс пишет: «Если бы механики, изобретатели новых машин, напрасно изыскивающие способы осуществления *perpetuum mobile*, умели воспользоваться нашей гипотезой, они легко заметили бы свои ошибки и поняли бы, что достичь этого механическим путем невозможно».

Э. Мах замечает («Механика», стр. 144), что в гипотезах Гюйгенса выражено инстинктивное познание того, что тяжелые тела сами собой не могут подниматься. «То, что утверждает сейчас Гюйгенс, ни в ком собственно никогда не возбуждало сомнений, а напротив всяким было познано инстинктивно. Но Гюйгенс дал этому инстинктивному познанию логическую форму». Утверждение Маха резко противоречит, однако, историческим фактам. Если бы гипотезы Гюйгенса были столь инстинктивно очевидными, как это изображает Мах, не было бы бесчисленного количества искателей вечного движения, процветающих до сих пор. Но не только искателям вечного движения теория Гюйгенса представлялась сомнительной; против нее были выдвинуты возражения со стороны ученых. Лагранж замечает, что теория Гюйгенса была бы превосходна, если бы она не опиралась на «сомнительный принцип» («*principe précaire*»), который сам нуждается в доказательстве. Когда современники Гюйгенса усомнились в правильности его принципа, Гюйгенс ответил, что в принципе выражено лишь то, что тяжелые тела сами собой не могут подниматься. Маху этот ответ представляется неопровержимым выражением инстинктивного познания, но Ла-

гранж, например, находит ответ Гюйгенса неопределенным и мало удовлетворительным («vague et peu satisfaisante»). Ошибка Маха в том, что он слишком упрощает теорию Гюйгенса. Теория эта далеко не проста и не является выражением инстинктивного познания.

Напротив, в ее состав входят элементы, которые представляются инстинктивному познанию весьма парадоксальными. Гюйгенс в своей теории опирается на закон инерции и законы падения тяжелых тел Галилея. Если бы закон инерции был инстинктивно очевидным, он был бы сформулирован задолго до эпохи Галилея—Декарта. Между тем древность и средневековые в лице такого калибра мыслителей, как Аристотель, не знали как следует этого закона. Открытый Галилеем факт, что тяжелые тела, несмотря на разнообразие величины, формы, структуры, физического состояния, одинаково падают в поле тяжести, представляется с обычной точки зрения удивительным парадоксом. То, что тяжелые тела сами собой не могут подниматься—это еще можно признать очевидным, но совсем не очевидным является то, что разнообразные тела, упавшие с некоторой высоты по некоторой поверхности, в состоянии подняться по любой другой поверхности лишь на ту же высоту. Совсем не очевидным является также и то, что связи между тяжелыми телами, хотя бы в виде невесомых и лишенных массы стержней, не играют роли в процессе падения. Фикция таких связей употребляется Гюйгенсом в его доказательствах. Она безусловно имеет свое объективное обоснование в законах падения тел Галилея, но как раз эти законы являются весьма загадочными и могут быть объяснены лишь при помощи гипотезы атомизма. Общеизвестно, однако, что Мах совсем не склонен был рассматривать атомистическую концепцию в качестве инстинктивного познания, хотя бы в логической обработке. Мы видим, стало быть, что теория Гюйгенса имеет весьма сложное основание. Сам Гюйгенс безусловно выдал эту сложность. Сила этого мыслителя как раз сказалась в том, что он сумел из запутанного клубка процессов природы извлечь некоторые элементы и подвергнуть их научной обработке. Руководимый общей идеей сохранения движения и держась в рамках определенной задачи, Гюйгенс нашел конкретное выражение закона сохранения движения.

Мах в работе: «Принцип сохранения энергии» (русское издание 1909 г., стр. 11) обращает внимание на выражение Гюйгенса в вышеприведенной цитате, касающейся *perpetuum mobile*: «... достичь этого механическим путем невозможно». «Иезуитское *reservatio mentalis*,—замечает Мах,—можно еще, быть может, усмотреть в словах: «механическим путем». Из этого можно было бы вывести, что Гюйгенс не механическое *perpetuum mobile* считает возможным». Последнее предположение не может быть верным по отношению к картезианцу Гюйгенсу. Гюйгенс соблюдал *reservatio mentalis* не иезуита, а диалектика, который, отвергая метафизику «истин в конечной инстанции», умеет ставить и решать конкретные задачи.

