

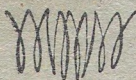
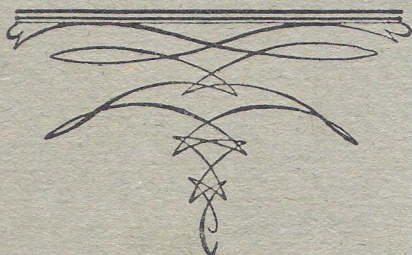




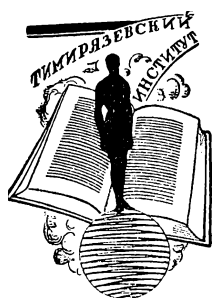
З. ЦЕЙТЛИН



ЗАКОН
ДВИЖЕНИЯ
ЭНГЕЛЬСА



ИЗДАНИЕ
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТИМИРЯЗЕВСКОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ИНСТИТУТА



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТИМИРЯЗЕВСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

З. ЦЕЙТЛИН

ЗАКОН ДВИЖЕНИЯ ЭНГЕЛЬСА

ИЗДАНИЕ
ГОСУДАРСТВЕННОГО ТИМИРЯЗЕВСКОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
МОСКВА, 1927

ОТ АВТОРА.

Опубликованные Д. Б. Рязановым долго лежавшие под спудом рукописи Энгельса обогатили марксистскую мысль замечательным законом диалектики природы, который назван нами законом движения Энгельса. Название внушено нам словами самого Энгельса в одном из писем к Марксу: «это, следовательно, всеобщий закон движения, который я впервые формулировал...».

Первая и вторая части работы дают философское разъяснение, третья часть — физико-математическое обоснование закона Энгельса.

Слишком специальные математические выкладки и очерк истории понятия эффективного потенциала выделены в два приложения.

Основная часть сочинения общедоступна. Встречающиеся дифференциальные знаки не должны пугать читателя, так как по существу работа в этой части изложена помощью элементарной математики и физики.

З. Ц.

Москва, 23 ноября 1926 г.

ЗАКОН ДВИЖЕНИЯ ЭНГЕЛЬСА

I. Философское обоснование закона движения Энгельса.

«Это, следовательно, всеобщий закон движения, который я впервые формулировал...».

(Из письма Энгельса к Марксу от 23 ноября 1882 г.).

1. О сущности марксизма как философского учения.

Чтобы как следует разъяснить философский смысл закона движения Энгельса, необходимо предварительно остановиться на вопросе о сущности философских воззрений Маркса и Энгельса. Г. В. Плеханов, как известно, охарактеризовал марксизм как род «спинозизма».

В предисловии к «Л. Фейербаху» Плеханов пишет (стр. 10, изд. 1918 г.):

«Если «критики» Маркса испустили единодушный крик удивления, когда я в споре с Бернштейном выразил ту мысль, что материализм Маркса и Энгельса был родом спинозизма (ein Art Spinosismus), то это объясняется единственно их изумительным невежеством. Чтобы сделать себе эту мысль более доступной, надо вспомнить, во-первых, что Маркс и Энгельс прошли через философию Фейербаха, а, во-вторых, постараться выяснить себе, чем же собственно отличается философия этого последнего от философии Спинозы. Кто умеет понимать прочитанное, тот скоро увидит, что по своему основному взгляду на отношение бытия к мышлению Фейербах есть Спиноза, переставший величать природу богом и прошедший школу Гегеля».

В примечании Плеханов поясняет, что «род спинозизма» означает, что «у Маркса и Энгельса,—как уже и у Дидро,—спинозизм был освобожден от его теологической внешности. Только всего».

В «К. Марксе» Плеханов повторяет свой тезис: «Я с полнейшим убеждением утверждаю, что Маркс и Энгельс в материалистический период своего развития никогда не покидали точки зрения Спинозы, и это мое убеждение основывается, между прочим, на личном свидетельстве Энгельса.

В 1899 году я, побывав на международной выставке в Париже, отправился в Лондон, чтобы лично познакомиться с Энгельсом; имел удовольствие в продолжение почти целой недели вести с ним продолжительные разговоры на различные практические и теоретические темы. Однажды зашел у нас разговор о философии. Энгельс резко осуждал то, что Штерн весьма не точным образом называет «натурфилософским материализмом». «Так по-вашему,—спросил я,—старик Спиноза был прав, говоря, что мысль и протяжение не что иное, как два атрибута одной и той же субстанции?» — «Конечно,—ответил Энгельс,—старик Спиноза был вполне прав».

Плеханов ссылается на свидетельство химика Шорлеммера и П. П. Аксельрода.

Вот почему Плеханов к положению: «основа всех явлений природы составляет движение материи»,—положению, в котором движение понимается в смысле пространственного перемещения (механическое), делает примечание: «Я говорю об объективной стороне явлений» ¹⁾.

Действительно, то, что в пространстве, т.-е. внешне, объективно представляется нам как пространственное перемещение, т.-е. механическое движение, то в известной стадии усложнения воспринимается субъективно как психическое. Спиноза выразил это в известной формуле: протяжение (и движение в нем) и «мышление»—два атрибута единой субстанции, т.-е. материи. Правилен ли основной тезис Плеханова? Да, безусловно правилен, но с некоторой чрезвычайно важной оговоркой. Смысл этой оговорки мы выясним на разборе известной статьи Маркса о французском материализме XVIII века. Плехановский текст этой статьи, приложенный к «Л. Фейербаху», неправильно передает смысл статьи Маркса, в чем нетрудно убедиться,

¹⁾ «Une volution est pour le cerveau un mouvement d'un certain système de fibres. Dans l'âme c'est ce qu'elle éprouve en conséquence du mouvement des fibres (Robinet. De la nature, t. I, ch. XXII, p. IV). Ср. Фейербах: «Was für mich oder subjectiv ein rein geistiger Act, ist an sich oder objectiv ein materieller, sinnlicher». Werke, II, 350.

сравнив подлинник из «Святого семейства» с плехановским переводным текстом. Отрывок Маркса (см. стр. 231 меринговского, 1923 года, издания «Литературного наследия») называется так: «Критическое сражение против французского материализма». Он начинается цитатой из Бруно Бауэра:

«Спинозизм всецело господствовал в XVII веке, как в своей дальнейшей форме развития, которая материю сделала субстанцией, так и в теизме, который прикрыл материю более духовным именем.

Французская школа Спинозы и приверженцы теизма были лишь двумя сектами, которые спорили об истинном смысле системы Спинозы.

Обычной (простой) судьбой этого «просвещения» был его переход в романтику после того, как оно вынуждено было сдаваться в плен реакции, начавшейся со времени французского движения».

«Так вещает критика»,—говорит Маркс с иронией.

«Мы же, — продолжает он, — критической истории французского материализма противопоставим в кратком очерке— историю вульгарную (profane)¹⁾ и массовидную. Мы почтительно установим бездну, существующую между историей, как она действительно протекала, и историей, как она происходит согласно декрету абсолютной критики, которая равномерно творит как старое, так и новое. Наконец, слушаясь предписания критики, мы сделаем «предметом основательного исследования Почему? Откуда? и Куда? критической истории».

Маркс начинает свое изложение истории французского материализма словами, взятыми в кавычках:

«Если говорить точно и в прозаическом смысле» («Genau und im prosaischen Sinne zu reden») «французское «просвещение»... Затем идет известный текст Плеханова, в котором, стало-быть, опущено начало статьи Маркса, определяющее смысл этой статьи. Далее, в том месте, где Маркс говорит о двух источниках французского материализма,—в плехановском

¹⁾ Слово profane происходит от латинских pro—перед, fanus—храм и вообще говоря имеет смысл «светского», «мирского»; употребляется также для обозначения «святотатственного», «невежественного», «низменного». Так как Маркс свою «светскую» концепцию иронически противопоставляет «святой» бауэровской, то слово «вульгарный», как нам кажется, хорошо выражает Марксову иронию.

тексте сказано: «Собственно говоря, есть два направления французского материализма: одно из них ведет свое происхождение от Декарта, другое—от Локка». Но у Маркса вместо выражения «собственно говоря» поставлено ироническое замечание в кавычках по адресу Бауэра: «Genau und im pro-saischen Sinne zu reden».

Далее в плехановском тексте выброшен целый абзац и неправильно передан смысл Марксова утверждения.

Текст Плеханова: «Картезианский материализм еще и поныне существует во Франции. Он имеет свои великие успехи (Er hat seine grossen Erfolge) в механическом естествознании, которое, если говорить точно и в прозаическом смысле, менее всего можно упрекать в романтике».

Точно так же в тексте Плеханова искажено следующее важное место:

Текст Плеханова: «Материализм—родной сын Великобритании. Уже схоласт Дунс Скотт задавался вопросом: «не может ли материя мыслить?»

Текст Маркса: «Спрашивается, является ли Локк учеником Спинозы? Вульгарная (profane) история может ответить: материализм—родной сын Великобритании»..

Наконец, в плехановском тексте опущено заключение Маркса, в котором Маркс выясняет, откуда собственно Бауэр взял свои утверждения о роли Спинозы в истории материализма XVIII века.

«Где же господин Бауэр или Критика достали материалы для критической истории французского материализма?»—спрашивает Маркс. И отвечает:

1. «Гегелевская история философии изображает французский материализм как реализацию спинозовской субстанции, что во всяком случае гораздо понятнее, нежели «французская школы Спинозы».

2. Господин Бауэр вычитал из гегелевской истории философии, что французский материализм является школой Спинозы. Когда он нашел в другом произведении Гегеля, что теизм и материализм—две стороны одного и того же основного принципа, тогда у Спинозы оказалось две школы, которые сражались за смысл его системы. Господин Бауэр мог указанное объяснение найти в гегелевской феноменологии. Здесь мы находим буквально:

«Относительно той абсолютной сущности «просвещение» вступает само с собой в борьбу... и делится на два лагеря... Один называет его неопределяемым (prädi katlose) абсолютным... высшей абсолютной сущностью... другой—материей... оба названия выражают одно и то же понятие; различие заключается не в самом предмете, но в отличных исходных пунктах обоих образований». («Феноменология» Гегеля, стр. 420, 21, 22).

3. Наконец, господин Бауэр мог опять-таки найти у Гегеля, что субстанция, если она не движется к понятию и самосознанию, впадает в «романтику». Нечто подобное развивали в свое время Галльские Ежегодники:

«Во что бы то ни стало, однако, дух должен был предназначить (verhängen) глуповатую (бестолковую) судьбу (ein einfältiges Schicksal ¹⁾ своему «противнику» (Widersacher)— материализму».

Маркс заключает следующим примечанием:

«Примечание: Связь французского материализма с Декартом и Локком, а также борьба философии XVIII-го века против метафизики XVII-го, исчерпывающе установлены в большинстве новейших французских историй философии. Нам пришлось против критической критики лишь повторить общеизвестное. Напротив, связь между материализмом XVIII века с английским и французским коммунизмом XIX века требует еще основательного исследования. Мы ограничимся здесь тем, что процитируем из Гельвеция, Гольбаха и Бэнтама несколько выразительных мест».

Следуют три цитаты.

Итак, констатируем:

Маркс самым резким образом возражает против утверждения, что французские материалисты XVIII века были «спинозистами». Маркс устанавливает «вульгарную и массовидную» истину, что основоположниками французского материализма XVIII века были Декарт и Локк. Утверждение Маркса совершенно очевидно для всякого, кто хоть несколько знаком с действительной историей нового материализма. «Вульгарная и массовидная» история эта учит, что под философией Декарта в XVII веке, как ее друзья, так и враги, разумели физику (главным образом) Декарта» (А. Рей). Картезианство тем и

¹⁾ Здесь игра слов, направленная против Бауэра, который говорит о простой (обычной) судьбе «просвещения».

отличается от Спинозизма, что оно представляет собою философию, построенную на естественно-научном фундаменте, в то время как Спинозизм базируется на «логических спекуляциях».

Декарт был великим философом-естествоиспытателем, который, начав с естественно-научного трактата «О мире», хотел на фундаменте естествознания воздвигнуть здание философии. Спиноза был великим философом-логиком, который *more geometrico* строил философию на базе логических спекуляций. Отсюда то, что метафизика Декарта является весьма искусственным привеском к его философии; ибо, как «физик», Декарт был «антиметафизиком» по профессии. У Спинозы же не было естественно-научной панацеи против метафизики, и его система в известной мере поэтому пропитана подлинной метафизикой¹⁾: великие логики очень легко впадают в метафизику. Одно из фундаментальных положений Спинозы о бесконечности атрибутов субстанции является даже не только метафизическим, но и теологическим. Некоторые материалисты стараются рационально истолковать положение Спинозы (т. Варьяш претендует, кажется, на то, что он открыл материалистический смысл спинозовских бесконечных атрибутов), но это — безнадежное дело, так как совершенно очевидно, что бесконечность атрибутов заимствована Спинозой у теологии, которая не допускает ограничительных определений бога: приписать богу два атрибута значит уничтожить теологическое понятие бога. Вот почему «прогрессивные теологи», в роде Шлейермахера, с великой легкостью ухватываются за систему Спинозы; вот почему ни одно философское учение не вызвало столько — и прямо противоположных — истолкований.

Значит ли это, что «марксизм не есть род Спинозизма»? Плеханов указывает, что «род Спинозизма» означает, что «у Маркса и Энгельса, как уже и у Дидро, — Спинозизм был освобожден от его теологической внешности. Только всего».

Только всего ли? Нет, не только! Чтобы марксизм сделался «родом Спинозизма», необходимо Спинозизм очистить от метафизических и теологических элементов.

Мы утверждаем: основа Спинозизма, его сущность, самое главное в нем, — безусловно материалистичны. Субстанция Спинозы не есть Логос, закономерность, как это утверждают некоторые, ибо закономерность не может иметь атрибута

¹⁾ Отсутствие, например, идеи развития.

протяженности: таковой может быть присущ лишь материи. «Бесконечность атрибутов» субстанции является каббалистическим и мистическим элементом Спинозовской системы, который самим Спинозой объявлен «непостижимым» для нашего познания и этим уничтожен в его логическо-геометрическом учении.

Если, стало-быть, рассматривать Спинозизм как философское завершение «естественно-научного фундамента», т.-е. как картезианство, окончательно отбросившее формальную метафизику дуализма субстанций (материи и духа), то Спинозизм есть материализм, а марксизм — «род Спинозизма».

В статье «Рациональный и формальный диалектический материализм» мы подчеркнули и здесь подчеркиваем еще раз, что не имеем намерения отождествлять картезианство с марксизмом.

Картезианство, как историческое явление, это прежде всего философия природы, марксизм же — как философия природы, так и философия общества. Будучи философией природы, картезианство принимало часто одностороннюю форму «механического материализма». Вот что пишет В. И. Ленин о картезианстве («Эмп. и мат.», стр. 302, изд. 1920 г.): «Примиритель Рей не только набросил флер на постановку вопроса философским материализмом, но обошел также и наиболее ярко выраженные материалистические заявления французских физиков. Он не упомянул, например, об Альфреде Корню (A. Cornu), умершем в 1902 г. Этот физик встретил остальдовское «разрушение (или преодоление, Ueberwindung) научного материализма» презрительным замечанием о претенциозном фельетонном трактовании вопроса (см. «Revue générale des Sciences», 1895, p. 1030).

На международном конгрессе физиков в Париже Корню сказал: «Чем больше мы познаем явления природы, тем больше развивается и точнее становится смелое картезианское воззрение на механизм мира: в физическом мире нет ничего, кроме материи и движения. Проблема единства физических сил — снова выдвигается на первый план после великих открытий, ознаменовавших конец XIX-го века. Главное внимание наших современных вождей науки — Фарадея, Максвелла, Гертца (если говорить только об умерших уже физиках) — устремлено на то, чтобы точнее определить природу и отгадать свойства невесомой

материи (*matière subtile*), носителя мировой энергии... Возвращение к картезианским идеям очевидно».

«Люсьен Пуанкарэ,—говорит далее В. И. Ленин,—в своей книге о «Современной физике» справедливо отмечает, что эта идея была воспринята и развита энциклопедистами XVIII века, но ни этот физик, ни А. Корню не знают о том, как диалектические материалисты—Маркс и Энгельс—очистили эту «основную посылку материализма от односторонностей механического материализма».

Плеханов так, конечно, понимал Спинозизм, а потому тезис его по существу правилен, и тем более правилен, что Плеханов неоднократно подчеркивал, что «материализм есть логическое следствие учения Декарта» (К. Маркс). Точно так же французские материалисты, которые были по преимуществу физиками и врачами по профессии, понимали Спинозизм как философское завершение «физики Декарта». Отсюда понятно, почему другим источником французского материализма был Локк. Учение Локка имеет сильный уклон в сторону «сенсуализма», т.-е. той стороны материи, которая сознательно была исключена Декартом из его «физики». Спиноза же утверждает что «мышление» — необходимый атрибут единой субстанции. Вот почему двумя источниками французского материализма XVIII века были физика Декарта и английский сенсуализм. Отсюда также видно, что французские материалисты XVIII века не были столь «механичны», как это обычно изображают.

Чтобы в этом убедиться, достаточно внимательно читать статью Маркса.

Отметим прежде всего еще одно место статьи Маркса, неправильно переданное в тексте Плеханова.

У Плеханова сказано:

«Французское «просвещение», а в особенности французский материализм XVIII века, представляет собою не только борьбу против существующей религии и теологии, но также открытую, ясно выраженную борьбу против метафизики XVII столетия, против метафизики Декарта, Мальбранша, Спинозы и Лейбница».

В тексте Маркса имеется еще фраза: «против всякой метафизики» (*gegen aller Metaphysik*), подчеркивающая

утверждение о характере французского просвещения и материализма¹⁾. Значение этой фразы понятно: согласно Марксу, французский материализм был не только борьбой против определенной метафизики, но и против всякой метафизики. Не означает ли это, что Маркс считал французский материализм в известной мере диалектическим?

Маркс указывает:

1. Согласно Бэкону, «первым и главным из свойств, прирожденных материи, является движение, — не одно только механическое и математическое движение, но и движение как жизненный дух, как напряжение, как мучение материи, выражаясь языком Якова Бэма».

2. В дальнейшем своем развитии у Гоббса материализм становится «односторонним»: «физическое движение приносится в жертву движению механическому или математическому».

3. Наконец, «Локк основал философию здравого смысла, т.-е. косвенным образом сказал, что не может быть философии отличной от рассудка, основывающегося на свидетельстве здоровых внешних чувств человека».

В приведенных трех положениях совершенно отчетливо выступает диалектика истории философии, как ее изображает Маркс.

Воззрение Бэкона—синтетическое. Гоббс развивал тезис протяженности и механико-математического движения, Локк—антитезис сенсуализма.

Переходя к французскому материализму, Маркс указывает далее, что Кондильяк направил «локковский сенсуализм против метафизики XVII века»; Гельвеций придал материализму «общественный характер»; наконец, самый выдающийся материалист XVIII века—Ламеттри—соединил картезианский материализм с английским. Маркс замечает:

«Нам нет необходимости говорить ни о Вольнее, Дюпюи, Дидро и т. д., ни о физиократах после того, как мы выяснили двойственное происхождение французского материализма: от физики Декарта—с одной стороны и от английского материализма—с другой». Отсюда видно, что Маркс не считал

¹⁾ «... ein offener, ein ausgesprochener Kampf gegen die Metaphysik des 17 Jahrhunderts und gegen aller Metaphysik, namentlich gegen die des Descartes, Malebranche, Spinoza und Leibnitz».

французских материалистов огульно механистами. Спрашивается тогда, почему Маркс и Энгельс постоянно говорят о «механическом материализме XVIII века»? Объясняется это очень просто. Они имеют главным образом в виду сильное «массовидное» течение французского естествознания, которое базировалось исключительно на «физике» Декарта в узком смысле слова и на физике Ньютона. Маркс и Энгельс превосходно знали историю французского естествознания, как это видно из следующей фразы Маркса:

«Нам нет необходимости подробно говорить о французском материализме, идущем от Декарта, точно так же, как о школе французских последователей Ньютона и вообще о развитии французского естествознания».

Эти слова, написанные Марксом и Энгельсом¹⁾ в 1844 году, показывают, что уже в ту эпоху Маркс и Энгельс прекрасно ориентировались в основах естествознания и его истории и, стало-быть, в основах материалистической философии. Вот как, между прочим, оценивает В. И. Ленин Маркса 1843 года: «Еще в 1843 г., когда Маркс только еще становился Марксом, т.-е. основателем современного материализма (подчеркнуто В. И.), неизмеримо более богатого содержанием и несравненно более последовательного, чем все предыдущие формы материализма,—еще в то время Маркс с поразительной ясностью намечал коренные линии в философии».

В. И. Ленин ссылается на письмо Маркса к Фейербаху от 30 октября 1843 года.

Мы приведем несколько документальных данных, рисующих отношение Маркса и Энгельса к естествознанию в эпоху 1844 года, ибо вопрос этот тесно связан с той «поразительной ясностью», о которой говорит В. И. Ленин.

Еще в 1837 г. Маркс в письме²⁾ к отцу сообщает:

«Бодрой поступью приступил я к работе, к философско-диалектическому развитию божества в его проявлениях, как понятия в себе, как религии, как природы, как истории. Мой последний тезис оказывался началом гегелевской системы, и эта работа, для которой я до известной меры ознакомился с естествознанием, ... Шеллингом, историей, стоила мне огромных умственных усилий...».

¹⁾ «Святое семейство» является, как известно, коллективным трудом Маркса и Энгельса.

²⁾ См. т. I-й сочинений Маркса и Энгельса, стр. 449.

Маркс указывает, что он прочел «De augmentis scientiarum» Бэкона и «много занимался Реймарусом, книгу которого «О художественных инстинктах животных» он «продумал с наслаждением». Книга Реймаруса представляет собою реакционное выступление против «Человека-машины» Ламеттри.

В том же письме Маркс сообщает, что он «познакомился с Гегелем от начала до конца, включая большинство его учеников». В 1840—41 году Маркс написал диссертацию «О различии между физикой Демокрита и Эпикура». Как замечает Д. Б. Рязанов, «эта диссертация, написанная с специальной целью, не дает точного представления о том этапе духовного развития, которого Маркс достиг в марте 1841 года. Даже в области философских взглядов он нарочно ограничивается историко-догматическим изложением в рамках гегелевской «Истории философии», чтобы не создавать себе лишних затруднений при получении докторского диплома, без которого он не мог бы занять кафедру в университете (стр. 500).

В сочинении «Наука и гипотеза» мы показываем, что меринговская оценка работы Маркса, оценка, которую у нас обычно повторяют, не является правильной. Эта неправильность обусловлена в свою очередь слишком низкой естественно-научной оценкой натурфилософии Гегеля. Изучение этой натурфилософии (см. нашу статью «Физика Гегеля», «Под Знаменем Марксизма», 1925 г.) приводит к убеждению, что Гегель обладал довольно солидными естественно-научными познаниями и во многих отношениях стоял даже выше современных ему эмпириков.

Парижское издание сильно подвинуло вперед знакомство Маркса с историей естествознания. «В мае 1844 года¹⁾ Руге писал Фейербаху—без намерения сказать этим нечто похвальное,—что делает его свидетельство тем более достоверным,—что Маркс очень много читает и очень напряженно работает, но ничего не заканчивает, все обрывает и потом заново погружается в безбрежное море книг». Маркс усердно изучал материалистическую философию XVIII-го века и, по замечанию Меринга, «не столько в том из ее двух течений, которое исходило от Декарта и уходило в естествознание, как в другом, примыкавшем к Локку и вливавшемся в общественные науки».

Что касается Энгельса, то следующие два документа эпохи 1844 года рисуют его отношение к естествознанию: 1) «Очерки

¹⁾ См. Меринг. Биография Маркса.

критики политической экономии», изданные в 1845 году, 2) «Положение в Англии (1843—1844)»—две статьи, из которых первая представляет собою рецензию на книгу Карлейля «Прошлое и настоящее», а вторая—очерк Англии XVIII-го века, очерк впоследствии воспроизведенный в энгельсовском «Положении рабочего класса в Англии».