В эпоху Декарта сильно развилась фантастика беспочвенных гипотез; естественно, что такие ученые, как Гюйгенс и Ньютон, стремились отгородить себя от этой фантастики и соблюдали научную осторожность там, где сложность процессов не давала еще возможности конкретного исследования.

Решение Гюйгенсом задачи о центре колебания сводится к следующему: вообразим себе маятник, состоящий из нескольких грузов, связанных между собой при помощи негнущихся, лишенных массы и тяжести нитей. Гюйгенс определяет сперва высоту падения центра тяжести грузов при перемещении маятника из одного положения в некоторое другое, скажем, в положение равновесия; затем он воображает, что связи между частями маятника уничтожены, и определяет высоту поднятия центра тяжести совокуп-

ности свободных грузов. Согласно принципу Гюйгенса, эти высоты должны быть равны друг другу, что дает соответствующее уравнение между элементами задачи. Так как глубины падения пропорциональны расстояниям грузов от оси, а высота поднятия, согласно закону Галилея, пропорциональна квадратам приобретенных скоростей, которые также пропорциональны расстояниям от оси,— то уравнение задачи можно свести к соотношению между глубиной падения h_1 и приобретенной скоростью v_1 точки маятника на расстоянии единицы от оси. Это уравнение имеет форму:

$$h_1 \frac{\sum m r}{\sum m} = \frac{v_1^2}{2g} \frac{\sum m r^2}{\sum m},$$

где g —константа ускорения в поле тяжести, m —массы, r —расстояния от оси.

Так как центр колебания определяется длиной изохронного простого маятника совокупной массы $\sum m$, то аналогичное уравнение можно написать для искомой длины простого маятника L :

$$h_1 \frac{L \cdot \sum m}{\sum m} = \frac{v_1^2 \sum m}{2g \sum m},$$

что вместе с первым уравнением дает:

$$L = \frac{\sum m r^2}{\sum m r}.$$

Если через R обозначить расстояние центра тяжести от оси, то, как известно, $\sum m r = R \sum m$, следовательно,

$$L = \frac{\sum m r^2}{R \sum m} = \frac{\sum p r^2}{R \sum p},$$

где вес $p = mg$.

Это и есть формула теоремы Гюйгенса: «Пусть мы имеем маятник, состоящий из некоторого числа грузов. Умножим эти грузы на квадраты соответствующих расстояний от оси колебания и разделим сумму этих произведений на произведение суммы грузов на расстояние центра тяжести от той же оси; мы получим таким образом длину простого маятника, изохронного сложному, т.-е. расстояние между осью и центром колебания сложного маятника».

Заметим, что у Гюйгенса не было еще отчетливого понятия массы, и он употреблял понятие веса («poids») $p = mg$.

Нетрудно видеть, что уравнение Гюйгенса есть уравнение энергии. Если вместо h_1 и r ввести высоты падения h , а вместо v_1 и r приобретенные скорости v , тогда

$$\frac{\sum m h}{\sum m} = \frac{1}{2} g \frac{\sum m v^2}{\sum m}$$

или $\sum p h = \frac{1}{2} \sum m v^2$

заменяя mg через p ; т.-е. потерянная потенциальная энергия (работа сил веса p) равна приобретенной кинетической энергии.

3. Теория света Гюйгенса¹⁾.

Теорию света Гюйгенса квалифицируют как волновую теорию. Эта квалификация, будучи в общем совершенно правильной, тем не менее вво-

¹⁾ Мы цитируем «Traité de la lumière» из серии «Les maîtres de la pensée scientifique», 1920 г. См. также E. Mach, Die Prinzipien der physikalischen Optik,

дит в заблуждение тех, которые незнакомы в деталях с учением Гюйгенса. Волновая теория Гюйгенса отличается одной чрезвычайно важной особенностью, которая в явной форме отсутствует в современной волновой теории¹⁾. Этой особенностью является понятие волны у Гюйгенса.