В первой работе Энгельс в таких выражениях оценивает значение науки¹⁾: «Для него (вульгарного экономиста) земля, капитал, труд—условия богатства, и больше ему ничего не надо. Какое ему дело до науки? Поднесла ли она ему подарки через Бертолэ, Дэви, Либиха, Уатта, Картрайта и др., поднявших его самого на бесконечную высоту,—что ему до этого? Таких вещей он не умеет подсчитать; успехи науки выходят за пределы его чисел».

Культивирование науки,—говорит Энгельс,—вознаграждается и материально, ибо один какой-нибудь плод науки, в роде паровой машины Уатта, «принес миру за первые 50 лет своего существования больше, чем им истрачено было с первых дней творения на культивирование науки».

Критикуя учение Мальтуса (стр. 338), указывая на то, что научное знание также растет в геометрической прогрессии, Энгельс восклицает: «А что невозможно для науки?» Дифирамбы Энгельса науке не случайны, а являются результатом и показателем того, что Энгельс в эпоху 1844 г. уже успел ознакомиться с важнейшими научными достижениями своего времени и важнейшими фактами истории науки. Это хорошо видно из статей о «Положении в Англии». Первая статья начинается жалобой на недостаток на книжном рынке хороших книг для чтения. «Быть может, вам попадетс несколько книг по геологии или экономии, истории или математике, в которых содержится крупнца нового,—но все это—вещи, которые надо изучать, а не читать».

Очень характерно то, что Энгельс начинает свой перечень именно с геологии. Энгельс, очевидно, следил за развитием этой науки, которая как раз в ту эпоху переживала революционный период: в 1830—33 г. г. появился классический труд Ляйэля «Основания геологии», который вызвал ожесточенную научную борьбу, продолжавшуюся около полутора десятка лет в самой Англии и около тридцати лет—на континенте. Энгельс в

¹⁾ См. сочинения Маркса и Энгельса, т. II, стр. 323.

следующих словах (см. статью вторую, стр. 376) характеризует значение XVIII-го века для истории науки: «Бесчисленные перепутанные данные познания было упорядочены, обособлены и приведены в причинную связь; знание стало наукой, и науки стали совершеннее, т.-е. примкнули с одной стороны к философии, с другой—к практике.

До восемнадцатого века науки не существовало; познание природы получило научную форму лишь в восемнадцатом веке, в некоторых отраслях несколько ранее. Ньютон создал научную астрономию своим законом тяготения, научную оптику—разложением света, научную математику—теоремой о биноме и теорией бесконечных, научную механику—познанием природы сил. Физика точно так же получила свой научный характер в восемнадцатом веке; химия была еще только создана Блэком, Лавуазье и Пристли; география была поднята на уровень наук определением формы земли и многими путешествиями, теперь только начинающими приносить пользу науке; точно так же естественная история—Бюффеном и Линнеем; даже геология стала постепенно освобождаться из болота фантастических гипотез, в котором прозябала». «Для восемнадцатого века характерна была идея энциклопедии: она покоилась на сознании, что все эти науки между собою связаны, но она была еще не в состоянии заполнить перехода от одной науки к другой, а умела лишь просто ставить их рядом».

Вершиной науки восемнадцатого века был материализм—первая система натурфилософии и результат этой законченности естественных наук».

Энгельс вторично возвращается к той же мысли на стр 386 и опять подчеркивает, что результатом «их (т.-е. наук) присоединения к философии был материализм (имеющий своей предпосылкой столько же Ньютона, сколько Локка)».

Энгельс дает далее целый ряд сведений, воспроизведенных им спустя полвека в «Положении рабочего класса в Англии», по истории техники, везде подчеркивая значение науки для техники. Так, «в 1763 году Джосия Веджвуд введением научных принципов (подчеркнуто у Энгельса) положил начало расцвету гончарного дела...»; или: «мы видели, как крашение, набойка и беление развились в связи с прогрессом прядения и ткачества, и вследствие этого пришлось прибегнуть к помощи механики и химии», и т. д.

Итак, мы видим, что в эпоху 1844 года Маркс и Энгельс были далеко не чужды естествознанию. Если принять во внимание, что речь идет именно о Марксе и Энгельсе, т.-е. о гениальных головах, обладавших необычайной критической проницательностью и, сверх того, циклопической работоспособностью и эрудицией, то нельзя не признать правильной оценку В. И. Ленина о «поразительной ясности», с которой Маркс и Энгельс уже в эпоху 1844 года намечали основные черты современного материализма, в частности—его связь с естествознанием.

Первостепенное значение для понимания основ естествознания и материализма имеет изучение истории науки XVI, XVII и XVIII столетий. Тогда именно закладывался фундамент современной науки, и хорошо знает и понимает науку тот, кто исследовал фундамент, на котором она построена.

Маркс и Энгельс именно потому хорошо ориентировались в современном естествознании, что они изучили историю естествознания трех важнейших столетий.

К сожалению, многие из наших марксистов являются далеко не марксистами в смысле осведомленности в области естествознания и его истории. Отсюда получается то, что марксисты эти слабо понимают утверждения Маркса и Энгельса, касающиеся проблем философии естествознания.

Вот почему столь часто приходится читать и слышать самые удивительные искажения «вульгарной и массовидной» истории философии, тесно связанной с историей естествознания, самые удивительные противоречия тому, что писали и думали Маркс и Энгельс. Особенно много недоразумений можно встретить в рассуждениях по вопросу о «механическом» и «метафизическом» материализме. Мы поэтому подробно остановимся на энгельсовской критике механического и метафизического материализма.

2. Энгельсовская критика механического и метафизического материализма.

Энгельс как в «Диалектике природы», так и в других сочинениях критикует «механический материализм». Эта критика вполне понятна, если принять во внимание, что механический материализм сводит все конкретное богатство материи к одной стороне, к одному атрибуту материи, — к протяжению и

перемещению, механическому движению в этом протяжении. Необходимо, однако, заметить, что понятие «механического» имеет часто у Энгельса весьма условный смысл.

Все знают или должны знать, что основоположники марксизма—Маркс и Энгельс—не употребляли обозначений научных дисциплин вне условий пространства и времени. Марксизм и диалектический материализм рассматривают познание как исторический процесс, а потому та механика, о которой часто говорит Энгельс,—это механика XVII-го и XVIII-го столетий, т.-е. определенная историческая ступень в развитии механики. Энгельс называет эту механику «механикой твердых тел (земных и небесных), короче—механикой тяжести». Энгельс указывает, что из всех естественных наук достигла известной законченности в эпоху XVIII века только эта механика. Энгельс, ссылаясь на Декарта, отмечает, что материалисты XVIII века стремились рассматривать все процессы природы по аналогии с процессами в машинах.

Если бы читатели дали себе труд хоть бегло просмотреть некоторые сочинения по естествознанию XVII-го и XVIII-го столетий, то они немедленно поняли бы, в чем дело, т.-е. что обычно разумеет Энгельс под механикой и под сведением всех процессов природы к «механике». Вот как характеризует, например, Гельмгольц («О взаимодействии сил природы») «механическую» тенденцию того времени: «В конце средних веков науки стали быстро развиваться. Между механическими приложениями, с ними связанными, выдвигалась практическая механика, развивавшаяся вместе с механикой теоретической. Но характер ее в то время был весьма отличен от современного. Пользуясь математикой, она делала быстрые успехи и, опьяненная ими, в своем юношеском пылу, не отказывалась братья за решение любой задачи, смело приступала к самым трудным и сложным. Так, например, весьма усердно стали работать над искусственным подражанием живым организмам, животным и людям, в виде так называемых автоматов. Чудами прошлого столетия (т.-е. XVIII века. З. Ц.) считалась утка Вокансона, которая жела, переваривала; его же игрок на флейте, правильно шевеливший пальцами; пишущий мальчик старшего и пианистка младшего Дроза; последняя во время игры следила глазами за пальцами, а по окончании пьесы вежливо кланялась публике. Было бы непостижимо, что люди,

по изобретательности не уступавшие и наиболее выдающимся умам нашего столетия, посвящали столько времени и труда, клали бездну остроумия на устройство этих автоматов,— для нас не более как детских игрушек, если бы они не верили в возможность полного решения задачи. Пишущий мальчик старшего Дроза в Германии еще не так давно показывался публике. Механизм его колес так сложен, что потребовалась бы дюжинная голова для объяснения его устройства.

Но, слушая его рассказ о том, что мальчик и его строитель обвинялись в черной магии, что они долгое время содержались в тюрьме испанской инквизиции и лишь с трудом добились освобождения, становится ясным, что сходства игрушки с человеком было достаточно для того, чтобы явилось подозрение о сверхъестественном ее происхождении. И если те механики, вероятно, и не питали надежды вдунуть в свои создания души, одаренные нравственными совершенствами, то они, как и многие другие, конечно, охотно отказались бы от нравственных совершенств своих слуг с тем, чтобы лишить их и нравственных недостатков, сообщить им исправность механизма.

Таким образом, цель, которую преследовали изобретатели прошлых столетий, была смело намечена; к ней упорно стремились, и на достижение ее была затрачена бездна изобретательности» 1).

Энгельс под «ограниченностью классического французского материализма» часто понимает наивное, антидиалектическое представление о том, что живой, например, организм, представляет собою некое машинообразное сочетание особого рода рычажков, блоков, винтиков, насосов, труб и пр. «деталей машин».

А из многих трактатов по естествознанию того времени совершенно отчетливо видно, что живой организм стремились понимать таким именно образом. Энгельс, как диалектик, прекрасно видел бесконечную сложность природы и сведение всех ее явлений к «механизму» в смысле живущей утки Вокансона

1) Чтобы оценить, как следует, смысл этой характеристики Гельмгольца, необходимо прочесть рассказ Т. Гофмана «Песочный человек». В рассказе изображен некий Натанаэль, влюбляющийся в «дочь» проф. Спаланцани—Олимпию. Эта Олимпия оказывается просто-напросто «живым механизмом», изготовленным Спаланцани.

или пишущих мальчиков Дроза, т.-е. к механике твердых тел, характеризовал как метафизику.

Энгельс обычно употреблял слово механика в его традиционном древнем смысле. «Древние рассматривали механику двояко: как рациональную (умозрительную), развиваемую точными доказательствами, и как практическую. К практической механике относятся все ремесла и производства, именуемые механическими, от которых получила свое название и сама «механика» (Ньютон, «Начала»)».

Действительно, слово механика происходит от греческого слова машина (mechane), и «древними рациональная механика была разработана лишь в учении о пяти машинах—*potentis quinque*—применяемых в ремеслах» (Ньютон): рычаг (*vectis*), ворот (*axis in peritrochio*), блок (*trochlea seu polispastus*), винт (*cochlea*), клин (*cuneus*).

Вот почему Энгельс говорит («Анти-Дюринг»): «Движение есть форма существования материи. Никогда и нигде не было и не могло быть материи без движения.

Движение в мировом пространстве, механическое движение менее значительных масс на отдельных мировых телах, колебание молекул в виде теплоты, электрического или магнетического тока, химическое разложение и соединение, органическая жизнь,—в той или иной форме движения, или нескольких зараз, постоянно пребывает каждый атом мирового вещества в данный момент».

Из этого отрывка видно, что Энгельс различает механику больших, сравнительно, масс, или, как говорят в физике, молярную механику, от механики молекул и атомов, иначе—молекулярно-атомной механики.

Первую Энгельс, согласно традиции, называет механикой, во вторую включает «колебание молекул в виде теплоты, электрического или магнетического тока, химическое разложение и соединение, органическую жизнь,—словом, большинство тех форм движения, в которых «постоянно пребывает каждый отдельный атом мирового вещества, в каждый данный момент».

В чем, однако, смысл того, что Энгельс упорно держится за традиционное понятие механики? Энгельс, как революционер, менее всего склонен был уважать традицию как таковую. Если

Энгельс в данном случае придерживался традиции, то это имело определенный смысл. Смысл этот заключался в критике той идеи, которая лежит в основе «механизма» утки Вокансона и мальчика Дроза. Идея эта в том, чтобы свести проблему жизни и сознания к проблеме пространственного перемещения. А этим, говоря словами Энгельса, «смазывается специфический характер прочих форм движения» и в конечном счете вся проблема, которую имел, без сомнения, в виду Энгельс,—именно проблема «мышления», которое «есть тоже движение» (стр. 143). Энгельс, без сомнения, добивался ответа на вопрос, каким образом возникает в материи «мышление»? Плеханов вслед за цитированным определением существа диалектического материализма ставит именно этот вопрос, указывая, что «материализм вовсе не пытается свести все психические явления к движению материи, как это говорят его противники» (стр. 11). Термин «движение материи» имеет у Плеханова смысл пространственного движения—перемещения. Плеханов отмечает решения указанного вопроса, которые давали различные мыслители—Пристлей, Гольбах, Спиноза, Ламеттри, Дидро, Геккель. Энгельс, повидимому, усматривал решение в законе перехода количества в качество, выражаемом разделением естествознания на молярную механику или собственно механику, физику или механику молекул, химию или физику атомов, биологию или химию белков. Придерживаясь такого разделения, Энгельс хотел этим, как он говорит, выразить переход одной из этих наук в другую и, значит, связь, непрерывность, а также и различие, разрыв между обеими областями» (стр. 143). Но что Энгельс решал вопрос именно в смысле Спинозы, видно из важного отрывка, озаглавленного «Механическое движение» (стр. 27).

«У естествоиспытателей движение всегда принимается как механическое движение, перемещение. Это перешло по наследству из дохимического XVIII столетия и сильно затрудняет ясное понимание вещей. Движение в применении к материи, это—изменение вообще. Из этого же недоразумения вытекает яростное стремление свести все к механическому движению,—уже Грове сильно склонен думать, что прочие свойства материи являются и в конце концов будут сведены к видам движения (стр. 16), чем смазывается специфический характер прочих форм движения. Этим не отрицается вовсе, что каждая из высших форм движения связана всегда необходимым образом

с реальным механическим (внешним или молекулярным) движением, подобно тому, как высшие формы движения производят одновременно и другие виды движения: химическое действие невозможно без изменения температуры и электричества; органическая жизнь невозможна без механических, молекулярных, химических, термических, электрических и т. п. изменений. Но наличие этих побочных форм не исчерпывает существа главной формы в каждом случае. Мы, несомненно, «сведем» когда-нибудь экспериментальным образом мышление к молекулярным и химическим движениям в мозгу; но исчерпывается ли этим сущность мышления»¹⁾?

Эту же мысль Энгельс повторяет многократно²⁾. Тов. Степанов, отмечая выражение Энгельса «о побочных формах», говорит, что эту мысль Энгельса необходимо отвергнуть. Здесь просто недоразумение. Прежде всего, побочные формы не означают у Энгельса «второстепенных форм», как это вытекает из толкования т. Степанова, ибо любая форма движения «необходимым образом» связана со всеми другими. На этой именно необходимости и основано отвержение Энгельсом «жизненной силы», которая является «чем-то внесенным в организм извне, а не присущим ему, неотделимым от него».

Во-вторых, здесь мы имеем то же самое, что в случае термина «механика». Физика и химия, по Энгельсу, — это

¹⁾ Мысль Энгельса можно пояснить следующей аналогией: движение - перемещение аналогично глине, а своеобразие (форма) движения-перемещения—своеобразию (форме) предмета, вылепленного из глины. Совершенно очевидно, что «сущностью» глиняного горшка является не глина, а форма, приданная глине горшечником; точно так же «сущностью» теплового, химического, биологического движений является не движение-перемещение вообще и как таковое, а своеобразие (форма) этого движения-перемещения, что особенно очевидно в случае движений в мозгу.

²⁾ Вот наиболее яркие формулировки. «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» (стр. 231, «Основные формы движения»). «Всякое движение включает в себе механическое движение и перемещение больших и мельчайших частей материи; познать эти механические движения является п е р в о й (подчеркнуто Энгельсом) задачей науки, однако, лишь первой. Само же механическое движение вовсе не исчерпывает движения вообще» (примечание к «Анти-Дюрингу», стр. 143).

«механика молекул» и «физика атомов», т.-е. науки, изучающие вполне определенные, своеобразные формы движения материи. Что «побочные формы» Энгельса не заключают в себе ни атома «витализма», хорошо видно из многократных заявлений Энгельса касательно теплового движения. Теплота—это безусловно своеобразное перемещение молекул, но сущность теплового движения, как такового, в этом именно своеобразии, в той определенности, которая и образует качество теплоты, как таковой.

Энгельс придавал терминам «механика», «физика», «химия» не только субъективное значение, но и объективное.

Механика (в философском смысле) — это наука об общих свойствах всякого движения-перемещения, в ней рассматривается не столько своеобразие движений, сколько их общие свойства. Вот почему механикой *par excellence* является для Энгельса механика тяжести, механика «земных и небесных» масс. Физику можно еще назвать «механикой молекул»,—говорит Энгельс, но уже здесь движение-перемещение, как таковое, отступает на задний план, а выступают специфические формы движений-перемещений. Энгельс и называет «механическую форму» движения, движение-перемещение, как таковое, «побочной формой» по отношению к специфичности физических форм движений-перемещений. Энгельс подчеркивает, что химию, например, уже нерационально называть механикой атомов, ибо этим затушевывается громадная специфичность химической формы движения-перемещения.

Кроме того, Энгельс, без сомнения, имел в виду «атрибут мышления».

Перед Энгельсом стоял вопрос: все явления природы необходимым образом связаны с пространственным перемещением или механическим движением материи; но чем отличается молярно-механическое перемещение от молекулярно-физического, молекулярно физическое—от атомно-химического, химическое—от белкового, порождающего явление жизни и мышления? «Открытие, что теплота представляет собою молекулярное движение, составило эпоху в науке. Но если я не имею ничего другого сказать о тепле, кроме того, что она представляет собою известное перемещение молекул, то лучше мне молчать» (стр. 143). В самом деле, понятие перемещения есть самое широкое по

объему и, следовательно, самое бедное по содержанию понятие. Перемещение имеется везде, и вся задача в том, чтобы наполнить конкретным содержанием это перемещение. Маркс и Энгельс неоднократно протестовали против того, чтобы при помощи «тощих», но «всеобъемлющих понятий» пытаться выразить всю конкретность мира. Весь «Анти-Дюринг» построен именно на этом. Естественно, что в полемических примечаниях к «Анти-Дюрингу» Энгельс перегибает палку ¹⁾ и договаривается до того, что «приходится также рассматривать множество изменений качества, относительно которых совершенно не доказано, что они вызваны количественными изменениями», т.-е. выражает некоторое сомнение в возможности найти количественное соответствие всякому качественному изменению.

Это же сомнение, основанное отчасти на том же «перегибе палки», проглядывает в критике понятия единства материи; однако, заключительная фраза: «но до этого нам еще далеко» (стр. 145) уясняет истинную тенденцию мыслей Энгельса. Вот почему в статье «Общий характер диалектики как науки», не носящей полемического характера, как «Анти-Дюринг» и примечания к нему, Энгельс выдвигает основное положение: «невозможно изменить качества какого-нибудь тела без прибавления или отнимания материи, либо движения его, т.-е. без количественного изменения этого тела». Вот почему Энгельс называет открытие Менделеева научным подвигом и отмечает, что «единство всех форм движения в природе теперь уже не просто философское утверждение, а естественно-научный факт».

Нельзя поэтому согласиться с тов. Степановым, что в указанных фактах заключается известная эволюция взглядов Энгельса, так как «противоречия» встречаются в материалах, относящихся к одной и той же эпохе.

Если в примечаниях к «Анти-Дюрингу» (стр. 145) Энгельс говорит, что «материя как таковая, это—чистое создание мысли и абстракция», а в «Диалектике и естествознании» указывает на первоматерию ²⁾ (стр. 9, 19), идея о которой была выдвинута

¹⁾ Такой полемический «перегиб» очень часто употребляли Маркс и Энгельс. См., например, признание Маркса по поводу «кокетничанья с Гегелем» (К. Маркс, «Капитал». Послесловие ко II-му изданию).

²⁾ Стр. 9: «Causa finalis—материя и присущее ей движение. Эта материя—во все не абстракция и т. д.»

древними греками, а затем Лапласом с его знаменитой туманностью, то здесь только противоречие формы изложения. Известно, как высоко Энгельс ценил теорию Канта — Лапласа (см. старое введение к «Диалектике природы»), а потому действительная тенденция положения Энгельса о материи как абстракции заключается в том, чтобы опровергнуть «одностороннюю математическую точку зрения» количества, на что указывает сам Энгельс. Мы подчеркиваем слово «одностороннюю», так как, согласно Спинозе, протяженность и пространственное, следовательно, движение, перемещение, есть только одна сторона или, по терминологии Спинозы, один из атрибутов бытия, субстанции; другой стороной является «мышление», как внутреннее качество, неотделимо связанное с протяженностью и, следовательно, с перемещением, механическим движением в нем. Если под «мышлением» разуметь «сознание», то возникает вопрос: всякой ли протяженности и пространственному движению соответствует «мышление»?

Как указывает Плеханов, Пристлей и, повидимому, Гольбах полагали, что сознание возникает в движущейся материи лишь в тех случаях, когда она организована известным образом. Спиноза, Ламеттри и Дидро (согласно Плеханову) думали, что материя всегда обладает сознанием, хотя только при известной ее организации сознание достигает сколько-нибудь значительной степени интенсивности.

Согласно Геккелю, сознание в собственном смысле присуще только высокоорганизованной материи. В материи же вообще существует качество, сходное с ощущением. К этой точке зрения примыкают, повидимому, Энгельс¹⁾, а также В. И. Ленин, как это видно из следующего места «Материализма и эмпириокритицизма» (стр. 37): «Материализм в полном согласии с естествознанием берет за первичное данное материю, считая

¹⁾ См. общеизвестное место из «Анти-Дюринга», в котором Энгельс определяет различие между материализмом и идеализмом. Вот, между прочим, авторитетное мнение В. И. Ленина: «Мы уже на примере Дидро видели настоящие взгляды материалистов. Не в том состоят эти взгляды, чтобы выводить ощущения из движения (механического. З. Ц.) материи или сводить к движению материи, а в том, что ощущение признается одним из свойств движущейся материи. Энгельс в этом вопросе стоял на точке зрения Дидро». (Т. X сочин. Ленина, стр. 32).

вторичным сознание, мышление, ощущение, ибо в ясно выраженной форме ощущение связано только с высшими формами материи (органическая материя), и в «фундаменте самого здания материи» можно лишь предположить существование способности, сходной с ощущением.

Таково предположение, например, известного немецкого естествоиспытателя Эрнэста Геккеля, английского биолога Ллойда Моргана и др., не говоря о догадке Дидро, приведенной выше».

Решающее значение для понимания точки зрения Энгельса на разбираемый вопрос имеет следующее место из «Анти-Дюринга» (V. Натурфилософия. Органический мир):

«От механики давления и толчка до связывания ощущений и мыслей идет одна общая единая скала промежуточных ступеней» (Дюринг).

Подобным утверждением г. Дюринг уклоняется от необходимости сказать что-либо определенное о возникновении жизни, хотя, казалось бы, от мыслителя,—проследившего развитие мира вплоть «до самого себе равного состояния» и чувствующего себя, как дома, в таинственных сферах небесных тел,—можно бы было ожидать, что он и об этом вопросе имеет точные сведения. Кроме того, приведенное выше утверждение верно лишь наполовину, поскольку оно не дополнено вышеупомянутой гегелевской узловой линией количественных отношений.

При всей постепенности, переход от одной формы движения к другой всегда остается скачком, решающим поворотом. Таков характер перехода механики небесных тел к механике меньших масс на отдельных небесных телах, или же переход от механики масс к механике молекул, охватывающей движения, которые составляют предмет исследования собственно физики, как: теплота, свет,

Правильность утверждения В. И. Ленина видна из следующих слов Энгельса («Анти-Дюринг», стр. 35—7): «Разве чувствительные растения, свертывающие при самом слабом прикосновении к ним свои листья или свои цветки, разве растения, пожирающие насекомых, разве все они не проявляют хотя бы самого слабого подобия ощущений или хоть расположения к нему? Этого не может отрицать даже г. Дюринг, не прибегая к ненаучной полупоэзии». Энгельс указывает также, что ощущение в собственном смысле слова «не связано необходимо с нервами, но только с известными, доселе не установленными более точно белковыми телами».

электричество, магнетизм; точно так же переход от физики молекул к физике атомов — химии — опять-таки совершается посредством решительного скачка; еще более это имеет место при переходе от обыкновенного химического действия к химизму белковины, являющейся главным элементом органической жизни».

Приведенные Энгельсом примеры «скачков» в «постепенности» (непрерывности) не оставляют никакого сомнения в том, что разумел Энгельс под «скачком», и как он мыслил себе переход от «неорганического» к «органическому».

Что во взглядах Энгельса нет никакого «витализма», видно из того, что он одинаково считает «скачком» переход от «механики небесных тел» к «механике масс на отдельных небесных телах» или же переход от «механики масс к механике молекул» и «переход от «обыкновенного химического действия к химизму белковины».

Точка зрения Энгельса вполне рациональна и представляет собою диалектический синтез непрерывности и прерывности. Сущность этого синтеза лучше всего можно понять детальным рассмотрением процесса перехода молярного движения в молекулярное. Вообразим себе какое-либо молярное движение, например, падение камня под действием силы земного притяжения. Падение тел на земной поверхности является движением вполне определенным. «Качество» этого движения установлено впервые Галилеем в его законе падения тел, «количественное» выражение которого дается формулами:

$$v = gt$$

$$h = \frac{1}{2} gt^2$$

$$E \text{ (энергия)} = F \cdot h = \frac{1}{2} mv^2.$$

При падении камня на землю, его молярное движение переходит в молекулярное. Переход этот совершается «постепенно» (непрерывно) помощью «толчка и трения», т.-е. непрерывного соприкосновения падающего тела с земной поверхностью. Но в этой непрерывности имеется «разрыв», «скачок», сущность которого нетрудно выяснить из сравнительного рассмотрения молярного движения камня и полученного в результате его падения движения молекулярного.

Что молярное и молекулярное движения обладают известным единством и непрерывностью, это Энгельс совершенно

отчетливо устанавливает в следующем положении («Диалектика природы», стр. 199):

« Mv^2 доказано и для газовых молекул благодаря кинетической теории газов. Таким образом, одинаковый закон, как для молярных тел, так и для молекулярных движений. Различие обоих здесь уничтожено».

Но только здесь, т.-е. в смысле количественного выражения энергии молярных и молекулярных масс. Но молекулярное движение как таковое, вообще говоря, качественно отлично от молярного, и в этом именно сущность того «скачка», о котором говорит Энгельс.

Качественное отличие молекулярного движения от молярного устанавливается всей кинетической теорией материи, в частности кинетической теорией газов и теплоты.

Само собою разумеется, что это качественное отличие приводит к отличию количественному: формулы молекулярной механики, имея нечто общее (непрерывность) с формулами механики молярной, вместе с тем отличаются от них в соответствии с качественным своеобразием молекулярных движений. Мы видим, таким образом, что энгельсовское понимание «скачков» вполне рационально и никакого отношения не имеет к какой бы то ни было «мистике» или «витализму».

Для того, чтобы еще резче выявить взгляды Энгельса, мы остановимся на его критике «метафизического материализма». Критика эта показывает, что Энгельс, подчеркивая постоянно различие мировых движений, считал еще более важным подчеркнуть их единство и непрерывность.

«Именно полярные противоположности, — говорит Энгельс в предисловии ко 2-му изданию «Анти-Дюринга», — представлявшиеся непримиримыми, — резко определенные пограничные линии и отличительные признаки классов, — придавали современному теоретическому естествознанию его ограниченный метафизический характер. Признание того, что эти противоположности и различия хотя и существуют в природе, но имеют только относительное значение, и что, напротив, эта их воображаемая резкость и абсолютное значение только привнесены в природу нашей рефлексией, — признание этого составляет центральный пункт диалектического понимания природы». В статье «Общий характер диалектики как науки» Энгельс пишет:

«Развить общий характер диалектики, как науки о связях в противоположность метафизике».

Мы видим таким образом, что центральный пункт отличия диалектики от метафизики Энгельс усматривал в том, что диалектика устанавливает всеобщую связь, единство и непрерывность мировых движений. Эта мысль красной нитью проходит через всю «Диалектику природы», через весь «Анти-Дюринг».

В «Анти-Дюринге» Энгельс дает подробную характеристику «так наз. метафизического образа мышления», противопоставляя его, с указанной точки зрения, диалектическому.

Метафизика рассматривает вещи и их отражения в уме, как «понятия, представляющие собою отдельные, прочные, неподвижные, раз навсегда данные объекты исследования»; диалектика же,—как «понятия в их связи, в их сплетении, в их движении, возникновении и уничтожении».

Энгельс указывает, что «древние греческие философы все были природными естественными диалектиками, и самый универсальный ум среди них — Аристотель — уже исследовал существеннейшие формы диалектического мышления. Напротив того, философия нового времени, хотя и в ней диалектика имела своих блестящих представителей (например, Декарта и Спинозу), все более и более утверждалась (благодаря особенно английскому влиянию) в так называемом метафизическом образе мышления, который также почти исключительно царил и у французов XVIII века, по крайней мере в их специальных философских трудах». Энгельс отмечает «мастерскую диалектику» у Дидро и Руссо. Энгельс уточняет далее эту характеристику: «Вместо господствовавшего, как у французов XVIII в., так и у Гегеля, представления о природе, как о неизменном, движущемся в тесных пределах, целом с вечными мировыми телами, как учил Ньютон, и с неизменными видами органических существ, как учил Линней,—современный материализм признает все главные выводы естествознания, согласно которым природа имеет свою историю во времени».

Приведенные цитаты совершенно отчетливо выясняют действительное отношение Маркса и Энгельса к французскому материализму XVIII века.

Энгельс не считал французский материализм огульно механическим и метафизическим. Эти черты были присущи сильному и господствовавшему течению французского естествознания (и связанной с ним философии), базировавшемуся на ложно понятой и истолкованной «физике» Декарта в узком смысле слова и искаженной, под давлением Бентли-Котса, физике Ньютона.

В самом деле, постольку, поскольку французский материализм исходил от «блестящих диалектиков» Декарта и Спинозы, он был диалектичен. Но дело-то именно в том, — и это многократно подчеркивается Энгельсом, — что блестящие диалектики — Декарт и Спиноза — были в процессе исторической борьбы побеждены английскими метафизиками и теологами, в частности Бэконом, Локком, Бентли-Котсом, при чем последние выступали под маской Ньютона, как мы это подробно доказали в работе «Наука и гипотеза». Для точного понимания сущности и характера французского материализма XVIII века первостепенное значение имеет история борьбы между физикой Декарта и мистифицированной Бентли-Котсом физикой Ньютона. Эту борьбу подчеркивают Маркс и Энгельс в вышецитированной главе «Святого семейства».

Как мы показали в «Науке и гипотезе», Декарт имел точное понятие о развитии мира. Но истинная физика Декарта под давлением метафизики и теологии превратилась в плоскую «механику», утверждавшую, что мир — это машина, построенная Вселенским Часовых дел Мастером. В такой именно форме пропагандировал физику Декарта метафизик Лейбниц.

Метафизический метод Бэкона, философия «золотой середины» Локка, наконец, физика Ньютона — Бентли-Котса с ее «первым толчком», на который столь часто и резко нападает Энгельс, окончательно утвердили господство антидиалектического понимания природы.

Но у лучших представителей французского материализма (например, у Дидро, Ламеттри, Робинэ) можно найти черты истинно картезианской физики и, следовательно, диалектику в смысле Маркса и Энгельса.

Подводя итог, мы можем в следующих словах охарактеризовать точку зрения Маркса и Энгельса:

Мир представляет собою единство и непрерывность движений материи. Но это единство и непрерывность не только не исключают, но, наоборот, предполагают различия, «разрывы

непрерывности», «скачки». Эти последние должны пониматься относительно, т.-е. в рациональном синтезе с непрерывностью, как мы это объяснили выше.

Этот тезис можно выразить еще яснее, если воспользоваться гегелевским определением «скачка»: «Под скачком разумеют качественное различие и изменение, которое является без всякого посредства, в противоположность количественной постепенности которая совершается через посредство промежуточных ступеней» («Малая логика», § 35).

Тщательный анализ понятия качества показывает, действительно, что движение качеств по существу прерывно, в то время как движение количеств по существу непрерывно¹⁾. Вот почему, строго говоря, при непрерывном, например, изменении температуры воды, качество воды изменяется все время «скачкообразно»²⁾. Если же говорят о «скачке» при температуре в 100°, то это потому, что наличие скачка в этот момент выступает с особенной ясностью, ибо качество воды изменяется сразу во многих отношениях (кипение), переходя в качество пара.

Из физики известно, однако, что при так называемом критическом состоянии (для воды—при температуре около 360°) исчезает различие между жидкостью и ее паром, и вещество с таким же правом можно называть жидкостью, как и паром.

Итак, если иметь в виду количественную сторону материи, то—необходимо говорить о непрерывности, если же качественную, то прерывности. Но в материи количество неразрывно связано с качеством, так что всякий материальный процесс представляет собою непрерывную прерывность или прерывистую непрерывность. Такова точка зрения марксизма. В «Диалектике природы» она изложена в своеобразной форме «закона сохранения многокачественности движения».

¹⁾ Этому утверждению не противоречит тот факт, что существуют степени (непрерывность) одного и того же качества, как и разрывность количества (например, целые числа). Характерным для качества является то, именно, что переход от одного качества к другому нельзя мыслить иначе как «прерывным», истинное же количество (протяженность движение-перемещение) возможно мыслить лишь непрерывным.

²⁾ Самый поразительный качественный скачок имеет, например, место при 4°,—вода обнаруживает «аномалию» наибольшей плотности.

3. Закон сохранения качественного многообразия движения или закон сохранения энергии.

Формулировка этого закона такова (см. старое введение к «Диалектике природы»): «Современное естествознание вынуждено было заимствовать у философии положение о неразрушимости движения, без которого оно неспособно более существовать. Но движение материи не сводится к одному только механическому движению, к простому перемещению; движение материи—это также теплота и свет, электрическое и магнитное напряжение, химическое соединение и разложение, жизнь и, наконец, сознание. Говорить, будто материя за все время своего существования имела только один раз, и то на ничтожно короткий по сравнению с вечностью срок,—возможность дифференцировать свое движение и, таким образом, развернуть все богатство этого движения, и что до этого и после этого она навеки обречена довольствоваться простым перемещением,—говорить это—все равно, что утверждать, будто материя смертна, и движение преходяще. Учение о неразрушимости движения надо понимать не только в количественном, но и в качественном смысле.

Материя,—чисто механическое перемещение которой хотя и содержит в себе возможность превращений при благоприятных обстоятельствах в теплоту, электричество, химическое действие, жизнь, но которая не в состоянии породить из самой себя эти условия,—такая материя утратила движение (подчеркнуто Энгельсом); движение, которое потеряло способность превращаться в свойственные ему различные формы, хотя и обладает еще *dynamis* ¹⁾, но не обладает уже энергией и, таким образом, отчасти уничтожено. Но и то и другое немислимо».

Вот еще отрывок из той же статьи, в которой Энгельс прямо употребляет спинозовские понятия субстанции и атрибутов: «мы все же уверены, что материя во всех своих превращениях остается вечно одной и той же (субстанция! З. Ц.), и что ни один из ее атрибутов не может погибнуть».

¹⁾ Силой—потенцией. З. Ц.

Таким образом, Энгельс дополняет высоко ценимый им закон сохранения количества движения Декарта законом сохранения многообразия качеств. Как видно из формулировки, этот закон сохранения многообразия качеств движения есть не что иное, как закон сохранения энергии. Вот почему безусловно прав т. Степанов, отмечая фундаментальное значение, которое придавал Энгельс закону сохранения энергии. Но Энгельс понимал этот закон гораздо шире, чем его обычно понимают; он придавал ему не только количественный смысл, но и качественный; ибо, по Энгельсу, все значение понятия энергии, в отличие от понятия количества движения, заключается именно в том, что энергия есть выражение изменения качества или формы движения, переход одной формы движения в другую.

Вот почему Энгельс возражает против абсолютизации закона энтропии. Согласно этому закону, все многообразие качеств движения должно в конце концов разрешиться в единство тепловой формы движения. Энгельс указывает, что это означало бы исчезновение энергии из мира, ибо тепловое и всякое иное движение, лишенное способности превращаться в другие формы, т.-е. породить многообразие качеств, есть движение, лишенное энергии. Таким образом, закон сохранения энергии, по Энгельсу, является выражением непрерывной превращаемости одного качества движения в другое. В этом именно основной смысл энгельсовского закона движения, который является законом сохранения качественного многообразия качеств движения.

Чтобы понять, как следует, закон Энгельса, необходимо отрешиться от обычного метафизического понятия об энергии, как свойства, которое может быть присуще изолированной части материи. Часть материи обладает энергией постольку, поскольку она связана с другими частями, передавая им или получая от них движение.

Энгельс пишет (стр. 223): «Но что сказать об изменении форм движения или так называемой энергии? Ведь когда мы превращаем теплоту в механическое движение, или наоборот, то здесь качество изменяется, а количество остается тем же самым. Это верно, но относительно изменения формы движения можно сказать то, что говорит

Гейне о пороке: добродетельным может быть каждый про себя, для порока—всегда необходимы два субъекта. Изменение формы движения является всегда процессом, происходящим, по меньшей мере, между двумя телами, из которых одно теряет определенное количество движения такого-то качества (например, теплоту), а другое приобретает соответствующее количество движения такого-то другого качества (механическое движение, электричество, химическое разложение). Следовательно, количество и качество соответствуют здесь друг другу взаимно. До сих пор еще не удалось превратить движение внутри отдельного изолированного тела из одной формы в другую. Здесь речь идет пока только о неорганических телах; этот же самый закон применим к органическим телам ¹⁾, но он происходит при гораздо более запутанных обстоятельствах, и количественное измерение здесь еще и ныне часто невозможно».

Таким образом, суть мысли Энгельса—в том, что для превращения одной формы движения в другую необходимо наличие двух условий: известной качественной организации материи и внешнего превращаемого движения. Для иллюстрации мысли Энгельса невольно напрашивается сравнение с машиной. Для превращения химической энергии угля в механическую недостаточно наличия угля, необходима еще специально организованная паровая машина.

Если говорить об органическом движении, то идея Энгельса хорошо иллюстрируется тем, что говорит академик С. Г. Навашин в своей речи «Единицы жизни» ²⁾: «Ни на одну минуту, однако, биолог не должен упускать из вида обеих реальностей: необходимой для проявления жизни внутренней организации

¹⁾ Основной тезис г. Степанова заключается в том, что закон сохранения энергии безусловно приложим к органическим явлениям. Энгельс, как мы видим, безоговорочно подтверждает основной тезис г. Степанова. Из самого смысла энгельсовского определения энергии видно, что это необходимо должно быть так: понятие энергии, по Энгельсу, выражает превращаемость одной формы движения в другую, следовательно, неорганических форм в органические. Это превращение подчинено закону количественного сохранения.

²⁾ Издание «Северного Печатника»—«Труды Гос. Тимиряз. Научно-Исслед. Института». 1925 г. О биологическом значении понятия «организации» см. также А. Деборин, «Энгельс и диалектика в биологии» («Под Зн. Маркс.», № 9—10).

клетки — ее протоплазмы, и того потока веществ и сил, который протекает через протоплазму».

С. Г. Навашин приводит следующие замечательные примеры, уясняющие его положение.

«Один ревностный химик-физиолог, японец Широ-Таширо, сравнивает жизнь с катящимся велосипедом, который держится вертикально, пока движется, и падает при остановке. Конечно, проще и лучше другой старинный образец — волчок или кубарь; но ни из того, ни из другого примера мы не сделаем такого одностороннего вывода, что жизнь состоит всецело только в движении ¹⁾, что для нее характерно только то, что, будучи прервана, она не возобновляется. Жизнь как непрерывный процесс — это сильно напоминает ту же вечную клетку, от которой мы отказались.

Впрочем, в клетке мы, все же, видим за ее строением механизм, способный к взаимодействию со средой; а это наводит на мысль об опыте разделения обеих сторон жизни. К счастью, такой опыт уже сделан. Известный швейцарский химик Пикте выдерживал споры грибов и бактерий в безвоздушном пространстве при температуре, близкой к абсолютному нулю. При этой ²⁾, как учит нас физика, движение молекул прекращается, а тем более процессы окисления. Споры в этом опыте были как бы задушены, высушены, однако прорастали потом во влажном воздухе, т.-е. остались живы. Никто, рассуждая здраво, не скажет, что в высушенной и замороженной споре жизнь осталась «сидеть», как сидящий сторож в будке. В такой споре, конечно, нет жизни, потому что нет половины ее условий: тепла, кислорода и воды. Мы дадим споре это при опыте проращивания, и жизнь появится вновь, потому что была сохранена другая половина условий (подчеркнуто С. Г.): внутреннее строение, организация протоплазмы споры. При всякой попытке забыть об одной стороне явления мы придем, действительно, к метафизическому представлению о жизни, как о «сущности», не то скрытой в «процессе», не то в «организации». В соединении же обоих лежит полная реальность: некоторый аппарат, находящийся во взаимодействии с внешними силами».

¹⁾ Неудачно выраженная мысль; правильнее было бы говорить об определенной форме движения. Как мы сейчас увидим, факты, приводимые С. Г., говорят именно об этом.

Мы привели этот длинный отрывок потому, что он лучше всего иллюстрирует основную идею Энгельса. Согласно Энгельсу, материя и движение едины, но вместе с тем качественно многообразны ¹⁾.

Закон сохранения многообразия качеств движения утверждает, что эта качественная организация материи создается самой материей; что в известный момент по закону железной необходимости «материальные механизмы» образуются, а в другой момент попадают в условия, при которых происходит то или иное превращение движения, подобно тому, как «механизм» высушенной и замороженной споры или бактерии, попав в тепловую—кислородно-водную среду, превращает неорганическое движение этой среды в органическое ²⁾.

Укажем в заключение, что работы Больцмана по теории теплового движения и в особенности Смолуховского по теории броуновского движения (см. А. К. Тимирязев, «Диалектика природы Энгельса и современная физика». Сборник «Диалектика в природе» № 2) блестящим образом подтвердили энгельсовское понимание энергии и закона сохранения энергии, как закона вечного и бесконечного движения материи.

4. Полемика по поводу «механического материализма».

Не соглашаясь с некоторыми положениями т. Степанова, мы тем не менее считаем, что т. Степанов, по основной тенденции развиваемых им взглядов, стоит в общем на правильной, хотя односторонней точке зрения в характеристике

¹⁾ «Новая атомистика. отличается от всех прежних тем, что она (если не говорить об ослах) не утверждает, будто материя просто дискретна, а что дискретные части являются ступенями (эфирные атомы, химические атомы, массы, небесные тела), различными узловыми точками, обуславливающими различные качественные формы бытия у всеобщей материи, вплоть до нисходящей линии, до потери тяжести и до отталкивания».

²⁾ Энгельс говорит поэтому (стр. 175): «Но здесь мы вынуждены либо обратиться к помощи творца, либо сделать тот вывод, что раскаленный сырой материал для солнечной системы нашего мирового острова возник естественным путем, путем превращений движения, которые присущи от природы движущейся материи, и условия которых должны, следовательно, быть снова произведены материей, хотя бы после миллионов миллионов лет более или менее случайным образом, но с необходимостью, присущей и случаю».

материализма Энгельса. Односторонность т. Степанова в том, что он усиленно подчеркивает и выдвигает физико-химическую сторону явлений, т.-е. атрибут протяженности ¹⁾. Но это, по нашему мнению, происходит не от того, что т. Степанову неизвестен спинозовский характер философии марксизма. Смешно, в самом деле, и нелепо утверждать, что такой старый и заслуженный марксист, как т. Степанов, вернулся к точке зрения Бюхнера-Молешотта, утверждавших, что «мышление»—это некая желчь, порождаемая мозговой железой ²⁾. И если т. Степанов усиленно выдвигает атрибут протяженности, то это происходит потому, что, как опытный общественный деятель, т. Степанов яснее всего видит некоторый нездоровый уклон, который приняла наша философская мысль. Нельзя, в самом деле, не заметить, что у нас больше рассуждают о диалектических категориях («скачках», «узлах», «снятиях» и т. д.), нежели пытаются приложить их к конкретному.

¹⁾ Т. Степанов считает, повидимому, излишним подчеркнуть, что тезис о «сведении» биологических процессов к физико-химическим следует понимать в философском смысле. Это вполне понятно, так как трудно ожидать нелепого обвинения в отождествлении физико-химических процессов неорганической природы с физико-химическими органической. «Свести» биологические процессы к физико-химическим значит выяснить своеобразие, специфичность (форму) физико-химических процессов, лежащих в основе биологических. «Сущностью» биологических процессов является, конечно, это своеобразие (форма) подобно тому, как «сущностью» статуи является не глина (материал, основа), а форма статуи.

²⁾ Что т. Степанов примыкает к традиционно-марксистской точке зрения, видно из его ответа на вопрос Энгельса: «Мы, несомненно, экспериментально «сведем» когда-нибудь мышление к молекулярным и химическим движениям в мозгу, но исчерпывается ли этим сущность мышления? Тов. Степанов отвечает: «в настоящее время мы скажем: да, объективная (подчеркнуто т. Степановым) сторона нервно-мозговых процессов этим исчерпывается. И более того: мы признаем, что эта объективная сторона связана с субъективной стороной необходимою связью, как причина со следствием. Но столь же бесспорно, что между объективной и субъективной сторонами для нас остается перерыв, узловая линия, отделяющая одно качество, физические и химические явления, происходящие в нервно-мозговой системе, от другого качества, от явления сознания. Мы коротко выражаем наличность этого порога,—и в то же время необходимую причинную связь между обеими сторонами,—когда говорим о единстве объективной и субъективной сторон. Этим марксисты достаточно четко отмежевываются от идеализма, и от вульгарного материализма, и от различных форм дуализма».

Здесь налицо опасность возвращения к худшей стороне Гегеля (точнее—к аристотелевскому перипатетизму), ибо Гегель, несмотря на злоупотребления игрой понятий, все же, по правильному замечанию Н. И. Бухарина, «требовал конкретного анализа, без которого тощие абстракции неизбежно начинают хворать, а потом вовсе погибают, за полной ненужностью и для «духа», и для людей, и для самих себя».

Вот это злоупотребление «тощими абстракциями» является, с нашей точки зрения, причиной степановского перегиба палки в сторону физико-химического атрибута материи.

С другой стороны, степановский «перегиб палки» направлен против слишком усиленного подчеркивания «многообразия» природы и забвения ее «единства». Гегель, Маркс и Энгельс безусловно правы, указывая, что естествоиспытатели в своем увлечении «единством» мира часто забывают об его «многообразии». Следует ли, однако, в эпоху господства философии махизма, направленной против единства, забывать об этом единстве и усиленно выпячивать многообразие? Нет, не следует. Диалектик должен всегда твердо помнить как об единстве мира, так и его многообразии. Плеханов, которому пришлось бороться с эмпириокритицизмом, это прекрасно понимал. Тезис Плеханова, что «и химия и биология в конце концов, вероятно, сведутся к молекулярной механике», есть тезис единства. Этот тезис стараются ныне изобразить как «описку». Но так говорить—значит начисто выбросить вон основное положение Плеханова о спинозистской сущности диалектического материализма. С точки зрения тезиса Плеханова, совершенно ясен смысл его замечания. Плеханов, говоря о сведении химии и биологии к механике, (в философском смысле!) имел в виду атрибут протяженности. Что тут нет никакой «описки», видно из непосредственно следующей за вышеприведенными словами фразы, которую критики обычно опускают.

«Но читатель видит, что Энгельс говорит не об этой механике, которой не имели, да и не могли иметь в виду французские материалисты, равно как и Декарт, их учитель, в деле построения «животной машины» ¹⁾».

¹⁾ Из этого замечания Плеханова становится понятным, почему Плеханов в вышеприведенном примечании к Энгельсу употребляет слово «вероятно», на которое сильно нападают критики, чтобы доказать «колебания» Плеханова. Если французские материалисты не имели понятия о

Критикам, вне всякого сомнения, хорошо известен основной тезис Плеханова, а потому совершенно непонятно, почему они говорят о какой-то «описке» Плеханова. Если они несогласны с тезисом Плеханова, они должны откровенно заявить об этом и предложить лучшее решение вопроса, нежели то, которое предложено Плехановым. Ни того, ни другого мы не находим в возражениях критиков. Критики эти очень много говорят о том, что диалектический материализм не покрывается «механикой». Если здесь имеется в виду точка зрения Спинозы, то это верно, но если что-то другое, то остается неясным, что именно. Утверждают, например, что электричество нельзя свести к «механике», а вот оказывается, что Энгельс усматривает «решительный прогресс» в теориях, сводящих электричество к движению эфирных частиц.