Гюйгенсово понятие волны. Мы уже цитировали выше известное место из «*Traité de la lumière*», в котором Гюйгенс аргументирует в пользу признания света особой формой движения мирового эфира. В современной волновой теории света принимается, что эта форма движения представляет собой периодический процесс электромагнитной природы. Целый ряд выдающихся ученых пытался определить конкретно сущность тех колебаний эфира, которые вызывают явление света. Задача эта осложнилась открытием световых квант. В настоящее время считается бесспорным, что свет представляет собой какой-то синтетический процесс, корпускулярно-волнового характера, ближайшее определение которого еще только намечается в самом общем виде. Как мы это подробно показали в статье «Развитие воззрений на природу света», одной из причин неудачи многочисленных попыток определения природы света заключается в слишком близком аналогизировании волнового движения в эфире и волновым движением в обычных материальных средах.

Замечательно то, что Гюйгенс в своей теории света резко отклоняет такую слишком далеко идущую аналогию. Вот почему в Гюйгенсовом трактате о свете нет совершенно теории цветов. Гюйгенс, аналогизируя световые волны с водяными и воздушными, остерегался, однако, приписывать частицам эфира колебательные движения, аналогичные движениям в воде или воздухе. Понятие волны у Гюйгенса—это понятие Декарта. Декарт рассматривал обычные волны как частные случаи общего процесса передачи движения от одних частей материи к другим. Вот почему Ньютон, Эйлер и Френель называют Декарта одним из основоположников волновой теории света, несмотря на то, что Декарт рассматривал свет как мгновенно передающийся импульс движения, а не как колебательное движение, распространяющееся с конечной скоростью.

Гюйгенс, принимая понятие волны Декарта, устанавливает прежде всего, вопреки Декарту, что свет распространяется с конечной скоростью. Основываясь на наблюдениях Ремера (стр. 3—11) он определяет скорость света как в 600.000 раз большую, нежели скорость звука. В этой конечной скорости распространения—первое сходство со звуком. Второе сходство в том, что свет, как и звук, распространяется сферообразными волнами. Далее Гюйгенс устанавливает следующие различия между светом и звуком (стр. 11): а) звук порождается сотрясанием всего тела или значительной его части, свет—отдельными точками светящегося тела; б) среда распространения света—это не воздух, а более тонкая среда—эфир, так как свет распространяется в бойлевой и торричеллевой пустотах (ссылка на опыты Бойля и Торричелли—стр. 12 и 13); в) распространение звука представляет собой распространение периодического сжатия и расширения упругого воздуха, распространение света—беспорядочную передачу движения от одних частиц эфира к другим; эти частицы необходимо мыслить твердыми и упругими тельцами, вследствие колоссальной скорости света. Гюйгенс приводит пример прямолинейного ряда очень твердых и соприкасающихся

1921 г.; O. Wiener, Entwicklung der Wellenlehre des Lichtes, серия «Kultur der Gegenwart», Physik; Розенбергер, История физики, ч. II, изд. 1886; Зейтлин, Развитие воззрений на природу света, приложение к книге Дж. Томсона «Электричество и материя», Гиз, 1928 г.

¹⁾ Заметим здесь, что современная так называемая волновая механика базируется по существу на понятии волны Декарта—Гюйгенса.

шариков; если подобного же рода шариком ударить первый из элементов ряда, движение с большой скоростью пробежит весь ряд и через очень короткое время обнаружит себя на конце ряда (стр. 14). Гюйгенс показывает далее, что удивительное свойство свободного перекрещивания лучей света может быть также объяснено на примере ряда шариков, через который в двух противоположных направлениях распространяется импульс движения (стр. 20). Гюйгенс предполагает, что частицы эфира все одинаковой величины и одинаковой упругости, вследствие чего импульсы равномерно передаются через эфирную среду и распространяются с неослабевающей скоростью. Таким образом, согласно Гюйгенсу, сущность света заключается в огромном числе, возбуждаемых частицами источника света, изолированных импульсов, беспорядочно чередующихся и распространяющихся сферообразными волнами вокруг точек светящегося тела. Эта концепция света объясняет тему первой главы трактата Гюйгенса—«О прямолинейности лучей света» (*«Des rayons directement étendus»*).

С точки зрения Гюйгенсовой концепции света прямолинейность световых лучей должна быть обоснована. Он дает это обоснование при помощи т. н. принципа Гюйгенса.

Принцип Гюйгенса и прямолинейность световых лучей. Сущность принципа в том, чтобы рассматривать конкретные действующие световые волны, как синтез элементарных волн. Такая точка зрения непосредственно вытекает из представления Гюйгенса о свете. Если свет—это хаос распространяющихся по всем направлениям импульсов, то движение каждой частицы эфира представляет собой синтез многообразных полученных ею импульсов; это синтезированное частицей движение, в свою очередь, передается дальше, так что каждая частица является источником сферообразной волны. В конечном счете импульсы в некоторых местах складываются, а в других уничтожаются, что дает видимые свет и тень. Вообразим, например, что из светящейся частицы исходят волновые импульсы, достигающие круглого отверстия в сфере, описанной вокруг источника. Каждая частица эфира на площади отверстия представляет собой волновой центр. Если из точек отверстия описать одним и тем же радиусом ряд волновых сфер, то на соприкасающейся сфере, проведенной из источника в пределах сферического сегмента, вырезаемого конусом (с вершиной в источнике) и проходящего через отверстие, мы получим сгущение элементарных волновых поверхностей, а за пределами конуса—разрежение.

Мы видим, таким образом, что Гюйгенсово объяснение прямолинейности световых лучей основано на понятии интерференции световых волн. Объяснение это является диалектическим, так как, утверждая прямолинейность, оно вместе с тем его отрицает. В самом деле из теории Гюйгенса непосредственно следует наличие боковых толчков, так что распространение света не может быть абсолютно прямолинейным. Чем уже отверстие, тем боковая отдача сильнее и, стало быть, прохождение света через очень узкие отверстия должно обнаружить явление искривления лучей или дифракцию. Сам Гюйгенс этого вывода не сделал. Он, наоборот, утверждает (стр. 24), что величина отверстия не нарушает прямолинейности лучей, аргументируя это утверждение невообразимой малостью (*«petitesse inconcevable»*) эфирных частиц. Нигде, однако, Гюйгенс не определяет порядка величины частиц эфира, так что его утверждение не является обоснованным. Мы ныне знаем, что прохождение света через узкие отверстия действительно обнаруживает явление дифракции. Объяснение этого явления дается на основании принципа Гюйгенса.

Методологическая сила этого принципа в том, что он представляет собой синтез существенного и относительно формального методов исследо-

вания процессов природы. Гюйгенс пришел к своему принципу, рассматривая свет как форму движения эфира. Однако, вместо того, чтобы непосредственно исследовать конкретный характер движения отдельных частиц эфира, Гюйгенс в своем принципе охватывает общую форму светового движения, как интегрального процесса. Это именно дало возможность Гюйгенсу с большой легкостью («spielend», по выражению Винера) вывести законы отражения, простого и двойного преломления лучей света.

Отражение и простое преломление света. Главы II, III и IV трактата Гюйгенса дают объяснение законов отражения и простого преломления лучей света.

Для объяснения закона отражения Гюйгенс рассматривает сначала отражение от геометрической плоскости. Пользуясь своим принципом, он при помощи известной конструкции выводит равенство углов падения и отражения. Характерным, однако, для Гюйгенса является то, что он не ограничивается геометрическим доказательством закона отражения.

Гюйгенс, употребляя в своих исследованиях метод геометрического рассмотрения процессов, никогда не забывает о том, что геометрическое представление процессов природы является абстракцией, которая должна быть физически оправдана и обоснована. В этом отношении многим современным физикам, беззаботно оперирующим математическими абстракциями, не мешало бы поучиться у Гюйгенса. Для доказательства физической правомерности своего геометрического вывода закона отражения, Гюйгенс пользуется понятием физической поверхности. Какая-нибудь хорошо отполированная физическая плоскость в известном смысле действительно является таковой, хотя по отношению к чрезвычайно малым частицам эфира эта плоскость представляется весьма шероховатой, так как состоит из относительно крупных, хаотически расположенных частиц. Гюйгенс прекрасно понимал одновременную абсолютность и относительность понятий гармонии и хаоса. Гармоничная физическая плоскость является объективно таковой в известном отношении, хотя в другом отношении она представляет собой хаотическое и искривленное скопление материальных частиц. Мы уже указывали выше, при обсуждении принципа инерции, что Гюйгенс с этой же диалектической точки зрения рассматривал физическую прямую. Если, таким образом, физическая плоскость, рассматриваемая интегрально, действительно является таковой,—то, с другой стороны, закон отражения точно так же имеет интегральный характер, как относящийся к сложной совокупности элементарных волн. В наших конкретных измерениях, посредством которых мы проверяем физические законы, фигурируют не отдельные атомы или волны, а физические тела и системы волн определенной интегральной объективной структуры. Геометрические образы и математические символы являются абстрактным выражением этой структуры. Постольку, поскольку математическое абстрагирование произведено правильно, оно дает правильные результаты. Рассуждения Гюйгенса во второй половине главы об отражении имеют целью защитить правомерность и правильность произведенного им геометрического абстрагирования.