«Различные теории различно изображают характер этого движения; теории Максвелла, Ганкеля и Реньяра, примыкая к новейшим исследованиям о вихревом движении, видят в нем—каждая по-своему—тоже вихревое движение. И, таким образом, вихри старого Декарта снова находят почетное место в новых областях знания. Мы здесь не будем вдаваться в рассмотрение подробностей этих теорий. Они сильно отличаются друг от друга и, наверное, испытают еще не одну перемену. Но в лежащей в основе всех их концепции заметен решительный прогресс. Представление о том, что электричество есть воздействующее на материальные молекулы движение частиц, проникающего всю весомую материю, светового эфира, примиряет между собою обе прежние концепции».

Спрашивается, как примирить утверждение Энгельса о «решительном прогрессе»—с той борьбой, которую ведут некоторые из наших диалектиков-материалистов против механики эфира, в частности против вихревой теории электромагнетизма, в основе которой лежит концепция «старого Декарта»?

Мы утверждаем, что это примирение возможно только на основе тезиса Плеханова. Ни один здравомыслящий естествоиспытатель, несмотря на грозные декларации некоторых философов,

«молекулярной механике», то диалектик Плеханов легко мог представить себе, что он не имеет понятия о той механике, к которой будут сведены химия и биология. Таким образом, сомнение и колебание Плеханова имеют совершенно иной смысл, нежели тот, который им стремятся придать критики.

не откажется и не может отказаться от сведения всех явлений к «механике», т.-е. от изучения атрибута протяженности. Это изучение является первой задачей науки, как хорошо говорит Энгельс, и эта первая задача должна решаться. Философы могут и должны вносить корректив, указывая, что «механика», т.-е. пространственное движение, не исчерпывает понятия движения, но этот корректив имеет ясный и определенный смысл только в концепции Спинозы, ибо до сих пор лучшей концепции не было предложено. Если наши философы предлагают нечто лучшее, то это можно только приветствовать. К сожалению, во всех их писаниях мы не сумели открыть это «лучшее», а потому приходится пока оставаться при старом тезисе Плеханова.

Сделаем в заключение одно замечание, касающееся пункта, которому в споре придают большое значение, именно вопроса о том, нужна ли «диалектика как самостоятельная наука»; вопрос этот—чисто схоластический, если его ставить вне условий пространства и времени. Необходимо спросить: нужна ли диалектика как особая дисциплина в данный исторический момент? Да, нужна. Энгельс указал, что от философии, в качестве самостоятельных дисциплин, опирающихся на науку, останутся, пожалуй, логика и диалектика. Если говорить о нашем времени, то это положение бесспорно. При настоящем состоянии научного движения крайне необходимо специальное изучение логико-диалектических основ научного познания. Вся путаница, возбужденная в умах теорией относительности, обусловлена именно тем, что не существует строгого научного, объективного исследования основ науки помощью данных, полученных при исследовании исторического процесса научного познания. Задача философии диалектического материализма—поставить как следует изучение основ познания во всем объеме, как в настоящем, так и в прошедшем. Конечно, нельзя закрывать глаза на опасности, связанные с философией, как самостоятельной дисциплиной, но это уже вопрос другой. Впрочем, разве внутри науки не существует этих опасностей—опасностей отрыва от строго научной почвы? При отсутствии научной философии царит философия антинаучная, даже мистическая, и каждый произвольно вкривь и вкось, без плана и системы, строит системы и системочки. Положение дела таково, что в идеалистически-буржуазном лагере сколько голов, столько

систем, а в лагере материалистов хотя и существует неизмеримо большее единство, но все же не то, которое приличествовало бы духу диалектического материализма. Можно надеяться, что, по мере проникновения знания науки и ее истории в среду философов-материалистов—с одной стороны и понимания смысла и значения философии в среде материалистов-естественников—с другой,—положение дела станет более благоприятным.

II. Диалектика механики.

«Метод восхождения от простейшего к сложному, очевидно, является правильным в научном отношении». (К. Маркс. «Введение в критику политич. экономии»).

«Превращение количества в качество = «механическое мировоззрение»; количественное изменение изменяет качество. Этого никогда не нюхали эти господа!» (Ф. Энгельс. «Заметки. Диалектика природы»).

1. О первой задаче науки.

Если считать вышеизложенное понимание марксистской философии правильным, то действительное отношение Маркса и Энгельса к механическому естествознанию можно формулировать так: механическое естествознание решает первую задачу науки—изучение одного из атрибутов материи,—протяжения и перемещения в нем; наука же в целом, рассматривая оба атрибута материи, дает полное понятие о материи и движении. Необходимо строго отличать обе задачи науки. К сожалению, некоторые диалектики не уясняют себе этого различия и, борясь против «механического естествознания», мешают осуществлению первой задачи научного познания. Так, тов. Тальгеймер определенно путает, когда, критикуя Рея, говорит, что «материалистическая теория в физике выросла за пределы механического движения и достигла более обобщающего понятия о движении; что, следовательно, противопоставляемой парой понятий более не является «идеально» и «механически», но «идеально» и «материалистично»; вообще, что механика является лишь подотделом законов материального движения, тип которого — электродинамического характера».

Здесь с полной наглядностью выступает указанная вредная путаница понятий. Мы видим, что Энгельс называл физику механикой молекул и, лишь в химии усматривая отчетливый

искомый им переход к качеству жизни, считал нерациональным (выражение Энгельса) называть химию только механикой атомов. У Энгельса разделение форм движения означало не борьбу против механического движения, а желание отчетливо уловить внутренне качественное движение ¹⁾. Между тем, т. Тальгеймер, заявляя, что в физике имеется некий «электромагнитный тип» движения,—подотделом которого является механическое движение, — производит только путаницу физического и психического, внешнего и внутреннего атрибутов материи, количества и качества (в спинозовском смысле). Сказать, что механическое движение есть «подотдел» движения «электромагнитного типа», значит или ничего не сказать, или заменить ясное понятие мистикой ²⁾.

Как мы укажем в дальнейшем, «электромагнитный тип движения» — это по преимуществу механическое вихревое движение в эфире ³⁾. Но, будучи механическим, вихревое движение обладает замечательными качествами даже в механическом смысле, т.-е. если понятия качества брать в расширенном гегелевском смысле, как своеобразную определенность.

Обладает ли то механическое движение, которое называют «электромагнитным», внутренним качеством, отличным

¹⁾ Во избежание недоразумений и излишней критики подчеркнем здесь, что понятие качества мы употребляем в двух смыслах: 1) в расширенном гегелевском, как своеобразной определенности всякого конкретного бытия; 2) в узко специальном — спинозовском, как обозначение «психического атрибута» материи. Диалектика механики, как диалектика атрибута протяженности и пространственного движения, имеет, конечно, в виду гегелевское понятие качества. Но так как оба атрибута материи образуют единство, то внешне-качественные изменения, без сомнения, связаны с внутренне-качественными,—«механическая» сложность человеческого мозга связана с «психической» сложностью человеческого мышления.

²⁾ Мы здесь, разумеется, берем понятие «механического движения» в общефилософском смысле. Если под «механикой» разуметь механику, например, тяжести и малых скоростей, а под «электродинамикой» — науку о движении электронов и эфира с неизмеримо большими скоростями, нежели те, которые встречаются в механике малых скоростей, то такого рода «механику» можно назвать подотделом «электродинамики». Мы в специальной работе, посвященной истории максвелловских ур-ий электродинамики, разъясним, почему обычную механику можно считать подотделом электромеханики.

³⁾ См. статью Энгельса «Электричество», стр. 297; соответствующее место мы цитировали выше.

от молярного движения? На этот вопрос научного ответа пока нет; философски можно лишь предполагать, что постольку, поскольку изменяются механическое количество и пространственная форма движения, должно измениться внутреннее качество движения. В чем это изменение заключается, мы пока не знаем, ибо «мертвая материя» нам пока доступна лишь внешне, и мы не в состоянии судить о внутреннем качестве внешней по отношению к нам материи, не представляющей пока никакой аналогии для суждения.

В. И. Ленин указывает («Эмп. и Мат.», стр. 38), что материализму в этом вопросе «на деле остается исследовать и исследовать, каким образом связывается материя, якобы не ощущающая во все, с материей, из тех же атомов (или электронов) составленной и в то же время обладающей ясно выраженной способностью ощущения. Материализм ясно ставит нерешенный еще вопрос и тем толкает к его разрешению, толкает к дальнейшим экспериментальным исследованиям».

Тов. Тальгеймер порицает Ньютона за его «метафизику». Но если бы тов. Тальгеймер дал себе труд открыть первую страницу «Начал», то он увидел бы, что «метафизик» Ньютон за три столетия знал тот «особый тип движения», который тов. Тальгеймер называет «электродинамическим». Ньютон в первом именно определении «Начал» указывает, что он не будет при изложении механики принимать во внимание эфир. Ньютон хотел во втором издании своей книги добавить даже целую главу об электрических и иных действиях, которые, по его мнению, обусловлены действием эфира.

Было бы, действительно, удивительным, если бы фундаментальную диалектическую науку—механику построил метафизик. У Ньютона можно, конечно, найти метафизические уклоны, но в общем и целом — это великий диалектик, подобно всякому крупному естествоиспытателю, проникающему в глубины природы — этого пробного камня диалектики.

Чтобы уяснить мистику «электромагнитного типа движения», мы рассмотрим диалектику механики и покажем, как изменение количеств и форм механического движения вызывает удивительные «качества» — качества в самом общем смысле, как своеобразную определенность бытия. Этим будет показано общее изменение качеств вместе с изменением количеств и, следовательно, тот переход, которого искал Энгельс и ищет диалектика.

Советуем настойчиво г. Тальгеймеру и всем антимеханистам, пользующимся аргументами из идеалистического арсенала, проштудировать работу Дж. Дж. Томсона «Электричество и материя». Из этого подлинного и ценнейшего научного документа они убедятся в том, что нет никаких оснований противопоставлять механику (в общем смысле) электромагнетизму, что не механика—подотдел электромагнетизма, а как раз наоборот.

2. Диалектика основных законов механики: единство в различии, отрицание отрицания, борьба противоречий.

Диалектическую природу механики нетрудно показать, рассмотрев прежде всего три основных закона, установленных Ньютоном ¹⁾.

Обоснование трех законов—глубоко диалектическое. Опыты Галилея над падением тел (все тела падают одинаково в пустоте) привели Ньютона к заключению, что обычная материя представляет собою единство в различии (гипотеза атомизма). Этот диалектический момент был положен Ньютоном в основу определения массы, количества движения и, следовательно, силы ²⁾.

Другие моменты диалектического процесса мы находим в Ньютоновых законах движения (*Leges Motus*).

а) Смысл первого закона движения или закона инерции совпадает со смыслом знаменитого положения Гегеля: бытие и небытие тождественны. В самом деле, закон этот утверждает, что тело пребывает в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения, пока приложенные силы не выведут его из этого состояния. Но как возможен покой или состояние равномерно-прямолинейного движения?

Они возможны прежде всего тогда, когда тело находится в абсолютной изоляции (пустоте) вне взаимодействия сил. Таким образом, покой и равномерно-прямолинейное движение в законе Ньютона—это прежде всего абсолютный покой и абсолютное движение, ибо понятие абсолютного по самому своему смыслу означает: вне зависимости от чего бы то ни было. Закон Ньютона утверждает, что абсолютный покой и абсолютное движение (т.-е. движение равномерно-прямолинейное) тождественны.

¹⁾ Мы не будем уже говорить здесь о том, что само движение в пространстве есть процесс диалектический: это хорошо выяснил Плеханов в предисловии к «Л. Фейербаху» Энгельса.

²⁾ См. нашу работу «Наука и гипотеза», ГИЗ. 1926 г.

В этом заключается так называемый принцип относительности Ньютона: с механической точки зрения все равномерно и прямолинейно движущиеся системы, включая покоящиеся, равноценны. Смысл закона инерции, очевидно, тот же, что и смысл формулы Гегеля: абсолютное небытие тождественно с абсолютным бытием. Ибо абсолютный покой—не что иное, как абсолютное небытие, а равномерно-прямолинейное движение, как движение абсолютно изолированного тела, есть абсолютное бытие.

б) Второй закон движения—не что иное, как отрицание отрицания. Понятие абсолютного покоя и абсолютного движения (равномерно-прямолинейного) получается, подобно понятиям абсолютного бытия и небытия, из разложения, конкретности. Согласно Гегелю, такое разложение представляет собою момент отрицания. Синтез бытия и небытия—это отрицание отрицания. Таким отрицанием отрицания в механике будет второй закон движения: действие силы пропорционально приращению количества движения (моменту); математически:

$$F = \frac{d(mv)}{dt}.$$

В самом деле, сила является как отрицанием покоя, так и равномерно-прямолинейного движения. Результатом действия силы является конкретное движение, т.-е. движение ускоренное, переход от абсолютного покоя (небытия) к абсолютному движению (бытию) и обратно.

Синтез есть возвращение в познанному тезису конкретности. Пройдя через отрицание (абсолютные покой и движение) и отрицание отрицания (действие сил), мы возвращаемся к конкретным, относительным покою и равномерному движению.

в) Третий закон механики—закон действия и противодействия—выражает собою диалектическое возвращение к тезису конкретности ¹⁾.

¹⁾ Если иметь в виду не логический, а физический анализ, то законы Ньютона образуют триаду: первый закон является тезисом (положением), второй закон—антитезисом, так что сила рассматривается как отрицание, и, наконец, третий закон—синтезисом или отрицанием отрицания.

В самом деле, в реальном физическом процессе всякое состояние инерции (покой или равномерно-прямолинейное движение) отрицается действием сил, но всякое такое действие отрицается в свою очередь равным ему противодействием.

В самом деле, закон этот утверждает, что всякому действию есть прямое и равное противодействие. В случае конкретного (относительного) покоя мы имеем равновесие (кинетическое) противодействующих, противоречивых сил. То же равновесие противоречивых сил мы имеем в случае конкретного (относительного) прямолинейно - равномерного движения; приложенная действующая сила равна противодействующим трения, тяжести и т. п.

В случае конкретного равномерного кругового движения мы имеем сложное равновесие центробежно - центростремительных сил, моментов действующей силы и силы трения.

В общем случае ускоренного движения мы имеем непрерывную борьбу противоречий. Эта борьба противоречий формулируется принципом д'Аламбера: в каждый данный момент приложенная действующая сила равна сумме сил инерции (измеряется произведением массы на ускорение) и противодействующих сил трения, тяжести и т. п.).

Когда сила инерции делается равной нулю (ускорение равно нулю), наступает относительное равномерное движение. В случае отсутствия других сил, кроме силы инерции, мы имеем равновесие (кинетическое) между действующей силой и силой инерции ¹⁾.

Формальную характеристику закона действия и противодействия необходимо дополнить важным указанием. Лица, мало знакомые с механикой, обычно полагают, что «механическое равновесие» и борьба противоречивых сил являются чем - то в корне отличным от того, что в диалектике обозначается теми же терминами. Когда Н. И. Бухарин выдвинул в «историческом материализме» теорию общественного равновесия, то она была квалифицирована, как механическая, т.-е. антидиалектическая ²⁾.

¹⁾ Слово «кинетическое» указывает, что, собственно говоря, равновесия в метафизическом смысле не существует. Если книга лежит на столе. то ее равновесие, во-первых, временное и, во-вторых, кинетическое, ибо система: книга—стол—земля имеет другое движение. Об этом см. дальше.

²⁾ Н. И. Бухарин, возражая против этой квалификации и оценивая значение механики, пишет между прочим в «Историческом материализме» (см. 4-е издание. Приложение, стр. 364): «нельзя современную механику прот и в о п о с т а в л я т ь (подчеркнуто Н. И.) диалектике. Если механика недиалектична, т.-е. недиалектично и все движение, то что же остается от диалектики? Наоборот. Д в и ж е н и е составляет, если так можно выразиться, материальную душу диалектического метода и его о б ъ е к т и в н у ю основу».

Причина такого взгляда на механическое равновесие и борьбу противоречий—в том, что общеизвестным является метафизическое искаженное понятие силы.

Пуанкарэ где-то шутиливо замечает, что широкая публика под силами понимает те стрелки, которые фигурируют в учебниках и трактатах. При таком затвердевшем, метафизическом понимании силы—равновесие и борьба противоречий являются не внутренними, как эти понятия мыслятся в диалектике, а внешними, квалифицируемыми, как «механические». В действительности же все тела природы между собою связаны, а потому процессы взаимодействия между телами являются также «внутренними», а равновесие—кинетическим. Мы приведем в дальнейшем несколько примеров, которые выяснят эту важную сторону вопроса. Пока же заметим в общем виде следующее: всякое конкретное тело есть одновременно «бытие в себе и для себя» и «вне себя бытие», т.-е. связано со средой. Вот почему всякое конкретное движение является вполне диалектическим нарастанием противоречий¹⁾. Так, если данное тело обладает известным количеством движения (тезис), то окружающая среда отрицает это движение (антитезис); в результате этого отрицания (синтез) появляются новые формы движения, например, тепло или электричество, порождаемые силами трения, потенциальная форма движения при подъеме тяжелого тела и т. п.

3. Диалектика механики: переход количества в качество²⁾.

Всякий пьяница знает, что количество движения переходит в качество. Чтобы не упасть, пьяница приводит себя в возможно быстрое движение и этим придает некоторую «твердость» своей походке.

Быстро текущая струя воды приобретает твердость и упругость стали: сабля при сильнейшем даже ударе отскакивает от струи, как от стального стержня.

«В Неваде применяют при горных работах струю воды, подобно струе, выходящей из наконечника пожарного шланга,

¹⁾ Мы, конечно, не отрицаем, что борьба противоречий принимает различную форму в зависимости от формы движения, так что нельзя, например, отождествлять противоречие обычного механического движения с противоречием общественного.

²⁾ Рекомендую читателю замечательную книгу Дж. Перри: «Вращающийся волчок», где приведено большое количество примеров, иллюстрирующих диалектическую природу механики.

только гораздо большей силы, и которая может быть также легко пущена в любом направлении: и громадные массы земли и камня дробятся текущей водой, которая по своей твердости напоминает скорее стальной стержень, чем струю воды» (Перри).

Если гибкую цепь или мягкую шляпу привести в быстрое вращательное движение, то они отвердевают и, будучи сброшены на землю, катятся по ней подобно твердым обручам.

Твердость приобретают вращающиеся листы бумаги, холста, шар из мягкой глины. На кораблестроительных заводах быстро вращающимися железными дисками режут сталь. Если привести в быстрое вращение тонкий бумажный круг, то при ударе палкой он будет звучать подобно металлической пластинке.

В самое последнее время благодаря изобретению Флетнера начали применять вращательное движение для получения удивительного эффекта (эффект Магнуса) использования силы ветра для приведения в движение кораблей: установленные на кораблях длинные вращательные цилиндры (похожие на дымовые трубы) вызывают ветряное давление, служащее моторной силой.

С формальной точки зрения диалектика вращательного движения такова: при прямолинейном ускоренном движении мы имеем дело с инертной массой и линейным ускорением; в случаях вращательного движения вместо инертной массы появляется момент инерции (произведение массы на квадрат расстояния от оси вращения), а вместо линейного ускорения—угловое. Соответственно этому вместо силы появляется момент силы.

Момент инерции сравнительно с инертной массой представляет собой новое качество.

В каждом теле имеются три оси вращения, вокруг которых может происходить уравновешенное вращение. Но только вокруг одной оси вращение вполне устойчиво. Подвесим на нити гибкую круглую цепь и приведем цепь во вращение. Сначала цепь вращается вертикально, но через некоторое время она превращается как бы в затвердевшее круглое кольцо, лежащее в горизонтальной плоскости и вращающееся вокруг оси, проходящей через центр кольца, перпендикулярно к его плоскости. Эта ось и является главной осью инерции. Если вращение происходит не вокруг осей инерции, то равновесия нет, и ось вращения приходит в колебательное движение. Прикрепим к краю однородного диска небольшой груз. При вращении нет

равновесия; вследствие чего дрожат втулки, на которых укреплена ось. Уравновешенное вращение имеет величайшее значение в современных быстроходных машинах. Малейший дефект в этом отношении может привести к катастрофе. Перри указывает, что японский профессор Мильн, помещая приборы для измерения землетрясений на машины и поезда, установил, что из двух машин одинакового типа, «из которых одна совершенно уравновешена, а другая—нет, употребляют весьма различное количество угля, совершая один и тот же путь с одной и той же скоростью».

Наиболее поразительное, однако, «качество» вращательного движения заключается в стремлении оси вращения сохранять вполне определенное положение в пространстве.

Если тело вращается на поверхности земли, то направление, которое стремится занять ось вращения, совпадает с направлением оси вращения земного шара, т.-е. ось вращения стремится установиться подобно магнитной стрелке по линии север—юг.

«С чувством смущения и удивления,—пишет Перри,—обыкновенно узнают в первый раз о том, что все вращающиеся вокруг своей оси тела, как, например, маховые колеса паровых машин и т. п., в течение всего времени, пока они находятся в движении, постоянно стремятся повернуть свою ось по направлению к Полярной звезде. Это непрерывное стремление вращающихся тел остается тщетным, хотя они и рвутся со своих подставок к объекту своих стремлений».

Всякая танцующая пара стремится, не ведая того, к Полярной звезде. Вот почему вращающийся волчок употребляется для изготовления компасов.

Пользуясь свойством оси вращения, делались попытки построить однорельсовую железную дорогу. Принцип устройства такой железной дороги представляет собой замечательный пример диалектической природы механики. Вообразим, что на столе находится вращающийся волчок. Если толкнуть его по какому-либо направлению, то ось волчка наклоняется не только по направлению толчка, а также по направлению, перпендикулярному к плоскости, в которой действовала опрокидывающая сила. Такое отклонение оси волчка называется прецессией. Допустим, что вследствие толчка ось наклонилась вперед, а вследствие прецессии—вправо. Если теперь толкнуть волчок дальше

вправо, то вследствие новой прецессии в плоскости, перпендикулярной к плоскости нового толчка, ось будет двигаться назад, т.-е. противоположно направлению нового толчка. Иначе говоря, вторая, добавочная прецессия приводит волчок в положение равновесия.

Эти замечания объясняют следующее описание однорельсового вагона, принадлежащее проф. Донату («Волчок и его будущее в технике»):

«В пробном вагоне Шерловских инженеров установлены приблизительно на уровне пола два волчка с вертикальной осью, вращающиеся в противоположных направлениях. Вагон приводится в движение обычным образом, подобно электрическому трамваю, электродвигателем, так же, как и волчки; число оборотов последних доходит до 8000 в минуту, а вес—до 57 kg. Когда вагон наклоняется, и волчки претерпевают прецессию, то немедленно вступает в действие очень чувствительный механизм добавочной прецессии, который усиливает прецессию и выпрямляет вагон; последний тогда по инерции наклоняется немного в сторону. Там повторяется та же история, и, таким образом, однорельсовый вагон, строго говоря, постоянно колеблется по обе стороны своего вертикального положения, но, конечно, так слабо, что это едва заметно.

Если центр тяжести вагона передвигается, например, от того, что пассажиры входят сбоку, то благодаря этому новому опрокидывающему моменту усиливается как прецессия, так и добавочная прецессия, и вагон наклоняется в другую сторону, пока центр тяжести снова не будет подпираться рельсом. Надо представить себе катящийся по одному рельсу вагон, который вследствие нагрузки на правой стороне наклоняется на левую сторону. Это зрелище совершенно необычно и настолько противоречит всякому опыту, что поразительный эффект его на наивного зрителя приходится назвать прямо колоссальным.

Не мешало бы продемонстрировать противникам «механического естествознания» однорельсовый вагон, который ведет себя «целесообразно», подобно живому существу: при попытке опрокинуть его, вагон наклоняется в противоположную сторону. Недаром дети, наблюдая вращающийся волчок, говорят: он спит.

Перри остроумно замечает, говоря о волчке, заключенном в барабане: «Вам, пожалуй, может показаться, будто в

барабане сидит какое-то невидимое и капризное существо. И, действительно, внутри его находится своего рода одухотворенное существо, которое образованные алгебраисты называют мнимой величиной, а другие математики—оператором ¹⁾.

Таким образом, вращательное движение приводит нас не только к противоречию, но к «абсурдному противоречию» мнимой величины. Ибо «квадратный корень из минус единицы есть не просто противоречие, но даже абсурдное противоречие, действительная бессмыслица. И все же $\sqrt{-1}$ является во многих случаях необходимым результатом правильных математических операций; более того, что было бы с математикой, как низшей, так и высшей, если бы ей было запрещено оперировать с $\sqrt{-1}$?» (Энгельс, «Анти-Дюринг»).

Что было бы с нашими антимеханистами в вагоне однорельсовой железной дороги, если бы из этого вагона, вследствие механической катастрофы, вдруг исчезла бы «мнимая величина», которая придает вагону устойчивость?

Они сделали бы такой диалектический скачок от бытия к небытию, скачок к новому «качеству», который навсегда избавил бы их от тяжелых сомнений насчет диалектической природы механики.

Рассмотрим теперь те движения материи, которые образуют «качество» сил притяжения и отталкивания. Если из какого-либо «источника» жидкость втекает в «сток», то источник и сток взаимно притягиваются. Два источника взаимно

¹⁾ В векториальном анализе вектор вращения изображается отрезком, имеющим направление оси вращения и численно равным удвоенной угловой скорости.

Математически этот вектор изображается в виде суммы трех мнимых величин и называется «вихрем» (curl, rot). Вращательный вектор или вихрь называется также векториальным оператором вектора линейной скорости точки вращающегося тела. Понятие оператора введено Гамильтоном, и обычно говорят об операторе Гамильтона.

Во избежание глупых нападок заметим здесь, что ни сравнение Перри, ни наше указание на «целесообразность» не ставят себе целью «вульгаризацию» жизненных процессов. Эти процессы бесконечно сложнее самой сложной из известных «механических» систем. Но находить единство и сходство в многообразнейших процессах мира—это, с нашей точки зрения, одна из основных задач диалектического материализма. Конечно, не следует забывать различий, но если забывают о единстве, то это, пожалуй, не менее вредно, и не мешает напомнить о нем даже при помощи перегиба палки.

отталкиваются. Явление притяжения наблюдается в следующем любопытном случае: при движении кораблей параллельно друг к другу они притягиваются; явление это объясняется распределением давления при движении жидкости по трубам: параллельные суда как бы образуют трубу, в которой движется жидкость. Физик Бьеркнес установил, далее, следующее замечательное явление: если в жидкости пульсируют два шара, то при одинаковом направлении пульсации шары притягиваются, при различном—отталкиваются.

Вильям Томсон и Фицджеральд придумали следующий опыт: внутри сосуда с водой находится парафиновый шар. Если привести сосуд с водой во вращение, то при погружении в сосуд кружка, укрепленного на палке, кружок и шар взаимно отталкиваются. Если привести кружок в быстрое вращение, то он притягивает парафиновый шар. Вильям Томсон придумал также модель упругих сил. В четырех ветвях шарнирного параллелограмма помещены вращающиеся волчки: растяжение и сжатие прибора вызывают тот же эффект, что растяжение или сжатие стальной пружины или другого упругого тела.

Тот же Томсон при содействии проф. Гэта показал на опыте свойства вихревых колец. Ящик, задняя стенка которого сделана из холста, а передняя снабжена отверстием, наполнен дымом. Если ударять в заднюю стенку ящика, то из отверстия выскакивают дымовые кольца, представляющие собою кольцевые вихри, т.-е. частицы кольца, кроме поступательного движения, имеют вращательное.

Собственно говоря, дым только служит для того, чтобы сделать видимыми вращающиеся частицы воздуха.

И удивительные свойства вихревого кольца проистекают от того именно, что кольцо это является частью относительно простой воздушной среды. Эти свойства таковы: вихревое кольцо двигается так, как-будто оно было твердым телом; во-вторых, кольцо обладает упругостью и при столкновении с другим кольцом может отскакивать подобно резиновому мячу; кольцо может дрожать подобно упругой пластинке; наконец, при известных условиях кольца могут как притягиваться, так и отталкиваться на «расстоянии». Дж. Дж. Томсон изучил, например, притяжение вихревого кольца массой шара, а В. Томсон высказал мысль (теория Ласажа), что всемирное тяготение обусловлено движением ультра-мировых вихревых колец

(атомов), идею, защищаемую также Дж. Дж. Томсоном (см. «Электричество и материя»¹⁾).

Согласно В. Томсону, конкретная материя представляет собою скопление вихревых атомов, и упругие свойства материи обусловлены именно этим обстоятельством. Если признать этот вывод в принципе правильным, то легко понять диалектическую природу закона действия и противодействия, о которой мы упоминали выше. В самом деле, удар упругих тел не будет уже тогда борьбой внешних противоречий, а борьбой противоречий внутренних, имманентных, ибо соударяющиеся шары находятся в непрерывной среде и связаны между собой непрерывно. Точно так же всякое «статическое» равновесие—это равновесие не метафизически внешних сил, а лишь особый момент движения непрерывной среды: при столкновении двух вихревых колец они на мгновение останавливаются (отрицание поступательного движения), при чем среда делится на две области, пограничной поверхностью между которыми служит поверхность соприкосновения колец; по обе стороны границы мы имеем деформированные вихревые кольца. Деформация вызывает силы «упругости», которые приводят кольца в движение по противоположному направлению (отрицание отрицания).

¹⁾ Прекрасное изложение вихревой теории читатель найдет в замечательной книге «Теоретические основы воздухоплавания» Н. Е. Жуковского. В ней приведены многочисленные очень яркие примеры диалектики в механике, из которых отметим два—так называемый парадокс Дюбуа и парадокс Рато. Парадокс Дюбуа заключается в том, что при движении жидкости относительно неподвижной пластинки получается давление в 1,3 раза больше, нежели при движении пластинки с той же скоростью в спокойной воде. Парадокс этот объясняется возникновением вихрей вследствие трения жидкости о стенки канала, в котором жидкость течет. Н. Е. Жуковский построил прибор (находится в Политехническом Музее), наглядно демонстрирующий сущность парадокса Дюбуа. Парадокс Рато заключается в следующем. Когда вода или воздух давят на пластинку, то все силы давления складываются в одной точке, называемой центром давления или центром парусности. Положение этого центра зависит от формы пластинки и направления движения потока (угла атаки). Оказывается, что закон изменения положения центра парусности в зависимости от угла наклона делает при определенном угле скачок. Так, по опытам Рато между углами 30°—40° для одного и того же положения центра парусности, т.-е. положения равновесия, существуют два различных угла наклона!

Еще Максвелл высказал идею, что электромагнитные силовые линии представляют собой вихревые образования в эфире ¹⁾. Благодаря замечательным работам Дж. Дж. Томсона можно с определенностью утверждать, что электромагнитные и световые волны—это или колебание вдоль электрических силовых линий, или же кольца, образованные из этих линий (световые кванты). Не имея возможности говорить здесь подробно об этом замечательном предмете, отсылаем читателя к статье Томсона «Структура света» («Под Знаменем Марксизма», № 12 за 1925 г.). Из этой статьи читатель легко может убедиться, что вихревое движение эфира хорошо объясняет природу света, давая синтез волновой и квантовой теорий ²⁾.

Не стоит, конечно, говорить о том, что колебательное движение воздушной среды образует «качество» звука; что движение молекул и атомов образует «качества» тепла и упругого давления; что разнообразнейшие качества химических веществ объясняются теми или иными движениями и сочетаниями молекул и атомов,—все это ныне общепризнано. Отметим только, что, согласно новейшим взглядам, свойства химических элементов объясняются сочетанием и движением электронов по орбитам. Но что такое электрон? Это частица материи, заряженная электричеством, т.-е. связанная с эфиром посредством вихревой силовой линии.

4. Закон сохранения материи и энергии.

Величайшую убедительность всему вышесказанному придает основной закон естествознания, закон сохранения материи и энергии. Если мировая материя едина, и все качества мира обусловлены различными количествами и формами движения материи, то отсюда с необходимостью вытекает закон сохранения материи и энергии. Мы уже указали, что Энгельс придавал огромное значение закону сохранения энергии, и совершенно очевидно, почему. «Другой результат, которому бы очень

¹⁾ Некоторые полагают, что магнитные силовые линии представляют собою так наз. линии тока, т.-е. линии поступательного движения, в то время как электрические силовые линии—линии вихрей,

²⁾ В 1923 г. появилась работа Dr. Nanning'a: «Kosmische Dynamik», посвященная разработке теории атомов и космологической проблеме на основе теории вихрей. Появление этой работы показывает, что вихревая теория, которую сдали уже было в архив, снова возрождается.

порадовался старик Гегель,—пишет Энгельс Марксу (14 июня 1858 г.),—это соотношение сил в физике, или закон, что при определенных условиях механическое движение, т.-е. механическая сила (например, через трение) превращается в теплоту, теплота—в свет и т. д.». Отметив количественный характер закона, Энгельс заканчивает отрывок следующими словами:

«Бессмысленная теория скрытой теплоты, таким образом, устранена. Не является ли это прекраснейшим материальным примером того, как соотношения растворяются друг в друге?»

О чем тут говорит Энгельс? Что это за бессмысленная теория скрытой теплоты, которая устранена законом сохранения энергии?

Это знаменитая теория теплорода или флогистона, которая, несмотря на убедительные опыты Румфорда и Дэви, еще в 1798—99 г.г. опровергавшие теорию, принималась и проповедывалась всеми физиками вплоть до 1849 г. Лишь благодаря опытам Кольдинга, Джоуля («один англичанин, имя которого я не припомню,» — слова Энгельса из вышеуказанного письма), Реньо, Гирна, было в 1857 г. окончательно установлено, что никакой особой тепловой субстанции не существует, что теплота—особая форма движения материи.

Гrove, Джоуль, Роберт Майер, Гельмгольц выдвинули в то же время общую идею единства мирового движения, т.-е. закон сохранения энергии. Благодаря работам Герапата, Клаузиуса, Максвелла, Больцмана, была строго изучена природа того движения, перемещения (механического!), которое образует явление тепла в газах. И если в других областях физики (например, в области электромагнетизма, оптики) еще твердо не установлены формы, образующие явления этих областей, то всеобщее применение закона сохранения энергии с несомненностью доказывает единство всех форм движения.

Всякому здравомыслящему человеку, не желающему превращать физику в мистику, очевидно, что получение света и электромагнетизма из механического движения (посредством трения, движения динамо и т. п.), связь электромагнетизма, света с теплом, химическими процессами, строгое, наконец, количественное соотношение между различными формами движения основано на единстве всех форм движения.

Почему, однако, необходимо единство движения понимать как движение-перемещение в пространстве («механическое»), а не как движение «электромагнитного типа»? Мы отвечаем: потому что движение-перемещение в пространстве—основная предпосылка объективности в материализме. Существование внешнего мира очевидно всякому здравомыслящему человеку, и «перемещение» в этом внешнем мире—самая ясная, простая и понятная человеческая объективная идея. Вот почему механика, как наука, является одним из сильнейших оплотов материализма,—философии, исходный пункт которой—это «объект»—«внешний мир»; вот почему материализм в своем историческом развитии принял прежде всего форму механического материализма, т.-е. материализма, который центр тяжести усматривает в понятии движения, как перемещения в пространстве и времени протяженной материи.

5. Эволюция и значение механики.

Мы показали выше диалектику механических явлений. Так как наше мышление является отражением бытия, то наука механика должна быть диалектической. Но она сделалась таковой не сразу, а в процессе исторического развития. Современная механика далеко ушла от механики «дохимического XVIII-го века», и это совершенно естественно, ибо механика «однородной материальной точки», т.-е. механика Ньютона, не может в точности совпадать с механикой эфира и электронов. Такие основные понятия механики XVIII-го века, как потенциальная и кинетическая энергия, подверглись коренной трансформации в их математическом и физическом содержании под давлением фактов из новых областей знания ¹⁾. Откладывая изложение эволюции механики до другого раза, заметим, что т. Степанов совершенно правильно выясняет общий вопрос о механической («механистической») картине мира.

«Все качества, — говорит он, — которые мы наблюдаем в природе: механическая сила, теплота, свет, электричество, химическая реакция, все явления, в которых мы видим специфические явления жизни,—все это—лишь «различные формы проявления одного универсального движения». Перерывы даны с самого начала ²⁾, потому что с самого начала

¹⁾ См. приложение II-е.

²⁾ В процессе исторического развития, конечно. З. Ц.

мы видим различия многообразия форм. Основная задача науки заключается не в том, чтобы установить самоочевидное, а в том, чтобы раскрыть связь этих форм между собой и их связь с универсальным движением». А эта связь устанавливается постолько, поскольку науке удастся «свести все виды движения природы к непрерывному процессу превращений из одной формы в другую»¹⁾.

Действительно, диалектика—это синтез прерывности и непрерывности. Но посредственный опыт дает нам прерывность (качество), задача науки—показать также непрерывность мировых процессов. Наука, несмотря на бешеное противодействие сознательных и бессознательных своих врагов, со все большим и большим успехом выполняет эту задачу.

Подчеркнем здесь, что рациональное познание природы прерывностей («узлов», «скачков») не означает их уничтожения как таковых. То, что мы знаем, каким образом вода превращается в пар или лед, не означает отрицания «узловых линий»—вода—пар и вода—лед. Между тем критики т. Степанова изображают дело так, как-будто степановское требование более глубокого познания узловых линий означает отрицание этих линий. Степановские «тоненькие черточки» имеют, как мы полагаем, лишь познавательный смысл. Тов. Деборин указывает, что как бы мы ни познавали «узлы», мы не исчерпаем их до конца. Это замечание верное,—но ведь нигде т. Степанов не утверждает такого «исчерпывания до конца».

Точно так же сведение сложного к простому совершенно не означает отождествления сложного и простого. Не говоря уж о том, что, с точки зрения диалектики, понятия «сложного» и «простого» весьма относительны («сложное» в известном отношении является «простым» и наоборот), сложное обладает качествами, которых нет у простого. Качественное своеобразие сложного приводит к необходимости специальных методов исследования в качественно различных областях знания. Классический пример такой специализации метода дает теория теплоты.

Обычные механические законы продолжают действовать в области тепловых движений, но наряду с ними выступает закономерность иного порядка—статистическая. Эта статистическая

¹⁾ У т. Степанова неясно выражено, что речь может идти только об установлении количественной непрерывности.

закономерность является выражением известного закона диалектики о переходе количества в качество.

При наличии большого количества материальных точек, обычная механическая закономерность, «равнодушная по времени»,—в которой, стало быть, время является чистым количеством,—настолько усложняется и видоизменяется, что в конечном счете превращается в новое качество статистической закономерности, где время выступает уже с определенным знаком. Эта качественная определенность времени диалектична. Процессы природы, как и общества, историчны, т.-е. неповторимы и необратимы. Но эти неповторимость и необратимость подчинены закону диалектики, т.-е. закону восхождения по ступеням сложности. Энгельс поэтому совершенно правильно возражает против метафизической интерпретации закона энтропии, интерпретации, постулирующей в интересах теологии «тепловую смерть вселенной». Эта последняя концепция является насквозь метафизической и теологической и решительно должна быть отвергнута диалектическим материализмом. Вселенная не только не движется к тепловой смерти, но не является круговоротом, как это полагали Спенсер, Ницше и др. Наряду с процессами распада, дезинтеграции во вселенной, существуют процессы усложнения интеграции не в спенсеровском смысле, а в диалектическом, т.-е. процессы вселенной подчинены законам перехода количества в качество, взаимного проникновения противоположностей и отрицания отрицания. Эти законы являются законами живой истории мира: «объективная диалектика царит во всей природе» (Энгельс, «Диалектика природы», стр. 61), а диалектика—это по существу история.

Нетрудно показать то глубокое изменение, которое претерпела «обычная механика», столкнувшись с другой фундаментальной областью современной физики—электродинамикой. Мы на этом останавливаться не будем, процитировав лишь Планка, на которого у нас часто ссылаются. Вот что говорит Планк в статье «О взаимоотношении теорий» (см. том «Физика» серии «Культура будущего»—«Kultur d. Gegenwart», изд. 1925 г.): «таким образом, механика и электродинамика стремятся ныне на основе принципа относительности слиться в одну теорию, которую я буду называть динамикой». Планк заключает свою статью следующими словами: «физическое исследование не может останавливаться, пока с механикой и электродинамикой

не сольется и учение о покоящейся и лучистой теплоте в одну единообразную теорию».

Здесь, конечно, имеется в виду не отрицание многообразия физических процессов, а лишь утверждение единства научного метода и познания. Научный метод и научное познание—едины, но, по прекрасному выражению Л. Д. Троцкого (см. «Менделеев и марксизм»), «у каждой науки свои ключи». Особенно необходимо подчеркнуть это в отношении биологии и обществоведения. «Механистов» часто упрекают в том, что они хотят «свести» жизненные и общественные процессы к движению «простой, однородной, бескачественной материальной точки». Такое утверждение является сплошным методологическим недоразумением. Чем качественно сложнее область изучаемых явлений, тем настоятельнее выступает необходимость специальных методов; тем более механический метод, прилагаемый к исследованию движения-перемещения, отступает на задний план. В биологии физико-химический метод (по существу механический) играет еще громадную роль, но наряду с ним выступает, например, дарвиновский историко-морфологический, посредством которого строится фундамент биологии. Изучать же общественные движения при помощи механики—все равно, что взвешивать фунт яблок при помощи вычислений на основании Ньютоновой теории тяготения. Общественные процессы столь своеобразно сложны, что для их изучения требуется особый метод—метод исторического материализма. Тем не менее, с точки зрения чисто внешней, с точки зрения атрибута протяженности и движения-перемещения, общественные движения являются также механическими, но здесь понятие «перемещения» в самой высокой степени не исчерпывает понятия «движения». Подчеркнем еще раз, что различные научные методы, будучи многообразными, образуют единство метода диалектического материализма. Характеристику этого единства мы дали в работе «Наука и гипотеза», в которой проведена аналогия между методом Ньютона—Кавендиша—Максвелла в физике и методом Маркса—Энгельса в политической экономии.

Остановимся еще на одном вопросе, который часто фигурирует в философских спорах последнего времени. Естествоиспытателей часто упрекают в том, что они занимаются исключительно «анализом» и не желают переходить к «синтезу». Такое утверждение обнаруживает лишь предвзятую слепоту

по отношению к действительному естествознанию. Естествоиспытатели на самом деле именно потому занимаются анализом, что желают придти к синтезу. Если химик разлагает воду на водород и кислород, то для того именно, чтобы знать, как «синтезируется» вода из своих составных элементов. Маркс подчеркивает в «Введении в критику политической экономии», что цель анализа («сведения сложного к простому») в том именно и заключается, чтобы обратно придти к сложной, синтетической действительности, но уже как «к полной и объясненной конкретности».

Мы можем категорически уверить критиков естествознания, что таков именно метод естественных наук. Если бы дело было иначе, естествознание не могло бы обнаружить поразительных успехов в познании и господстве над природой, которые оно обнаружило, и которых никто не сумеет отрицать.

Естествознание уже по одному тому глубоко диалектично, что оно успешно познает природу: марксистский критерий истины—это ведь практика, а кто же посмеет утверждать, что практика не проверила основательно метода естественных наук? Таким образом, если природа, действительно, пробный камень диалектики, естествознание глубоко и по существу диалектично. Вот почему Энгельс советовал не навязывать диалектику природе, а учиться диалектике у природы. Вот почему прямо смешны утверждения о том, что естествоиспытатели не делают синтеза, не знают о том, что вода—это новое качество сравнительно с водородом и кислородом и т. д. Верно лишь то, что диалектика естествоиспытателей в большинстве случаев стихийна и, кроме того, искажена давлением классовых сил. Вот почему очередная задача марксистской философии—сделать стихийную диалектику естествознания сознательной и бороться с классовой идеологией и науках.

6. И т о г и.

Итак, имеются серьезные основания полагать, что разнообразнейшие качества нашего мира объективно обусловлены количествами и формами (качествами) универсального движения-перемещения мировой материи. Конечно, сведение всех мировых процессов к различным формам единого движения единой материи—величайшее торжество материализма. Вот почему схоласты ведут ожесточенную борьбу против «механической»

картины мира. Некоторые наши марксисты им усердно помогают в этом деле. Здесь просто абсурдное недоразумение, причина которого—в весьма слабом знакомстве большинства марксистов с подлинным естествознанием и его историей. Нет спора, изучение философии и истории философии имеет большое значение. Мы меньше всего склонны отрицать значение философии, но необходимо категорически признать, что философия вне связи с наукой есть просто умственное рукоблудие. Все великие философы основательно знали науку своего времени и исходили из нее.

Поэтому прежде, чем говорить о значении механики в физике и философии, необходимо изучить подлинную механику и физику и подлинную историю этих наук, хотя бы в основном. Такое изучение и размышление над элементарными научными фактами с полной очевидностью выявляют объективные основы диалектики природы—универсальное движение-перемещение единой материи, движение, бесконечное разнообразие количеств и форм которого образует бесконечное разнообразие качеств природы. Философское размышление над природой конкретного движения, учет, следовательно, «внутренно качественной» стороны материи—«мышления», приводит к монизму диалектического материализма.

III. Физико-математическая формулировка закона движения Энгельса ¹⁾).

1. Вступительное замечание.

Из опубликованных во втором томе «Архива Маркса—Энгельса» научно-философских эскизов Энгельса под общим названием «Диалектика природы» одним из самых замечательных является эскиз, посвященный двум мерам движения. Здесь Энгельс действительно решил знаменитый спор между Декартом и Лейбницем о двух мерах движения. Энгельс диалектически преодолел этот спор, и решение Энгельса устанавливает его приоритет в открытии закона, который Энгельс называет всеобщим естественным законом движения.

Энгельс вполне прав в том, что вопрос, поставленный Декартом и обсуждавшийся Лейбницем и Кантом, заслуживает самого серьезного внимания, а не д'Аламберовских «заклинаний», как образно выражается Энгельс.

Лейбниц писал о «памятной ошибке Декарта» (*erroris memorabilis Cartesii*). Лица менее авторитетные также многократно говорили об «ошибках» Декарта, но изучение истории физики показало нам, что так называемые «ошибки» Декарта—важные и глубокие истины.

С другой стороны, обширная практика показывает, что мера движения, предложенная Лейбницем (mv^2), имеет весьма

¹⁾ Для ясного понимания нижеследующего и его связи с предыдущим необходимо принять во внимание развитую нами философскую концепцию механики, как науки о формах (качествах) пространственного движения-перемещения. Вот почему мы в последующем определяем понятие энергии число механически, как механическое движение механического движения материи, в соответствии с чем даем количественно-математическую формулировку. Разумеется, определенное таким образом понятие энергии является частным по отношению к более широкому, включающему в себе это частное, энгельсовскому понятию энергии, которое выражает вообще способность движения одной формы превращаться в движение другой формы.

реальные основания. Вот почему необходим синтез обеих мер движения. Этот синтез дан Энгельсом. Мы переведем синтез Энгельса на математический язык и покажем, что синтез этот оправдывается самыми тонкими результатами современной физики.

2. Энгельсовское определение энергии.

Решение д'Аламбером вопроса о двух мерах движения чисто формальное. Количество движения (mv)—это мера (интеграл) движения, рассчитанная по времени, энергия же—мера (интеграл), рассчитанная по пути ¹⁾. Решение это имеет известное значение, устраняя мистику, которую стремятся часто придать понятию энергии, так что Энгельс не совсем прав, нападая на д'Аламбера; но Энгельс безусловно прав в том, что решение д'Аламбера, будучи в высокой степени формальным, не может удовлетворить философски мыслящего человека. Ведь вопрос именно в том, каковы реальные, а не математические основания обеих мер движения. На этот вопрос решение д'Аламбера совершенно не отвечает. На него отвечает синтез Энгельса. Синтез этот выражен в следующем фундаментальном определении («Диалектика природы», стр. 269):

« mv —это механическое движение, измеряемое механическим же движением; $\frac{mv^2}{2}$ —это механическое движение, измеряемое его способностью превращаться в определенное количество другой формы движения».