Закон преломления света Снеллиуса—Декарта доказывается Гюйгенсом аналогичным образом при помощи принципа Гюйгенса, принимая во внимание различие скоростей распространения света в различных средах. Геометрическому выводу закона рефракции Гюйгенс предпосылает теорию физической структуры материальных сред. Он выдвигает при этом три гипотезы:

Первая гипотеза состоит в том, что тела совершенно непроницаемы для эфира и распространение света в различного рода телах

происходит через посредство собственных частиц этих тел. Гюйгенс замечает, что подобного рода предположение не вызывает затруднений в случае жидкостей, частицы которых свободны, но его труднее понять в случае твердых тел, воспринимающих движение во всей своей массе. Гюйгенс доказывает несколькими аргументами, что понятие твердости является относительным, что на самом деле твердые тела также состоят из отдельных частиц, связанных вместе лишь давлением, источник которого, по мнению Гюйгенса, в движениях эфирной среды.

Гюйгенс отвергает, однако, первую гипотезу на основании некоторых опытов, показывающих, что эфир проникает в материальные тела. Одним из таких опытов, приводимых Гюйгенсом, является следующий. Вообразим себе замкнутый стеклянный шар, из которого выкачан воздух. Так как свет проходит сквозь такой шар, то он, согласно теории Гюйгенса, наполнен эфирной материей. Если бы эфир не проходил свободно сквозь поры стекла, то при движении шара по горизонтальной плоскости мы обнаружили бы сопротивление инерции, соответствующее не только массе стекла, но и массе заключенного в шаре эфира. Между тем опыт показывает, что полый материальный шар обнаруживает при движении сопротивление инерции, соответствующее лишь массе оболочки.

Вторая гипотеза Гюйгенса состоит поэтому в том, что свет распространяется в телах через промежутки между частицами, заполненные всепроникающим эфиром. Гюйгенс указывает на то, что объем этих промежутков гораздо больше объема самих частиц тел. Так как количество материи тела пропорционально весу, а вода, например, при том же объеме весит в четырнадцать раз меньше ртути, в еще большее число раз меньше золота, очевидно, что между частицами воды должны быть большие промежутки, так как таковые имеются у металлов, обладающих свойствами магнетизма и тяжести, порождаемых движением магнитных и гравитационных вихрей сквозь поры тела. Контраргумент, что предположение промежутков между частицами воды противоречит ее малой сжимаемости, Гюйгенс парирует соображением об интенсивном внутреннем движении водяных молекул, обуславливающим жидкое состояние вопреки внешнему давлению. Наконец, третья гипотеза Гюйгенса утверждает, что световое движение передается как через посредство частиц эфира, заключенных в телах, так и через посредство частиц самих тел. Эту гипотезу Гюйгенс считает наиболее вероятной и применяет ее в своей теории двойного преломления. Гюйгенс делает из принятых им гипотез тот важный вывод, что свет в обычных материальных телах должен распространяться медленнее, чем в эфире, так как частицы тел, обладая большими массами, нежели частицы эфира, менее подвижны. В эпоху Гюйгенса слабое развитие экспериментальной техники не дало возможности проверить этот вывод; соответствующий опыт, оправдавший утверждение Гюйгенса, был поставлен лишь спустя полтора столетия Фуко.