В этом определении указаны реальные основания понятия энергии. Если взять определение в самом общем виде, то существенный признак (prorgium) понятия энергии заключается в понятии перехода движения от одной части материи к другим. Энергия, стало-быть,—это движение движения материи. До тех пор, пока данная масса m движется со

¹⁾ Математически:

$$K = \int_0^t F dt = \int_0^v \frac{d(mv)}{dt} dt = \int_0^v d(mv) = mv;$$

$$E = \int_0^t F ds = \int_0^v \frac{d(mv)}{dt} ds = \int_0^v d(mv) \cdot v = \frac{1}{2} mv^2.$$

скоростью v , сохраняя свое движение, мы имеем дело с количеством движения (mv); но в тот момент, когда это количество движения передается другим массам, возникает новое реальное явление перехода данного количества движения от данной массы на другие. Это явление перехода имеет свою собственную меру, включающую квадрат скорости (mv^2), как математическое выражение того факта, что здесь мы имеем движение движения. Обозначим количество движения через (mv) , а скорость перехода или распространения—через v_t , тогда математическое выражение определения Энгельса будет дано формулой:

$$E \text{ (энергия)} = (mv) \cdot v_t .$$

Эту формулу, выражающую определение или закон Энгельса, мы будем называть формулой Энгельса.

3. Общее доказательство формулы закона Энгельса ¹⁾.

Пусть в данной среде распространяется некоторое количество движения (mv) со скоростью v_t . Энергия движения будет по Энгельсу: $E = (mv) \cdot v_t$. Вообразим, что наша среда ограничена другой средой, которая поглощает, например, данное количество движения (mv). Если в единицу времени единицей площади поглощается как-раз количество движения (mv), то давление или сила на единицу площади будет (mv) , ибо сила, по определению,—это количество движения, получаемое в единицу времени. Таким образом, чтобы получить величину давления (F), равную (mv) , необходимо энергию $E = (mv) \cdot v_t$ разделить на скорость распространения v_t :

$$F \text{ (давление)} = mv = \frac{(mv) \cdot v_t}{v_t} = \frac{E}{v_t},$$

т.-е. давление численно равно поглощенной единицей площади в единицу времени энергии, деленной на скорость распространения.

В случае отражения движения сила, как известно, в два раза больше:

$$F = 2 mv = \frac{2 E}{v_t}.$$

¹⁾ Из этого «общего доказательства» видно, что мы, собственно говоря, всякое действительное движение рассматриваем как в известном смысле волновое. Эта точка зрения, которую мы высказали еще в 1924 г. (см. «Теория относительности и материализм»), приобрела ныне громкую известность в так наз. волновой механике Брорли-Шредингера.

Приведенные формулы были впервые получены в 1902 г. физиком Рэлеем (Rayleigh) для звукового распространения движения. Альтберг (1903 г.) и Вууд (1905 г.) впервые опытно доказали существование давления звука.

Максвелл в своей электромагнитной теории света дал тот же закон для светового распространения движения. Независимо от Максвелла к тем же отношениям пришел Бартоли (1883 г.). Первый П. Н. Лебедев, а вслед за ним Никольс и Гуль экспериментально доказали существование светового давления для случая лучеиспускания. Аррениус построил на основании факта давления целую космическую теорию образования миров.

Положив в формуле Энгельса $v = vt = c$ — скорости распространения света в эфире, мы получим:

$$E = mc^2.$$

Эта знаменитая формула, как мы видим, прямо вытекает из определения Энгельса. Она, стало быть, выводится также из закона давления света Максвелла-Бартоли:

$$F = \frac{E}{c};$$

сила F в данном случае равна mc , где m — световая масса.

Подчеркнем, однако, что формула Эйнштейна является обобщением нашей формулы. В формуле Эйнштейна $E = Mc^2$, M означает не световую массу, а любую инертную.

4. Определение Энгельса и закон падения тел Галилея.

Если в формуле Энгельса положить $v = v$, а $vt = \frac{v}{2}$.

$$E = \frac{1}{2} mv^2$$

—обычной формуле кинетической энергии. Таким образом, в обычной формуле энергии заключена гипотеза, что скорость распространения данного количества движения (mv) равна половине скорости v , определяющей величину количества движения.

Спрашивается, откуда взято подобного рода предположение? На это отвечает история формулы «живой силы» ($\frac{1}{2} mv^2$). Она родилась вместе с опытами Галилея над падением тел у поверхности земли.

Лейбниц впервые в 1686 г. в знаменитой работе «Brevis demonstratio erroris memorabilis Cartesii» («Acta eruditorum», 1686) показал в противность Декарту на основании закона Галилея, что «живая сила» пропорциональна не скорости (v), а квадрату

скорости (v^2). Более подробно он рассмотрел тот же вопрос в «Specimen dynamicum» (1695 г.). Так возник знаменитый спор между Декартом и Лейбницем. Лейбниц пользовался, однако, формулой $E = mv^2$. Коэффициент ($\frac{1}{2}$) был фактически введен впервые Гюйгенсом в работах «De motu corporum» (1669 г.) и «Horlogium oscillatorium» (1673 г.). Гюйгенс, исследуя движение маятников (так наз. задача определения центра колебания), выдвинул принцип сохранения «живых сил» в форме ($\frac{1}{2}mv^2$). Собственно говоря, Гюйгенс выразил этот принцип в несколько иной форме, так как он не обладал еще ньютоновским (1686 г., «Начала») понятием массы:

$$F = mg,$$

где g — ускорение.

Гюйгенс пользовался понятием неизменной силы F . Сущность выдвинутого Гюйгенсом принципа легко объяснить рассмотрением закона падения тел Галилея, из которого исходил Гюйгенс. Если тело падает с высоты h , то при наличии постоянной силы, т.-е. постоянного ускорения g , скорость и путь определяются, как известно, формулами:

$$\begin{aligned} v &= gt \\ h &= \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2g} v^2. \end{aligned}$$

Помножив обе части второго равенства на постоянную силу F , получаем:

$$F \cdot h = \frac{F}{2g} v^2.$$

В этой именно форме выразил свой принцип Гюйгенс: высота падения или поднятия тяжелого тела h определяется величиной $\frac{F}{2g} v^2$, т.-е. квадратом скорости, умноженным на постоянную $\frac{F}{2g}$. Легко видеть, что здесь перед нами обычная формула кинетической энергии; в самом деле, по Ньютону $\frac{F}{g} = m$, постоянной массе, так что

$$F \cdot h = \frac{1}{2}mv^2.$$

Кориолис первый предложил назвать произведение $F \cdot h$ — работой, а $\frac{1}{2}mv^2$ — живой силой. Беланже (Belanger) предлагал назвать живой силой mv^2 , а $\frac{1}{2}mv^2$ — «живой способностью» (potentia). Ранкином, впервые, кажется, введен был общий тер-

мин «энергия» (потенциальная и кинетическая) для величин Fh и $\frac{1}{2}mv^2$ 1).

Рассмотрим поближе значение коэффициента ($\frac{1}{2}$). Когда тело падает с высоты h , приобретая количество движения (mv), то из формулы падения $h = \frac{1}{2}gt^2$ получается, что $\frac{h}{t} = \frac{1}{2}gt = \frac{1}{2}v$, т.-е. что средняя скорость падения равна половине приобретенной скорости. Иначе говоря, дело происходит так, как-будто количество движения (mv) двигалось в пространстве со средней скоростью $\frac{v}{2}$. Еще яснее верность определения Энгельса выступает, если пользоваться методом дифференциального исчисления: каждый дифференциал количества движения $d(mv)$ движется с соответствующей ему мгновенной скоростью v 2). Интегральный результат 3) дает энергию $(mv) \cdot \frac{v}{2}$.

5. Определение Энгельса и закон всемирного тяготения.

а) Закон изменения гравитационных действий в зависимости от скорости.

Мы получили, таким образом, две формулы, определяющие величину энергии массы m , одну—для движений обычных масс в поле тяжести, другую—для движений световых масс. Из сравнения этих формул можно вывести одно замечательное следствие, именно, что световая масса m эквивалентна массе $2m$ в поле тяжести, иначе—гравитационное

1) Термин энергия для величины $\frac{mv^2}{2}$ был впервые употреблен Кеплером в знаменитом сочинении «*Harmonices mundi*», Libri V (1619 г.) См. Е. Норре, «*Zum Gedächtnis Leonhard Euler*», — «*Physikalische Zeitschrift*», 1907 (стр. 227).

2) Вот общеизвестное вычисление:

$$E = \int_0^t F ds = \int_0^t \frac{d(mv)}{dt} ds = \int_0^v d(mv) \cdot v = \frac{1}{2} mv^2.$$

3) Так как формула $\frac{mv^2}{2}$ выражает интегральный результат передачи движения, то понятие энергии пришлось дополнить понятием мощности, которое учитывает индивидуальное своеобразие передачи движения, принимая во внимание ускорение:

$$M \text{ (мощность)} = \frac{E}{t} = \frac{(mv) \cdot v/2}{t} = (mv) \left(\frac{g}{2} \right), \text{ где } g \text{ (ускорение)} = \frac{v}{t}.$$

поле действует в два раза сильнее на световую массу, нежели на обычную той же величины.

Действительно, для получения из обычной формулы $E = \frac{1}{2}mv^2$, выведенной из наблюдений процессов в полях тяжести, формулы энергии световой массы m , необходимо вместо m взять $2m$.

Чем объяснить подобного рода изменение гравитационных действий? Первое, что приходит на ум, это указание на порядок скорости. Формула $E = \frac{1}{2}mv^2$ — формула малых скоростей, так как те движения в полях тяготения, которые оправдывают эту формулу, чрезвычайно малы сравнительно со скоростью света.

Таким образом, обобщенная формула энергии будет

$$E = \frac{1}{2}kmv^2,$$

где k — коэффициент, зависящий от скорости. Для $v = c$, $k = 2$. Полученный результат указывает на существование закона изменения гравитационной массы в зависимости от скорости. Этот закон можно найти при помощи следующего рассуждения. Пусть гравитационная масса m_g° движется со скоростью v . Энергия в первом приближении равна $E = \frac{1}{2}m_g^{\circ}v^2$. Эта энергия соответствует световой массе

$$m_c = \frac{E}{c^2} = \frac{1}{2}m_g^{\circ} \frac{v^2}{c^2}$$

или удвоенной гравитационной массе $2m_c = m_g^{\circ} \frac{v^2}{c^2}$. Таким образом, увеличение энергии от 0 до $\frac{1}{2}m_g^{\circ}v^2$ приводит к увеличению гравитационной массы на $m_g^{\circ} \frac{v^2}{c^2}$, так что общий закон изменения гравитационной массы со скоростью будет 1):

$$m_g^v = m_g^{\circ} + m_g^{\circ} \frac{v^2}{c^2} = m_g^{\circ} \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right).$$

Эта формула дает возможность вычислить аномалию планетных движений и отклонение света в поле тяжести 2)

1) Подчеркнем, что в нашем выводе существенную роль играет положение о том, что гравитационное значение световой массы эквивалентно удвоенной массе при малых скоростях.

2) См. Приложения (I).

Полученная нами формула в известном смысле тождественна с той, которую Риман вывел в сочинении «Тяжесть, электричество и магнетизм» («Schwere, Elektrizität und Magnetismus». Hannover, 1876, § 97 и сл.) на основании знаменитого закона Вебера ¹⁾.

Но наш способ вычисления на основании формулы отличается от обычного, так как изменение потенциала, которое играет основную роль в вычислении, имеет у нас иной смысл, нежели у Римана, несмотря на формальную тождественность выражений потенциала в зависимости от скорости (об этом см. Приложение).

Диалектик не может, однако, довольствоваться полученным формальным результатом. Так как «истина всегда конкретна», то возникает вопрос: в каких случаях и пределах имеет силу полученная формула? Чтобы ответить на него, необходимо обратиться к рассмотрению вопроса о том, чем объясняется изменение гравитационных действий при наличии скорости, т.-е. вопроса о наиболее общем выражении закона всемирного тяготения.

б) Обобщенное выражение закона всемирного тяготения и объяснение аномалий планетных движений.

Закон всемирного тяготения утверждает, что взаимодействие двух масс M_1 и M_2 выражается соотношением ²⁾:

$$F \text{ (сила)} = k \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2}, \text{ где } k = 6,674 \cdot 10^{-8},$$

если M выражены в граммах, а r — в сантиметрах.

Сила, по Ньютону,— это количество движения, получаемое телом в единицу времени. Пусть сила действовала в течение времени dt .

Соответствующее количество движения будет:

$$F \cdot dt = k \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2} dt.$$

Рассматривая явление по отношению к центру притяжения M_1 , мы должны полагать, что указанное количество движения в течение времени dt прошло расстояние r от центра притяжения, т.-е. что скорость распространения равна $\frac{r}{dt}$.

¹⁾ См. также статью Вихерта в 63 томе «Annalen der Physik» (стр. 314).

²⁾ Мы пока опускаем обычные знаки формул.

По формуле Энгельса, энергия будет ¹⁾:

$$P = F \cdot dt \frac{r}{dt} = k \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2} dt \cdot \frac{r}{dt} = k \frac{M_1 \cdot M_2}{r}.$$

Это и есть обычное выражение функции потенциальной энергии (потенциала) массы M_2 в поле тяжести массы M_1 .

Здесь, как мы видим, скорость распространения принимается пропорциональной расстоянию. Обычно говорят, что в законе Ньютона предполагается мгновенная (бесконечная) скорость передачи, что неправильно, ибо при бесконечном r время dt может быть также бесконечным, т.-е. тяготение может совсем не передаваться. Во всяком случае формула закона тяготения не зависит ни от скоростей, ни от направлений движения, а лишь от масс и расстояний. Если как следует вдуматься в это утверждение, то оно должно показаться одним из самых парадоксальных. Парадоксально действительно физическое безразличие, выражаемое формулами Ньютона,—какова бы ни была скорость, и каково бы ни было направление движения тела, поле тяжести всегда действует одинаковым образом. Этот парадокс привел Эйлера к различению абсолютных сил от относительных.

В XII-м и XIII-м определениях своей механики («Mechanica sive motus scientia analytica expositio», 1736) Эйлер указывает на эти двоякого рода силы. «Абсолютная сила одинаковым образом действует на тело, находится ли последнее в покое или движении.

Тяготение есть сила такого рода: движутся ли тела или покоятся, тяжесть одинаковым образом тянет тела вниз» (Определение XII).

«Относительная сила—это та, которая действует на покоящееся тело иначе, чем на тело в движении. Сила реки, увлекающая тело, есть сила такого рода; чем быстрее движется тело, тем сила реки меньше и совершенно исчезает, когда тело имеет ту же скорость, что и река» (Определение XIII).

Эта метафизика силы тяготения долго считалась и многими до сих пор считается непреложной истиной. Некоторые факты привели, однако, к ее крушению. Эти факты заключаются в аномалиях планетных движений, аномалиях, которые закон Ньютона оказался не в состоянии объяснить. Попытки

¹⁾ Мы опускаем здесь обычную константу, так как при вычислениях, где фигурируют лишь разности энергий, константа выпадает.

рационально объяснить аномалии долго оставались безуспешными, пока в 1898 году молодой немецкий ученый Пауль Гербер, став на физическую точку зрения в рассмотрении действий тяготения, нашел это рациональное объяснение. Основное положение Гербера в том, что скорость распространения действий тяготения конечна, и что, следовательно, сила взаимодействий зависит от скоростей и ускорений.

Мы выведем формулу Гербера при помощи формулы Энгельса. Для того, чтобы понять этот вывод и все вытекающие из него следствия, необходимо обратиться к тому образу релятивной силы (а тяготение оказалось таковой), который дан Эйлером, и который мы привели выше.

Заметим прежде всего, что впервые Риман указал, что закон всемирного тяготения можно объяснить, исходя из представления об «источниках» и «стоках» ¹⁾. Из гидродинамики, действительно, известно, что если жидкость, вытекая из «источника», втекает в «сток», то источник и сток взаимодействуют по определенному закону. Если массу m (плотность) считать мерою «производительности» источника, то легко получить закон всемирного тяготения Ньютона ²⁾. Риман лично полагал, что всякая масса m есть действительно «источник» или «сток», но по отношению к четвертому измерению, при чем Риман определял это измерение, как область «духа».

¹⁾ См. В Riemann: «Gesammelte Werke», S. 503; а также V. Bjerkness, «Die Kraftfelder», § 75. Понятия «источника» и «стока» фигурируют формально во всех курсах векторного анализа и его приложениях, весьма ныне обширных, в физике. Современные формалисты не проявляют, однако, никакого желания узнать физический смысл того факта, что эти понятия встречаются в самых как-будто разнородных областях.

²⁾ Как в тяготении, так и в гидродинамике, электричестве и магнетизме мы имеем общее математическое соотношение:

$$\frac{dFx}{dx} + \frac{dFy}{dy} + \frac{dFz}{dz} = 4 \pi m, \text{ — так наз. закон Лапласа-Пуассона.}$$

В тяготении, электричестве и магнетизме F означает силу, в гидродинамике — скорость; m есть гравитационная, электрическая или магнитная плотность или же (в гидродинамике) «производительность» источника.

Если сила имеет потенциал: $F_x = - \frac{dV}{dx}$ и т. д., а скорость (в гидродинамике) — так наз. «потенциал скоростей», то мы имеем обычное начертание формулы Лапласа-Пуассона:

$$\frac{d^2V}{dx^2} + \frac{d^2V}{dy^2} + \frac{d^2V}{dz^2} = -4 \pi m;$$

Мы воспользуемся гидродинамической моделью Римана лишь в качестве иллюстрации к тем рассуждениям, которые будут приведены ниже. Конечно, тяготеющие массы ничего общего не имеют с гидродинамической системой источников и стоков, за исключением тождества формального закона взаимодействия ¹⁾. Но это формальное тождество дает возможность пользоваться моделью для заключения путем аналогии. В известном, однако, смысле можно говорить, что притягивающая масса есть «источник» того движения, которое получает «сток» притягиваемой массы (см. § 8).

Пусть у нас имеются две взаимодействующие массы M_1 и M_2 (рис. 1): M_1 —источник, M_2 —сток. Будем считать массу M_1 неподвижной, массу M_2 —движущейся со скоростью V_T по тому или иному направлению. Скорость действующего потока энергии обозначим через c . Если массы неподвижны, то на расстоянии r потенциальная энергия (потенциал) будет, по закону Ньютона,

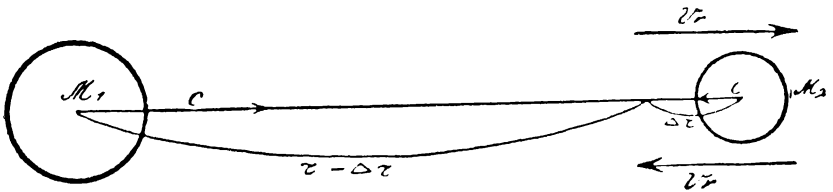


Рис. 1.

$P = \frac{kM_1M_2}{r}$. По закону Энгельса, энергия, обусловленная потоком, движущимся со скоростью c , пропорциональна c^2 , так что

$$P = Kc^2 = \frac{kM_1M_2}{r}.$$

Допустим сначала, что масса M_2 удаляется от массы M_1 . Так как поток, впадая в «сток», изменяет направление действия на обратное, то в этом случае движения «действующего» потока скорости c и массы M_2 скорости V_T прямо противоположны, так что действие тяготения должно усилиться. Чтобы вычислить это действие, необходимо принять во внимание, что формула Ньютона приложима при относительной скорости потока и тела равной c . Так как скорость тела противоположна

¹⁾ Впрочем, русский мыслитель Ярковский (Jarkovski) в книге, изданной в Москве (1888 г.): «Hypothèse cinétique de la Gravitation Universelle», сделал попытку физически обосновать понятия «источника» и «стока» для солнечной системы. См. также § 8.

скорости потока, то, если бы абсолютная скорость потока была не c , а $c - v_r$, относительная скорость равнялась бы как-раз c :

$$(c - v_r) + v_r = c.$$

Следовательно, для применения закона Ньютона необходимо считать скорость потока $c - v_r$. С другой стороны, так как поток употребляет время Δt , чтобы пройти расстояние Δr ($v_r = \frac{\Delta r}{\Delta t}$), так что, производя расчет на основании «статического» значения потенциала, мы должны взять «статическое» значение расстояния, т.е. $r - \Delta r$. По формуле Энгельса «статическое» значение потенциала будет:

$$P_c = K_1 c (c - v_r) = \frac{kM_1 M_2}{r - \Delta r}.$$

или

$$P_c = K_1 c^2 \left(1 - \frac{v_r}{c} \right) = \frac{kM_1 M_2}{r \left(1 - \frac{\Delta r}{r} \right)} = \frac{kM_1 M_2}{r \left(1 - \frac{\Delta r}{c \Delta t} \right)} = \frac{kM_1 M_2}{r \left(1 - \frac{v_r}{c} \right)},$$

откуда для кинетического значения получаем:

$$P_k = K_1 c^2 = \frac{kM_1 M_2}{r \left(1 - \frac{v_r}{c} \right)^2},$$

т.е., при абсолютной скорости распространения c и при скорости движения тела v_r , потенциал зависит не только от массы и расстояния, но и от отношения радиальной скорости движения к скорости распространения действия тяготения.

Тем же путем легко получить формулу при обратном направлении v_r :

$$P = \frac{kM_1 M_2}{r \left(1 + \frac{v_r}{c} \right)^2}.$$

Если v_r очень мало сравнительно со скоростью c , то, пользуясь дифференциальным отношением $v_r = \frac{dr}{dt}$ и разлагая выражения для P по формуле бинома, получаем общую формулу:

$$P = \frac{kM_1 M_2}{r} \left[1 + \frac{2}{c} \left(\frac{dr}{dt} \right) + \frac{3}{c^2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 \right].$$

Полученное выражение не есть, собственно говоря, потенциал в обычном смысле слова, а так называемый эффективный потенциал, однородный по существу с кинетической энергией ¹⁾.

¹⁾ См. Приложение (II).

Чтобы получить из выражения для P величины действующих сил, необходимо пользоваться обобщенными уравнениями Лагранжа, которые дают—

$$F = -\frac{kM_1M_2}{r^2} \left[1 - \frac{3}{c^2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + \frac{6r}{c^2} \frac{d^2r}{dt^2} \right]$$

т.е. сила взаимодействия зависит не только от массы и расстояния, но и скоростей $\left(\frac{dr}{dt} \right)$ и ускорений $\left(\frac{d^2r}{dt^2} \right)$.

Вычисляя при помощи выражения для F аномалии планетных движений, Гербер нашел, пользуясь величиной векового движения перигелия Меркурия,—что скорость распространения действия тяготения равна скорости света c .

в) Диалектика всемирного тяготения.

В случае аномалий планетных движений v_r ничтожно мало сравнительно со скоростью распространения действия тяготения равной скорости света. Представим себе, однако, что $v_r = c$; какова будет в этом случае сила взаимодействия? Если $v_r = c$, то разложение по биному, которое дает выражение для силы F , невозможно. Кроме того, с диалектической точки зрения (переход количества в качество!) очевидно, что при $v_r = c$ явление взаимодействия коренным образом изменяется, а, следовательно, вышеполученное математическое выражение для эффективного потенциала P , верное при малых $|v_r|$, уже неприменимо. Возьмем, например, случай движения масс от центра тяготения. При $v_r = c$, формула Гербера дает:

$$P = \frac{kM_1 M_2}{r \left(1 - \frac{c}{c} \right)^2} = \infty.$$

Тот же самый результат получается в простой формуле Ньютона:

$$P = \frac{kM_1M_2}{r},$$

если $r = 0$.

Каков физический смысл этого результата?

В последнем случае опыт показывает, что возникают силы отталкивания, которые обычно называют силами упругости ¹⁾.

¹⁾ Общеизвестно также, что физики для так наз. частичных сил (напр., сил капиллярности) принимали законы взаимодействия, отличные от Ньютонова.