Непрозрачность тел Гюйгенс объясняет предположением мягких неупругих частиц, поглощающих движение. Металлы, например, состоят из твердых и упругих частиц, перемешанных с мягкими и неупругими. Благодаря присутствию первых происходит отражение света, вторые вызывают его поглощение. Гюйгенс, как мы видим, прилагал механику удара тел к объяснению оптических свойств материи. Развита Гюйгенсом теория удара была действительно одним из источников его учения о свете.

Двойное преломление. В IV главе трактата Гюйгенс объясняет атмосферическую рефракцию, рассматривая прохождение света сквозь однородную среду переменной плотности. В V главе он переходит к еще более сложному случаю распространения света в кристалле исландского

шпата. По замечанию Лапласа («Exposition du Système du Mohde»), Гюйгенсову теорию двойного преломления «можно рассматривать, как результат опыта и как одно из прекраснейших открытий этого редкого гения... Можно без всяких сомнений отнести эту конструкцию к самым надежным и прекрасным результатам физики».

Оценка Лапласа не является преувеличенной. Гюйгенс в теории двойного преломления дал наиболее блестящий образец приложения своего метода и доказал общую правильность концепции света, как формы движения некоторой среды. Не останавливаясь на подробностях, требующих для своего понимания соответствующих чертежей, мы в общем виде изложим структуру теории Гюйгенса.

Кристалл исландского шпата, в котором впервые заметил явление двойного преломления Erasmus Bartholinus (1670 г.), принадлежит к числу одноосных кристаллов т. н. гексагональной системы. Он состоит из углекальциевой соли и встречается в прозрачных кристаллах различной формы, между прочим, в форме параллелепипеда, который можно естественно превратить в ромбоэдр. Гюйгенс рассматривает кристалл в форме параллелепипеда, но обычно в курсах физики для упрощения определений различных параметров кристалла пользуются ромбоэдром. Ромбоэдр исландского шпата ограничен шестью ромбами, углы которых равны $101^{\circ}53'$ и $78^{\circ}7'$. Два противоположных угла ромбоэдра образованы тремя тупыми углами, шесть остальных—двумя острыми и одним тупым. Если первые два из упомянутых телесных углов, состоящих из равных тупых двугранных углов в $105^{\circ}5'$ соединить прямой, то получится т. н. кристаллографическая ось кристалла. Она образует углы в $63^{\circ}45'$ с боковыми ребрами и в $45^{\circ}22'$ с боковыми гранями. Плоскость, проходящую через кристаллографическую ось, перпендикулярно к одной из граней кристалла, Гюйгенс назвал главным сечением. Таковым будет, например, диагональная плоскость, проходящая через вершины тупых телесных углов ромбоэдра. Всякая прямая, параллельная кристаллографической оси, называется оптической осью, а всякая плоскость, параллельная главному сечению — также главным сечением¹⁾.

Гюйгенс путем тщательных измерений изучил характер лучей, получающихся в кристалле шпата. Всякий луч, падающий на поверхность кристалла, вообще говоря, делится на два луча, которые названы Гюйгенсом обыкновенным и необыкновенным. Обыкновенный луч подчиняется обычному закону преломления: падающий и преломленный лучи находятся в одной плоскости и показатель преломления луча, равный $V^{5/3}$, не зависит от расположения плоскости падения-преломления в кристалле. Необыкновенный луч, вообще говоря, не остается в плоскости падения и, кроме того, его показатель преломления зависит от направления луча в кристалле.

Если плоскость падения находится в главном сечении, то оба луча остаются в плоскости падения. Возьмем в таком сечении два луча—перпендикулярно и косо падающие. Обыкновенная составляющая перпендикулярно падающего пройдет сквозь кристалл не преломляясь, необыкновенная составляющая преломится в сторону тупого угла главного сечения. Косой луч вообще говоря дает двойное преломление, но если направить его под углом в $73^{\circ}20'$, который почти параллелен ребру кристалла в главном сечении²⁾, то необыкновенная составляющая пройдет не преломляясь, обыкновенная же составляющая преломится. Распределение лучей вдоль оптических осей происходит так же, как в оптически изотропных средах. Если поэтому срезать два тупых угла кристалла перпендикулярно кристаллогра-

¹⁾ У Гюйгенса все эти определения усложнены вследствие того, что он вместо ромбоэдра пользуется параллелепипедом.