Иначе говоря, при v_r , стремящемся к нулю, притяжение переходит в свою диалектическую противоположность—отталкивание. Не означает ли того же самая величина $P = \infty$ при $v_r = c$ или что-либо иное?

Для того, чтобы ответить на этот вопрос, мы сделаем следующее предложение: выражение для силы F , объясняющее аномалию планетных движений, является физической формулой, действительной, вообще говоря, и для случая $v_r = c$.

$$\text{Если } v_r = \frac{dr}{dt} = c, \frac{d^2r}{dt^2} = 0$$

и

$$F = -\frac{kM_1M_2}{r^2} \left(1 - \frac{3}{c^2} v^2\right) = +\frac{2kM_1M_2}{r^2},$$

т.-е., при движении массы со скоростью света c , сила притяжения (знак $-$) переходит в силу отталкивания (знак $+$), при чем последняя сила в два раза больше даваемой обычной формулой Ньютона. Но из самой модели, на основании которой выведена формула Гербера, видно, что такой результат может получиться только в случае движения по направлению к источнику тяготения. В случае обратного движения, при достижении частицы скорости c , никакого взаимодействия быть не может, так как относительная скорость потока тяготения и частицы равна нулю. В Приложении I (6) мы показываем, что в случае отрыва световых масс от источников тяготения (например, солнца) дело происходит так, как-будто гравитационное действие не зависит от скорости, а частица, при действии обычной Ньютоновой силы, удаляется в бесконечность. Таким образом, формула $M \frac{v}{g} = \mp M \frac{0}{g} \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right)$ имеет силу только в случае падения к центру тяготения ¹⁾.

¹⁾ Впрочем, если исходить из модели Лесажа - Томсона, о которой мы говорим в дальнейшем, то эта формула может иметь силу для обоих случаев движения, хотя формальный результат в случае движения от центра тяготения получается, при известных предпосылках, тот же, что и в модели Римана.

Об этом см. §§ 7, 8 и приложение I (4). В § 8 мы даем также более строгий вывод формулы Гербера на основании принципа Допплера.

6. Определение Энгельса и отклонение света в поле тяжести солнца.

Самый удивительный результат анализа движения световой массы—это то, что масса эта, отталкиваясь от центра притяжения, движется так, как-будто она притягивается. Мы сейчас дадим объяснение этого удивительного диалектического парадокса.

В приложении I (1) дано вычисление для световой массы на основании формулы увеличения гравитационных действий со скоростью. Как видно из вычисления, оно основано на предположении притягивающего действия центра (употреблены обычные уравнения теории тяготения); исходя из этого же предположения, можно тот же результат получить в очень наглядной и изящной форме при помощи определения Энгельса. Обозначим, как прежде, массы через M_1 и M_2 . Если масса M_2 движется из очень далекого (бесконечного) расстояния со скоростью света c , то ее энергия будет в бесконечности M_2c^2 . При приближении к массе M_1 на расстоянии r , энергия увеличивается на разность потенциалов в бесконечности и на расстоянии r . Так как гравитационное действие на световую массу M_2 эквивалентно действию на массу $2M_2$ в обычной формуле потенциала, то общее выражение потенциала будет $\frac{2kM_1 M_2}{r}$; искомая разность потенциалов

$$\frac{2kM_1 M_2}{r} - \frac{2kM_1 M_2}{r=\infty} = \frac{2kM_1 M_2}{r}.$$

Эта величина будет положительной, так как мы предполагаем притягивающее действие массы M_1 .

Следовательно, полная энергия массы M_2 на расстоянии r равна

$$E = M_2c^2 + \frac{2kM_1 M_2}{r} = M_2c^2 \left(1 + \frac{2k M_1}{c^2 r} \right) = M_2c^2 \left(1 + \frac{2\alpha}{r} \right) = M_2c^2 n,$$

где $\alpha = \frac{kM_1}{c^2}$, так наз. гравитационному радиусу массы M_1

$$n = 1 + \frac{2\alpha}{r}.$$

Напишем выражение для энергии так:

$$E = (M_2c) (cn).$$

По определению Энгельса, это значит, что действие притяжения таково, как-будто скорость распространения с увеличилась в n раз.

Отсюда мы получаем ур-ие

$$V_s = cn,$$

где V_s — означает скорость в данной точке траектории. Это ур-ие вместе с ур-ием Кеплера дает решение задачи 1). Угол отклонения получается равным

$$\varphi = \frac{4\alpha}{R}.$$

где α — гравитационный радиус массы M_1 , R — ближайшее расстояние при прохождении мимо массы M_1 .

Если не принимать во внимание изменения потенциала в зависимости от скорости, то вместо $\frac{2kM_1 M_2}{r}$ необходимо взять $\frac{kM_1 M_2}{r}$; тогда $n = 1 + \frac{\alpha}{r}$, и угол отклонения получается равным

$$\varphi = \frac{2\alpha}{R}.$$

Эта величина впервые получена Сольднером (1801 г.) ²⁾.

Таким образом, рассматривая массу M_2 как обычную массу, подвергающуюся лишь удвоенному гравитационному действию вследствие наличия скорости c , мы получили определенный угол отклонения, оправдываемый наблюдением. Но мы видели выше, что при движении масс по направлению к центру тяготения гравитационное действие не только не должно увеличиваться, но, наоборот, уменьшаться и при очень больших скоростях превратиться в свою противоположность, т.-е. отталкивание.

. Спрашивается, каким образом отталкивание может обусловить явление тождественное с притяжением?

Ответ на этот вопрос очень прост: обычные массы не движутся со скоростью света. Скорость обычных масс очень мала сравнительно со скоростью света. Со скоростью света движется только свет, и лишь скорости электронов приближаются к скорости света; наблюдение, которое дает угол отклонения $\frac{4\alpha}{R}$,

1) См. Приложение I (2).

2) См. Приложение I (1), где показано, как при помощи обычных ур-ий теории тяготения получается искомый угол.

относится к свету, именно к свету, испускаемому звездами. Если это так, то при помощи определения Энгельса легко показать, что отталкивание вызывает тот же угол отклонения, что и вышеуказанное притяжение. В самом деле, при наличии отталкивания частица M_2 потеряет энергию при переходе из бесконечности на расстояние r . Чтобы вычислить эту потерю, возьмем герберовское выражение для силы F :

$$F = \frac{-kM_1M_2}{r^2} \left[1 - \frac{3}{c^2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + \frac{6r}{c^2} \frac{d^2r}{dt^2} \right].$$

В первом приближении можно считать скорость $\frac{dr}{dt}$ — величиной постоянной и равной c — скорости света; третий член исчезает, и мы получаем:

$$F = \frac{-kM_1M_2}{r^2} \left(1 - \frac{3v^2}{c^2} \right) = \frac{+2kM_2M_2}{r^2},$$

где $v = \frac{dr}{dt}$ — постоянная величина скорости c .

Обычный Ньютонів потенциал, соответствующий этому выражению силы, будет:

$$P = \frac{-kM_1M_2}{r} \left(1 - \frac{3v^2}{c^2} \right) = \frac{+2kM_1M_2}{r}.$$

Чтобы найти потерю энергии при переходе из бесконечности на расстояние r , необходимо взять разность потенциалов на бесконечном расстоянии и на расстоянии r .

$$\begin{aligned} e &= \left[\frac{-kM_1M_2}{r} \left(1 - 3\frac{v^2}{c^2} \right) \right]_{r=\infty, v=c} - \left[\frac{-kM_1M_2}{r} \left(1 - 3\frac{v^2}{c^2} \right) \right]_{r=r, v=c} = \\ &= -\frac{2kM_1M_2}{r}, \end{aligned}$$

т.е. происходит действительно потеря энергии (знак минус).

Следовательно, энергия частицы на расстоянии r будет $E = M_2c^2 - \frac{2kM_1M_2}{r} = M_2c^2 \left(1 - \frac{2kM_1}{c^2r} \right) = M_2c^2 \left(1 - \frac{2\alpha}{r} \right) = M_2c^2n_1$,

где $n_1 = 1 - \frac{2\alpha}{r}$.

По определению Энгельса:

$$E = (M_2c) (cn_1),$$

т.е. скорость световой частицы вместо c сделалась cn_1 .

Отношение скоростей света в эфире и в данной среде называется в физике абсолютным показателем преломления среды.

Следовательно, показатель преломления среды поля тяготения на расстоянии r будет:

$$n = \frac{c}{cn_1} = \frac{1}{n_1} = \frac{1}{1 - \frac{2\alpha}{r}} = 1 + \frac{2\alpha}{r},$$

ибо $\alpha (=1,5 \text{ км. для солнца})$ очень мало сравнительно с расстоянием r .

Таким образом, поля тяготения по отношению к свету являются средами с показателем преломления равным $1 + \frac{2\alpha}{r}$,

где α — гравитационный радиус поля.

Теперь перед нами оптическая задача: луч света идет из бесконечного расстояния через среду с показателем преломления $n = 1 + \frac{2\alpha}{r}$; определить полный угол преломления при прохождении на «видимом расстоянии» R от центра среды. Это есть общеизвестная задача рефракции. Ее решение ¹⁾ дает угол

$$\varphi = \frac{4\alpha}{R}.$$

Объяснение указанного парадокса сводится, стало-быть, к следующему.

Если бы масса, движущаяся со скоростью c , была обычной «изолированной материальной массой в пустоте» то вследствие отталкивательного действия поля тяготения и обусловленной при этом потери энергии и скорости при переходе из бесконечности на расстояние r , масса, при прохождении мимо центра притяжения, не только не приближалась бы к нему, но, наоборот, отклонялась бы в сторону под влиянием силы отталкивания. Но так как мы в действительности имеем дело со световой массой в эфире, а свет при уменьшении своей скорости в среде преломляется в сторону больших показателей преломления, то происходит видимое притяжение световой массы. Здесь перед нами блестящий образец диалектики в физике, который мог бы доставить большое удовлетворение самому Гегелю.

Подводя итог, мы видим, что указанное нами увеличение гравитационной массы $M_g^v = M_g^0 \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right)$ в действительности

¹⁾ Это решение мы даем в Приложении I (3).

является изменением, эквивалентным чрезвычайно сложному процессу движения света в гравитационных средах ¹⁾).

7. Определение Энгельса и смещение спектральных линий к красному концу.

При изучении действия тяготения на свет возникает следующий вопрос: какова разница между светом, распространяющимся по поверхности центра притяжения, и тем светом, который, оторвавшись от этой поверхности, воспринимается на далеком расстоянии от гравитационной массы, на которой свет возник? Теория относительности Эйнштейна приводит к заключению, что последнего рода свет должен определенным образом изменять свою частоту, и, следовательно, спектральные линии солнечного, например, света должны быть определенным образом смещены относительно линий света земных источников, распространяющегося по земной поверхности. Мы покажем, что наша теория приводит к тождественным результатам, при чем нет никакой необходимости в тех специальных гипотезах касательно пространства и времени, к которым прибегает Эйнштейн.

Чтобы получить величину смещения спектральных линий, необходимо прежде всего указать на физическое различие между процессом движения света, испускаемого звездой и проходящего мимо солнца, и процессом солнечного лучеиспускания. В первом случае мы имеем световую массу из чуждой системы (звезды), которая, имея на бесконечном расстоянии скорость s , приближается к солнцу, приблизительно сохраняя эту скорость. Вот почему для вычисления величины потери энергии мы берем выражения потенциала для $g = \infty$, $v = s$ и $g = r$, $v = s$.

Во втором случае та масса, которая образует световую массу, сначала находится в покое на поверхности солнца $v = 0$, $g = R$, где R —радиус солнца); приобретя скорость s и оторвавшись от поверхности солнца, масса уходит на далекое (бесконечное) расстояние, где имеет скорость, равную s ($g = \infty$, $v = s$).

¹⁾ Легко видеть, что замена в формуле $P = \frac{-kM_1M_2}{r}$ массы M_2 через $M_2 \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right)$ эквивалентна замене через герберовское значение $M_2 \left(1 - \frac{3v^2}{c^2}\right)$ при $v = s$. Разница получается лишь в знаках: знак минус переходит в плюс, что и означает диалектику гравитационных действий.

Следовательно, для вычисления энергии необходимо взять разность потенциалов для системы значений: $r=R$, $v=0$ и $r=\infty$, $v=c$ ¹⁾.

Это дает:

$$e = \left[\frac{-kM_1M_2}{r} \left(1 - 3\frac{v^2}{c^2} \right) \right]_{r=R, v=0} - \left[\frac{-kM_1M_2}{r} \left(1 - 3\frac{v^2}{c^2} \right) \right]_{r=\infty, v=c} = \\ = \frac{-kM_1M_2}{R},$$

т.е. происходит потеря энергии (знак минус). Если обозначить световую массу через M_2 , то в момент возникновения энергии этой массы будет M_2c^2 , где c —скорость света. При удалении по радиальному направлению в бесконечность происходит потеря энергии, равная $\frac{kM_1M_2}{R}$, следовательно, энергия массы m на бесконечном расстоянии будет:

$$E = M_2c^2 - \frac{kM_1M_2}{R} = M_2c^2 \left(1 - \frac{kM_1}{c^2R} \right) = M_2c^2 \left(1 - \frac{\alpha}{R} \right),$$

где $\alpha = \frac{kM_1}{c^2}$ — гравитационный радиус массы M_1 . Полученный результат можно на основании определения Энгельса истолковать или как изменение скорости распространения, или как изменение количества движения:

$$E = M_1c^2 \left(1 - \frac{\alpha}{R} \right) = (M_2c) \left[c \left(1 - \frac{\alpha}{R} \right) \right] = \left[M_2c \left(1 - \frac{\alpha}{R} \right) \right] (c).$$

Так как мы предположили выше, что скорость света на бесконечном расстоянии равна c ²⁾, остается, следовательно, что действие поля тяготения на световую массу заключается в изменении

1) Таков формальный ход процесса. В Приложении I (4) мы доказываем, что действительное протекание процесса излучения соответствует указанному в тексте результату. Там же мы показываем, как тот же результат получается, если стоять на чисто формальной точке зрения формулы $M_g^v = M_g^0 \left(1 + \frac{v^2}{c^2} \right)$. Эйнштейн шел именно этим формальным путем. Кроме того, тот же результат получается, если исходить из модели механизма тяготения Лесажа-Томсона, при более сложных, однако, предпосылках.

2) Это есть единственно допустимое, с точки зрения нашей модели, предположение: если тяготение «разрывается» в момент достижения скорости распространения c , то иной скорости быть не может уже у самой поверхности источника. Исходя из модели Лесажа-Томсона, мы получаем тот же формальный результат, но в этом случае процесс протекает иначе. Об этом см. приложение I (4).

количества движения. Но количество движения и, следовательно, энергия всякого колебательного движения пропорциональны частоте, так что влияние гравитационного поля на световую массу заключается в изменении частоты. Это изменение легко вычислить, пользуясь знаменитым законом Планка, дающим зависимость световой энергии от частоты: $E = h\nu$, где h —постоянная Планка. Пользуясь этим законом, получаем два равенства:

$$E_1 = M_2 c^2 = h\nu_1$$

$$E_2 = M_2 c^2 \left(1 - \frac{\alpha}{R} \right) = h\nu_2.$$

Первое равенство дает величину частоты до удаления с поверхности гравитационной массы M_1 , второе — после удаления на бесконечное расстояние.

Деля первое равенство на второе, получаем:

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{1}{1 - \frac{\alpha}{R}} = 1 + \frac{\alpha}{R},$$

в виду малости α (1,5 км. для солнца)—гравитационного радиуса сравнительно с геометрическим (в данном случае солнца).

Так как

$$\nu_1 = \frac{c}{\lambda_1}, \quad \nu_2 = \frac{c}{\lambda_2},$$

где λ —длина волны, то

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = 1 + \frac{\alpha}{R} \quad \text{или} \quad \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1} = \frac{\alpha}{R}.$$

В общем виде обозначая $\lambda_2 - \lambda_1 = \Delta\lambda$:

$$\Delta\lambda = \frac{\alpha}{R} \lambda$$

Это и есть закон Эйнштейна для смещения спектральных линий.

Для солнца $\frac{\alpha}{R} = 2 \cdot 10^{-6}$. Средняя величина из 23-х наблюдений различных авторов над смещением спектральных линий получилась равной $1,85 \cdot 10^{-6}$. Для диалектика это несовпадение вполне понятно, ибо абстрактное рассмотрение явления, к которому вынуждена прибегать всякая теория, не может дать

точного изображения столь сложного явления, как солнечное лучеиспускание ¹⁾).

Укажем в заключение, что из данного нами анализа видно, что движение световой массы от центра притяжения происходит так, как-будто масса эта «разрывает» силы притяжения, потеряв при этом потенциальную энергию $\frac{kM_1M_2}{R}$, которую эта масса имела на поверхности.

8. Определение Энгельса и основы световой механики. Эффект Допплера. Эффект Комптона. Формула Эйнштейна—Френеля—Физо. Соотношение: $K=p^2$.

а) Основы световой механики.

Самое существенное в энгельсовском определении энергии— это выделение картезианского понятия количества движения. Понимание энергии как движения количества движения бросает яркий свет на важнейшие проблемы физики. Такое понимание в связи с законами сохранения количества движения и энергии (живой силы) образует мощное орудие физического анализа. В частности, закон сохранения энергии становится естественным дополнением закона сохранения количества движения. Если количества движения до и после взаимодействия обозначить через \overline{MV} , \overline{mv} и \overline{MV}_1 , \overline{mv}_1 , соответствующие скорости распространения—через C , c и C_1 , c_1 ,— то законы эти утверждают, что:

$$\overline{MV} + \overline{mv} = \overline{MV}_1 + \overline{mv}_1$$

$$(\overline{MV})C + (\overline{mv})c = (\overline{MV}_1)C_1 + (\overline{mv}_1)c_1.$$

Черточки над выражениями количеств движения показывают, что это величины векториальные (направленные), т.е. действия над ними подчиняются законам геометрических действий. Выраженный в такой форме закон сохранения энергии приобретает чрезвычайно важную физическую наглядность, обнаруживая те реальные физические элементы, которые образуют состав закона.

Расчлененное, таким образом, понятие энергии может служить основой световой механики. Для ее построения необходимо принять во внимание современное воззрение на природу

¹⁾ См. статью В. Фесенкова в «Вестнике Комм. Академии», № 13, в которой очень хорошо выявлена сложность действительных процессов, абстрактно рассмотренных в этой работе.

света. Согласно Дж. Дж. Томсону ¹⁾, свет представляет собою вихревое электромагнитное кольцо, чрезвычайно малых размеров, окруженное электромагнитными волнами «максвелловского типа». Для волн очень большой частоты (Рентгеновы и гамма-лучи) можно считать, что световая энергия всецело заключена в кольце, так что получаются световые корпускулы. Еще В. Томсон показал ²⁾, что вихревое кольцо можно рассматривать, как настоящий упругий атом; следовательно, к световым атомам можно приложить метод Ньютона, который построил свою механику на понятии атома в связи с явлением тяготения ³⁾. Мы и применим метод Ньютона для формулировки основ световой механики. Сущность этого метода, как мы показали в работе «Наука и гипотеза», в том, что Ньютон из закона падения тел извлек предварительно понятие атома материи. Эту работу в области световой механики выполнила современная теория света, обосновав понятие светового атома. Практически измерение Ньютоновой массы сводится к измерению веса, т.-е. ускорения в полях тяжести. Точно так же практическое измерение световой массы сводится к измерению частоты. В самом деле, согласно закону Энгельса, световая масса m_e определяется соотношением

$$m_e = \frac{E}{c^2}.$$

Согласно же закону Планка

$$E = h\nu.$$

Следовательно,

$$m_e = \frac{h\nu}{c^2}.$$

Установив понятие массы, Ньютон, пользуясь картезианским понятием количества движения (mv), формулировал основной закон движения (Lex II): «Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует». Математически:

$$F = \frac{d(mv)}{dt}.$$

¹⁾ См. «Структура света»,—«Под знаменем марксизма», № 11—12, 1925 год.

²⁾ См. В. Томсон: «Вихревой атом»,—«Под знаменем марксизма», № 10—11, 1924 г.

³⁾ См. нашу работу «Наука и гипотеза».

Определение энергии Энгельса дает возможность строгого определения понятия количества движения для световой массы. Согласно Энгельсу,

$$E \doteq (m_0 c) \cdot c, \text{ откуда } m_0 c = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c}.$$

Пользуясь законом Ньютона, имеем:

$$F = \frac{d(m_0 c)}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{h\nu}{c} \right) = \frac{h}{c} \frac{d\nu}{dt} = m \frac{d\nu}{dt},$$

где $m = \frac{h}{c}$ (с считается константой). Мы видим, таким образом, что в световой механике роль постоянной Ньютоновой массы играет постоянная величина $\frac{h}{c}$ (фиктивная световая масса), а роль скорости—частота ν (фиктивная скорость). Пользуясь этими определениями, можно применить выводы Ньютоновой механики к рассмотрению явлений света. Легко, например, получить, пользуясь выражением для силы F , формулы смещения спектральных линий и отклонения лучей в поле тяжести. При этом необходимо, однако, иметь в виду диалектику гравитационных действий, непосредственно вытекающую из энгельсовского определения энергии. Мы видели выше, что действие силы тяжести на световую массу иное, нежели на массу малой скорости, при чем действие это зависит также от направления движения в поле тяжести. Непринятие во внимание этих обстоятельств ведет к неправильным результатам ¹⁾.

Мы займемся рассмотрением некоторых замечательных эффектов световой механики, именно эффектов Допплера, Комптона и Френеля—Физо. Прилагая к ним основные законы сохранения количеств движения и энергии (в энгельсовской форме),

¹⁾ Указанной формулой пользуется К. Шапошников («Zeitschrift für Physik», 1926, т. 36, 1): получив для отклонения лучей формулу Сольднера, Шапошников пытается защитить ее ссылкой на работы Гоппмана, пользующегося гипотезой Курвуазье. Не говоря уж о том, что гипотеза Курвуазье вызывает большие затруднения (при наличии столь плотной атмосферы вокруг солнца, как это вытекает из гипотезы Курвуазье, длина года должна была бы уменьшаться на несколько дней в столетие), Шапошников не обнаруживает понимания методологии доказательств, особенно важной, если мы имеем дело со столь тонкими явлениями, как отклонение лучей. Удивительно то, что этому автору не приходит в голову мысль о недопустимости полного отождествления световой массы с обычной, отождествления, лежащего в основе формулы Сольднера. Знание диалектики, несомненно, направило бы Шапошникова и ему подобных на более правильный путь.

мы, наряду с обозначениями действительных масс m_e и скоростей v , будем пользоваться вышеуказанными обозначениями масс и скоростей фиктивных. Напомним существующие здесь отношения:

$$m_e = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{m}{c}v; \quad m_e c = m\nu.$$

б) Эффект Допплера.

Эффект Допплера заключается в том, что скорость и направление движения источника волновых движений влияют на частоту.

Формулу эффекта Допплера можно очень просто вывести следующим образом:

Обозначим через v скорость испускающего свет тела, через α —угол между направлением скорости v и направлением лучей (см. рис. 2):

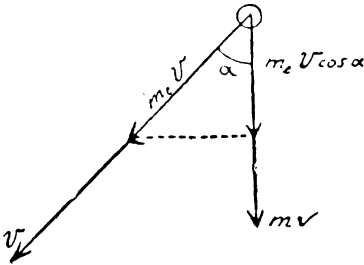


Рис. 2.

Обозначим далее через $m\nu = \frac{h}{c} \nu; = m_e c$ количество движения световой кванты (вихревого кольца), испускаемой неподвижным источником.

Движение тела со скоростью v сообщает действительной массе кванты m_e количество движения $m_e v$ по направлению $+v$ и, стало быть, $\pm m_e v \cos \alpha$ по направлению движения кванты.

Таким образом, полное количество движения кванты будет $m\nu \pm m_e v \cos \alpha$. Если результирующее количество движения кванты есть $m\nu_1$, то

$$m\nu \pm m_e v \cos \alpha = m\nu_1.$$

Но $m = \frac{h}{c}$, $m_e = \frac{h\nu}{c^2}$, стало быть,

$$\frac{h\nu}{c} \pm \frac{h\nu}{c^2} v \cos \alpha = \frac{h\nu_1}{c}$$

$$\nu \left(1 \pm \frac{v}{c} \cos \alpha \right) = \nu_1 \quad \text{или} \quad \frac{\nu_1}{\nu} = 1 \pm \frac{v}{c} \cos \alpha$$

$$\frac{\nu_1 - \nu}{\nu} = \frac{\Delta \nu}{\nu} = \pm \frac{v}{c} \cos \alpha.$$

Это и есть формула эффекта Допплера.