²⁾ Это ребро образует с гранью кристалла (плоскостью падения) угол в $70^{\circ}57'$.

фической оси, то рассматриваемая сквозь кристалл черная точка представляется одиночной в направлении перпендикулярном к плоскости среза (в направлении оптической оси) и двойной в косвенном направлении. Для объяснения двойного лучепреломления Гюйгенс принимает (стр. 73—74) две волны—одну распространяющуюся в эфире кристалла (ординарная волна), а другую—в эфире и частицах (экстраординарная). Вторая волна имеет сфероидальную (эллипсоидальную) форму. Гюйгенс дает модели расположения частиц в кристаллах (стр. 113—116), а потому расположение, а также форму (сфероидальную), самих частиц рассматривает как условия, порождающие двойное лучепреломление. Гюйгенс пишет (стр. 74), что он укрепился в своей гипотезе двойных волн после того, как, наблюдая своеобразное расположение частиц горного хрусталя, он заключил, что в горном хрустале также должно иметь место двойное лучепреломление. Правда, это преломление меньше, нежели в шпате, но оно достаточно для объяснения негодности кварцевых линз.

На основании своих измерений Гюйгенс определяет форму сфероидальной волны. Если волновую поверхность обыкновенного луча в эфире (воздухе) изобразить в виде сферы радиуса 1, то та же волновая поверхность в кристалле шпата будет сферой радиуса¹⁾ 0,60, а волновая поверхность необыкновенного луча—сплюснутым сфероидом вращения с осями²⁾ 0,60 и 0,67.

Пользуясь сферическими и сфероидальными волнами, Гюйгенс, применяя свой основной принцип, обосновывает наблюдаемые в кристалле шпата характерные особенности хода и преломления лучей.

Методологическая сила исследования Гюйгенса сделается очевидной, если указать, что оно привело его к открытию тончайшего и фундаментальнейшего свойства света, именно: поляризации. Гюйгенс лишь описывает это «удивительное явление» (*«phénomène merveilleux»*), которое он наблюдал при помощи двух кристаллов шпата, не давая ему никакого объяснения. Гюйгенс указывает, что он не сумел еще найти такого объяснения (*«Je n'en ai pas pu trouver jusqu'ici la cause»*, стр. 109). Как мы отметили выше, Гюйгенс не решался слишком близко аналогизировать свет с волновым движением в обычных средах, т.-е. приписать частицам эфира колебательное движение. Это обстоятельство показывает, насколько осторожен был Гюйгенс в своих гипотезах. Он прибегал к гипотезам не из какой-то врожденной любви к ним, а из повелительной необходимости разобраться в явлениях природы.

Вышеизложенное показывает, что различные части физики Гюйгенса тесно связаны друг с другом и образуют систематическую цепь взаимозависимых теоретических положений. Совершенно недоказательной, поэтому, является попытка некоторых натурфилософ-идеалистов, в частности Дюгема, вырвать из этой цепи отдельные звенья и доказать их самостоятельность. Дюгем, например, пишет в своей «Физической теории»³⁾, имея в виду теорию двойного лучепреломления Гюйгенса: «вывел ли Гюйгенс эту прекрасную плодотворную теорию из принципов космологии, из тех «доказательств механики», на основе которых, по его словам, «истинная фи-

¹⁾ Показатель преломления шпата для обыкновенного луча равен $\frac{5}{3}$, следовательно, скорость света в кристалле равна 0,60 скорости в эфире.

²⁾ Наименьшая скорость распространения необыкновенного луча равна скорости обыкновенного, а отношение к наибольшей скорости— $\frac{9}{8}$; так как скорость обыкновенного луча равна $\frac{3}{5}$ скорости в эфире (воздухе), то наибольшая скорость необыкновенного луча равна $\frac{3}{5} \cdot \frac{9}{8} = 0,67$ скорости в эфире.

³⁾ См. русское издание 1920 г., стр. 43.

лософия постигает причину всех естественных явлений»? Н и к о и м о б р а з о м. Пустое пространство, атомы, твердость их, их движения ¹⁾ — все это не играло ни малейшей роли в создании этого описания. Сравнение между распространением звука и распространением света, экспериментальное установление того факта, что один из двух преломленных лучей подчиняется закону Декарта, а другой—нет, счастливая гипотеза о форме световой волны внутри кристаллов—вот средства, при помощи которых великий голландский физик вывел принципы своей классификации». Всякий, кто хоть несколько знаком с подлинными сочинениями Гюйгенса, должен быть поражен неслыханной смелостью и, скажем резче, бесцеремонностью утверждений эмпириокритического философа.

Разумеется, всякий волен придерживаться какой ему угодно философии и искать обоснований для нее, но путь, избранный Дюгемом, едва ли может привести к иной цели, кроме окончательной дискредитации тех взглядов, которые он защищает. Дюгем пишет «о счастливой и смелой гипотезе», которая сыграла большую роль в теории Гюйгенса. Для автора «Физики верующего» ²⁾ счастье и смелость являются дарами свыше, но в материальной действительности они реально обоснованы. Можно, разумеется, *post factum* заявлять, что те или иные философские положения не играли ни малейшей роли в теории, вопреки тому, что автор теории тщательно подчеркивает, систематически и многократно в различных работах обсуждает эти положения. Но это нужно доказать во всяком случае не парой бесцеремонных фраз, а столь же тщательно и систематически. Такого доказательства мы не находим у Дюгема, он не в состоянии его дать, так как объективное исследование сочинений Гюйгенса с полной очевидностью обнаруживает тот факт, что его смелые и счастливые гипотезы возникали на весьма реальном материалистическом основании. Дюгем не может и не хочет признать этого, ему гораздо выгоднее изобразить теорию Гюйгенса, как достижение метода чистого описания. Но в таком случае мы имеем право квалифицировать изображение Дюгема изображением в кривом зеркале эмпириокритицизма. Действительная теория Гюйгенса столь же отлична от теории, изображаемой Дюгемом, сколь отличен реальный предмет от своего изображения в зеркале, да еще кривом.

Заметим, что такой эмпирик, как Поггендорф, вынужден признать, что факт двойного лучепреломления Гюйгенса «совершенно невозможно (*«ganz unmöglich»*) вывести из ряда угловых измерений и простого их сравнения», т.-е. путем простой индукции, помощью которой получаются часто закономерности.

Поггендорф является, однако, эмпириком классического периода буржуазного господства, эпохи Канта и Гегеля. Он поэтому все же смутно понимал, что философское и научное творчество в своем реальном протекании не является произвольным, а реально обосновано, что изобразить существенные части теории Гюйгенса как проявления метафизической мании, значит окончательно покинуть почву объективизма в угоду предвзятой философии. Философские и научные теории необходимо изучать так же объективно и конкретно, как изучаются природа и общество. Могут ли, однако, философы, основная тенденция которых в отрицании объективной реальности природы и общества, могут ли они объективно и конкретно изучать философские и научные теории? Ответ на этот вопрос

¹⁾ Дюгем считает Гюйгенса атомистом демократического типа, что не совсем соответствует действительности.

²⁾ См. «Annales de Philosophie chretienne», 1905 г. Статья приложена ко второму французскому изданию «La théorie physique».

ясен сам собою. Ясно также и то, что материалисты в состоянии дать объективную оценку сущности рассуждений эмпириокритических философов.

Гюйгенс был представителем выступавшего на историческую арену буржуазного класса, заинтересованного в развитии производительных сил. Вот почему физика Гюйгенса—это физика, построенная на материалистическом фундаменте.

Эмпириокритические философы же — это идеологи деградирующей буржуазии, стремящейся сломать выковывающееся в недрах науки теоретическое оружие материализма, поедающей плоды дерева науки и уничтожающей его корни, согласно девизу: *après nous la deluge*, заимствованному у погибавшего феодализма.

История, к счастью, представляет собой диалектический процесс. Если буржуазный класс сумел в противовес феодальной схоластике выдвинуть своих Декартов, Гюйгенсов и Ньютонов, то пролетариат, идущий на смену буржуазии, тем более сумеет, и уже отчасти сумел, выдвинуть своих великих философов и ученых, которые окончательно сокрушат буржуазную схоластику и будут строить науку на базе единственно верной философии диалектического материализма—этого зрелого плода тысячелетнего развития человеческого мышления и человеческой практики.