Более строгий вывод можно получить так ¹⁾. Рассмотрим излучающий атом массы M . Если атом неподвижен, то излучение световой кванты определяется законом Бора:

$$E - E_1 = (mv) \cdot c = h\nu \dots (1),$$

где E и E_1 — энергия атома до и после излучения. Пусть излучающий атом движется со скоростью v . Излучая энергию $(mv_1) c = h\nu_1$, атом, согласно закону действия и противодействия, изменяет свою скорость в v_1 , так что если энергия атома до излучения была ²⁾ $E + \frac{Mv^2}{2}$, то после излучения она сделалась $E_1 + \frac{Mv_1^2}{2} + h\nu_1$. Согласно закону сохранения энергии, имеем:

$$E + \frac{Mv^2}{2} = E_1 + \frac{Mv_1^2}{2} + h\nu_1 \dots (2);$$

или, пользуясь ур-ием (1):

$$E - E_1 + M \frac{v + v_1}{2} (v - v_1) = h\nu + Mv\Delta v = h\nu_1,$$

так как, вследствие малости разности $v - v_1$, величина $\frac{v + v_1}{2}$ приблизительно равна v .

Отсюда

$$h(v - v_1) = h\Delta v = Mv\Delta v \dots (3).$$

По закону сохранения количества движения, испускание кванты mv_1 сопровождается «отдачей», т.е. приобретением испускающим атомом обратного по знаку количества движения; следовательно, результирующая Mv_1 равна геометрической сумме Mv и $-mv_1$ (см. рис. 3). В первом приближении будем считать, что $mv_1 = mv$. Проектируя mv и Mv_1 на Mv , получаем:

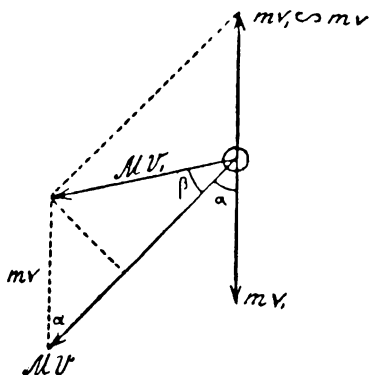


Рис. 3.

$$Mv = mv \cos\alpha + Mv_1 \cos\beta = mv \cos\alpha + Mv_1, \text{ в виду малости}$$

¹⁾ См. Зоммерфельд, «Строение атома».

²⁾ v , разумеется, мало сравнительно со скоростью c , так что мы употребляем обычную формулу кинетической энергии для массы M .

угла β , определяющего влияние излучения на направление скорости v . Отсюда

$$M(v - v_1) = M\Delta v = mv\cos\alpha = \frac{h\nu}{c}\cos\alpha, \text{ так как } m = \frac{h}{c}.$$

Это ур-ие в связи с ур-ием (3) дает:

$$v \cdot \frac{h\nu}{c}\cos\alpha = h\Delta v \text{ или}$$

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{v}{c}\cos\alpha.$$

в) Эффект Комптона.

Сущность эффекта Комптона в следующем. Если жесткие Рентгеновы лучи, т.-е. такие, которые с наибольшим правом можно считать состоящими из корпускул, падают на рассеивающую поверхность, то вторичные рассеянные лучи обнаруживают «сдвиг частоты» по отношению к первичным. Обозначим угол рассеяния через α , через $mv = \frac{h}{c}v$, $mv_1 = \frac{h}{c}v_1$ и Mv соответственно количества движения падающей кванты, отраженной и атома, вследствие столкновения с которым и получается отражение квантового атома—кольца.

Эти три количества движения, очевидно, образуют Δ -ик (см. рис. 4):

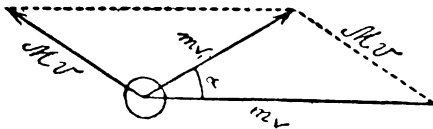


Рис. 4.

Из общеизвестной тригонометрической формулы имеем:

$$M^2v^2 = m^2v^2 + m^2v_1^2 - 2m^2vv_1\cos\alpha \dots \dots \dots (1).$$

С другой стороны, по закону сохранения энергии:

$$mvc = mv_1c + \frac{M}{2}v^2 \text{ или } 2mc(v - v_1) = 2mc\Delta v = Mv^2.$$

Подставляя эту величину в ур-ие (1), получаем

$$2Mmc\Delta v = m^2v^2 \left(1 + \frac{v_1^2}{v^2} - 2\frac{v_1}{v}\cos\alpha \right) \dots \dots \dots (2).$$

Вследствие малости, разность $\nu - \nu_1 = \Delta\nu$, величина $1 - \frac{\nu_1}{\nu} = 0$, следовательно, $\left(1 - \frac{\nu_1}{\nu}\right)^2 = 0$, откуда $1 + \frac{\nu_1^2}{\nu^2} = 2 \frac{\nu_1}{\nu}$, так что ур-ие (2) принимает вид:

$$2Mmc\Delta\nu = 2m^2\nu\nu_1 (1 - \cos\alpha),$$

откуда

$$\frac{\Delta\nu}{\nu\nu_1} = \frac{m}{Mc} (1 - \cos\alpha); \text{ заменяя } m \text{ через } \frac{h}{c}, \text{ а } (1 - \cos\alpha) \text{ — через } 2\sin^2 \frac{\alpha}{2}, \text{ получаем окончательно:}$$

$$\frac{\Delta\nu}{\nu\nu_1} = \frac{2h}{Mc^2} \sin^2 \frac{\alpha}{2} \quad (3).$$

Если вместо частот пользоваться длинами волн, то

$$\lambda = \frac{c}{\nu}, \quad \lambda_1 = \frac{c}{\nu_1}, \quad \Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda = \frac{c}{\nu_1} - \frac{c}{\nu} = \frac{c(\nu - \nu_1)}{\nu\nu_1} = \frac{c\Delta\nu}{\nu\nu_1},$$

откуда $\frac{\Delta\nu}{\nu\nu_1} = \frac{\Delta\lambda}{c}$; подставляя это значение в формулу (3), получаем

$$\Delta\lambda = \frac{2h}{Mc} \sin^2 \frac{\alpha}{2}.$$

Согласно гипотезе Комптона, очень жесткие Рентгеновы лучи передают свое количество движения, главным образом, электронам, так что $M = m_e =$ массе электрона.

$$\Delta\lambda = \frac{2h}{m_e c} \sin^2 \frac{\alpha}{2} = 2\lambda_0 \sin^2 \frac{\alpha}{2}, \text{ где } \lambda_0 = \frac{h}{m_e c}, \text{ так наз. универ-}$$

сальная длина волны, определяемая тремя универсальными константами c , h и m_e . Разумеется, что для обычных лучей, для которых размеры квантовых колец сравнимы с размерами атома, столкновение происходит также с атомным ядром, так что величина $\Delta\lambda$ получается в тысячи раз меньшая. Так как $\lambda_0 = 0,024 \cdot 10^{-8}$ см., то отсюда ясна вся трудность наблюдения эффекта Комптона даже для жестких Рентгеновых лучей, а тем более для обычных, когда бессильны самые точные оптические наблюдения, улавливающие лишь величины бóльшие 10^{-13} см.

Разумеется, что и в случае Рентгеновых лучей энергия в известной мере передается и атому, так что величина M формулы

остаётся, в сущности говоря, неопределённой. Более точно разработанная теория, путем введения дополнительных гипотез, должна будет расчленивать массу M , и это именно послужит лучшим доказательством эффекта Комптона, подобно тому, как учет движения ядра и влияния этого движения на постоянную Ритберга—Ритца служит одним из сильнейших доказательств теории Бора.

г) Формула Эйнштейна—Френеля—Физо.

Изучая распространение света в движущихся средах, Френель дал формулу, экспериментально проверенную Физо:

$$C_1 = \frac{c}{n} + \frac{n^2 - 1}{n^2} v.$$

Здесь c_1 —скорость распространения света в эфире, находящемся в среде показателя преломления n , движущейся со скоростью v относительно источника, предполагаемого неподвижным в эфире.

Чтобы вывести эту формулу, докажем предварительно следующую теорему:

Теорема. Среда показателя преломления n , движущаяся со скоростью v в эфире, сообщает световой массе m_e дополнительное количество движения $\frac{m_e v}{n}$.

В самом деле, с оптической точки зрения, материальная среда показателя преломления n есть «эфир», в котором скорость распространения равна $\frac{c}{n}$. Приведение в движение со скоростью v такого «эфира» можно рассматривать, как сообщение находящейся в нем световой массе m_e дополнительного количества движения $m_e v$. По определению Энгельса, соответствующая энергия будет:

$$E_g = (m_e v) \cdot \frac{c}{n}.$$

Но ту же самую энергию имеет количество движения $\frac{m_e v}{n}$ в действительном эфире:

$$E_g = (m_e v) \cdot \frac{c}{n} = \left(\frac{m_e v}{n} \right) \cdot c,$$

что и доказывает нашу теорему.

Обозначим теперь через $m_e c$ количество движения в эфире, обусловленное источником. Полное количество движения в эфире будет:

$$m_e c + \frac{m_e v}{n},$$

что при результирующей скорости распространения c_1 дает энергию

$$E = \left(m_e c + \frac{m_e v}{n} \right) c_1 = m_e c c_1 \left(1 + \frac{v}{nc} \right).$$

Ту же самую энергию можно, однако, вычислить при помощи принципа Доплера. В самом деле, процесс распространения света в движущейся среде показателя преломления n можно представить так: атомные вибраторы поглощают энергию источника, а затем испускают ее обратно в среду.

Так как вибраторы движутся со скоростью v , то, предполагая скорость распространения $\frac{c}{n}$ неизменной, получим изменение частоты, равное, согласно закону Доплера, $\nu \left(1 + \frac{vn}{c} \right)$ где $\frac{vn}{c} = v : \frac{c}{n} =$ отношению скорости вибраторов к скорости распространения. Если фиктивная масса кванты $= m$, количество движения будет $m \nu \left(1 + \frac{vn}{c} \right)$, что при скорости распространения $\frac{c}{n}$ дает, по определению Энгельса, энергию

$$E = m \nu \left(1 + \frac{vn}{c} \right) \cdot \frac{c}{n} = m \nu \left(\frac{c}{n} + v \right) = m_e c \left(\frac{c}{n} + v \right),$$

так как $m \nu = \frac{h \nu}{c} = m_e$ по закону Энгельса—Планка.

Вычисленное выражение для энергии должно равняться раньше полученному:

$$E = m_e c \left(\frac{c}{n} + v \right) = m_e c c_1 \left(1 + \frac{v}{nc} \right), \text{ откуда}$$

$$c_1 = \frac{\frac{c}{n} + v}{1 + \frac{v}{nc}} = \frac{\left(\frac{c}{n} + v \right) \left(1 - \frac{v}{nc} \right)}{1 - \frac{v^2}{n^2 c^2}} = \frac{v + \frac{c}{n} - \frac{v^2}{n^2} - \frac{v^2}{cn}}{1 - \frac{v^2}{n^2 c^2}}.$$

Это и есть формула Эйнштейна. При малых, сравнительно со скоростью c , скоростях v , членами $\frac{v^2}{cn}$ и $\frac{v^2}{n^2c^2}$ можно пренебречь. Тогда

$$c_1 = \frac{c}{n} + v - \frac{v}{n^2} = \frac{c}{n} + \frac{n^2 - 1}{n^2} v.$$

Скорость v может иметь знаки (\pm). Мы видим, таким образом, что в основе нашего вывода формулы Френеля лежит предположение о том, что влияние скорости v среды определяется величиной $\frac{mv}{n}$, и что скорость эта мала сравнительно со скоростью света. Эти предположения имеют вполне реальный физический смысл, в то время как формула Эйнштейна получается ее автором на основе метафизического постулата относительности. Отсюда условно диалектический смысл нашего вывода в противоположность абсолютно-метафизическому характеру вывода Эйнштейна. Так, при $v = c$, $c_1 = c$. С точки зрения нашего доказательства, этот результат не безусловен. В самом деле, из нашего доказательства основной теоремы ясно, что если бы среда показателя преломления n двигалась со скоростью света, то физический эффект такого движения мог бы совершенно уничтожить понятие об «эфире» со скоростью распространения $\frac{c}{n}$, так как при скорости движения c данная среда приобрела бы совершенно новые свойства. Только при v малых сравнительно со скоростью света можно рассматривать движущуюся среду как неизменную и трактовать ее как «эфир» со скоростью распространения $\frac{c}{n}$. Этот результат можно пояснить более наглядным физически выводом формулы Френеля. Если мы считаем нашу среду «эфиром со скоростью распространения $\frac{c}{n}$ », то, согласно точному смыслу этого понятия, энергия массы m (обычной) должна равняться $\left(\frac{mc}{n}\right) \cdot \left(\frac{c}{n}\right) = \frac{mc^2}{n^2}$. Таким образом, при переходе энергии mc^2 из эфира в среду, должна теряться энергия $mc^2 - \frac{mc^2}{n^2} = mc^2 \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$. Такая потеря в известной мере, конечно, происходит, но для прозрачных, малопоглощающих тел (у Физо—вода) ею можно пренебречь. Отсюда вытекает то, что

среда обладает механизмом, «восстанавливающим» обратно поглощенную энергию $mc^2 \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$, так что при выходе света из среды энергия прежняя ¹⁾:

$$mc^2 = \frac{mc^2}{n^2} + mc^2 \left(1 - \frac{1}{n^2}\right).$$

Отсюда ясно, что среда, обладающая механизмом «восстановления» $\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$ части поступающей энергии (mc^2), должна обладать «коэффициентом увлечения» $\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$, так что искомая скорость c_1 будет:

$$c_1 = \frac{c}{n} + v \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) = \frac{c}{n} + \frac{n^2 - 1}{n^2} v.$$

Из этого вывода формулы Френеля особенно отчетливо видны физические пределы ее приложимости.

д) Вывод основного соотношения электромагнитной теории света: $K = n^2$.

Пользуясь определением Энгельса, можно очень просто получить основное соотношение между диэлектрической постоянной среды K и ее показателем преломления n , устанавливаемое электромагнитной теорией света и упоминаемое Энгельсом в «Диалектике природы» (статья «Электричество»):

$$K = n^2.$$

Для этого вообразим, что в эфире ($K = 1$, $n = 1$) распространяется энергия плотности Mc^2 . Пусть эта энергия перешла в среду диэлектрической постоянной K и показателя преломления n . Если эта среда очень прозрачна, т.е. не поглощает энергии, то, согласно закону сохранения энергии, плотность энергии в световой форме должна остаться неизменной.

¹⁾ Закон сохранения в форме энгельсовского определения будет:

$$mc^2 = (mc) (c) = (mcp) \left(\frac{c}{n}\right),$$

т.е. в среде происходит перераспределение количеств движения и скоростей распространения. Это явление очень сложное, в нем играют роль так наз. диэлектрическая (K) и магнитная (μ) константы среды. В математической физике оно дается ур-ем так наз. вектора энергии Пойнтинга:

$$P = \frac{c}{4\pi} E H = \left(\frac{K}{4\pi} E^2\right) \left(\frac{c}{n}\right) = \left(\frac{\mu}{4\pi} H^2\right) \left(\frac{c}{n}\right);$$

E и H —электрическая и магнитная силы:

Будем теперь считать нашу среду, как и в случае вывода формулы Френеля, «фигтивным эфиром». Тогда, согласно определения Энгельса, если скорость распространения в «эфире» $\frac{c}{n}$, количество движения будет $M \frac{c}{n}$, и, следовательно, энергия $\frac{Mc^2}{n^2}$. Но из теории электромагнетизма известно, что в среде с диэлектрической постоянной K плотность энергии увеличивается в K раз сравнительно с чистым эфиром. Заменяя Mc^2 через KMc^2 , получим плотность энергии в нашем фиктивном эфире равной $\frac{KMc^2}{n^2}$. По закону сохранения энергии:

$$\frac{KMc^2}{n^2} = Mc^2,$$

откуда

$$K = n^2.$$

Наш вывод отличается той особенностью, что он не только показывает, что $K = n^2$, но и объясняет, почему это так, и в каких пределах равенство имеет силу.

Мы видим, в самом деле, что фактор n^2 (дисперсия), находясь в знаменателе, стремится уменьшить плотность поступающей в среду энергии; фактор K , находясь в числителе, противодействует этой тенденции. Кроме того, пользование при выводе законом сохранения энергии прямо указывает, что полученное соотношение имеет силу только для малопоглощающих, сильно прозрачных сред. Таким образом, для сред с аномальной дисперсией и с большим коэффициентом поглощения полученное соотношение не имеет силы ¹⁾.

Общеизвестно, что к такому именно выводу пришли многочисленные исследователи вопроса о состоянии $K = n^2$.

9. Определение Энгельса и природа всемирного тяготения.

В § 5 мы дали вывод формулы Гербера, пользуясь определением энергии Энгельса. В этом выводе основную роль играло представление о «потоке тяготения». Какова природа этого потока? Из формулы Гербера в связи с движением перигелия Меркурия и другими выводами получается, что скорость этого потока равна скорости света c .

¹⁾ Вода, например, обладает многими аномалиями (см. Аэрбах: «Семь аномалий воды»), и для нее, как известно, закон Максвелла не имеет силы.

Это наводит на мысль, что поток тяготения—оптического характера.

Не пытаясь пока дать более точного представления о механизме тяготения и придерживаясь лишь формальной модели Римана, мы сейчас дадим замечательное доказательство того, что тяготение действительно обусловлено потоком энергии оптической природы.

Пусть у нас имеются две тяготеющие массы M_1 и M_2 на расстоянии r . Потенциал этих масс будет, согласно Ньютону, $k \frac{M_1 M_2}{r}$. Если тяготение действительно обусловлено световым потоком, то, предполагая, что поток исходит главным образом из тела M_1 (т.-е. что тело M_2 мало сравнительно с M_1), и обозначая количество светового движения, вызывающее явление тяготения,—через $K\nu$ (K —фиктивная световая масса, ν —частота), скорость распространения—через c , будем иметь согласно определению Энгельса:

$$E = K\nu c = k \frac{M_1 M_2}{r} \dots \dots \dots (1).$$

Предположим теперь, что масса M_2 движется относительно M_1 со скоростью $\pm v_r$. Если поток тяготения употребляет время Δt , чтобы пройти расстояние r , то $r = c\Delta t$; кроме того, за время Δt тело успевает пройти расстояние $\pm v_r \Delta t = \pm \Delta r$, так что «статическое расстояние», т.-е. то, на котором входит в полное действие статический закон Ньютона, будет $r \pm \Delta r$. Если поток тяготения действительно оптической природы, то, пользуясь формальной моделью Римана, мы можем приложить к взаимному движению тел принцип Допплера. При относительной скорости «источника» и «стока» $\pm v_r$, принцип Допплера указывает на изменение частоты, так что ν переходит в $\nu \left(1 \pm \frac{v_r}{c}\right)$, а распределение энергии или потенциал, согласно определению Энгельса, в

$$E_c = K_1 \nu \left(1 \pm \frac{v_r}{c}\right) c = \frac{k M_1 M_2}{r \pm \Delta r} \dots \dots (2).$$

В действительности, однако, движется только тело M_2 , а не M_1 , так что частота испускаемого потока энергии не может измениться, а изменяется лишь распределение потенциальной

энергии в поле, т.-е. потенциал тела M_2 в поле тяготения M_1 . Из формулы (2) получаем таким образом:

$$E_k = K_1 v c = \frac{k M_1 M_2}{(r \pm \Delta r) \left(1 \pm \frac{v r}{c}\right)} = \frac{k M_1 M_2}{\left(1 \pm \frac{v r}{c}\right)^2},$$

$$\begin{aligned} \text{так как } r \pm \Delta r &= r \left(1 \pm \frac{\Delta r}{r}\right) = r \left(1 + \frac{\Delta r}{c \Delta t}\right) = \\ &= r \left(1 \pm \frac{v r}{c}\right). \end{aligned}$$

Мы получили, стало быть, формулу Гербера, объясняющую аномалию движений планет, отклонение лучей света в поле тяжести солнца и красное смещение!

Этот факт позволяет нам с большой уверенностью утверждать, что тяготение действительно обусловлено потоком лучей тяготения. Но какова частота этих лучей? Чтобы ответить на этот вопрос вполне строго, необходима детальная и физически-конкретная, а не формальная, разработка электромагнитной теории тяготения. Мы здесь ограничимся вычислением этой частоты на основании синтетических соображений, связанных с моделью Римана.

Для того, чтобы понять наш метод вычисления, необходимо прежде всего вспомнить об основе ньютоновской теории всемирного тяготения. Этой основой является закон падения тел Галилея. Одинаковость падения всех тел в поле земной тяжести навела Ньютона на мысль об однородном (едином) атомистическом строении материи. Понятие «материальной точки», т.-е. атома, играет основную роль в теории Ньютона, — тяготение больших масс выводится на основании учета взаимодействий отдельных «материальных точек». Современная физика твердо установила, что материя в известном отношении действительно однородна (едина) и в конечном счете состоит из протонов и электронов. Следовательно, с физической точки зрения «материальной точке» теории тяготения Ньютона соответствует атом водорода, состоящий из тяжелого центрального ядра—протона и легкого—электрона. Атом водорода m_H можно, таким образом, считать элементарным «источником тяготения».

Для большей общности мы будем таковым считать массу $k_1 m_H$, где k_1 —некоторая дробь, равна $1/2000$ в случае электрона.

Обратимся теперь к Римановой модели тяготения. Как было уже сказано выше, Риман толкует основное уравнение теории тяготения:

$$\frac{dF_x}{dx} + \frac{dF_y}{dy} + \frac{dF_z}{dz} = 4\pi\Delta$$

или сокращенно

$$\operatorname{div} F = 4\pi\Delta$$

так: Δ , означающая обычно плотность тяготеющего вещества, есть «производительность источника», т.е. количество вещества, испускаемого единицей объема источника в единицу времени. Это римановское истолкование формально принимается также в векторном анализе¹⁾.

Согласно нашей основной гипотезе, тяготение обусловлено электромагнитными волнами и притом высокой частоты. Идея о волновой природе механизма тяготения не нова. Впервые она была высказана, кажется, Гуком. Ее разрабатывал целый ряд ученых²⁾, например, отец и сын Бьеркнесс, Пирсон, Лоренц, Корн, а в последнее время (1921 г.)—J. J. See и по существу—Эйнштейн. Дж. Дж. Томсон в своем видоизменении знаменитой гипотезы Лесажа также присоединился к такой точке зрения, предложив заменить ультрамировые корпускулы Лесажа Рентгеновыми лучами высокой частоты (см. «Электричество и материя.» Гл. VII).

В связи с теорией квант воззрения Томсона приобретают особый интерес,—мы к нему еще вернемся в дальнейшем.

Полагая вместе с Томсоном, что тяготение обусловлено лучами очень высокой частоты, которые безусловно состоят из квант, обозначим через $h\nu$ кванту «лучей тяготения», испускаемых источником. Соответствующая испускаемая источником масса будет $\frac{h\nu}{c^2}$. Отсюда, между прочим, видно, в чем разгадка основной римановской концепции «источника—стока», которую Риман мистифицировал: всякое испускание или поглощение энергии есть вместе с тем испускание или поглощение массы.

¹⁾ См. V. Bjerkness. «Die Kraftfelder» (1909). В этом замечательном сочинении читатель может найти формальную и материальную характеристики понятия источника—стока.

²⁾ См. статью Ценнека в V томе «Энциклопедии математических наук».

Пусть теперь данный элементарный источник тяготения $k_1 m_n$ испускает в единицу времени k_2 квант $h\nu$ и, следовательно, массу $\frac{k_2 h\nu}{c^2}$. Если плотность вещества Δ , то в единице объема находится

$\frac{\Delta}{h_1 m_n}$ элементарных источников, которые испускают, стало быть, в единицу времени массу

$$\frac{\Delta}{k_1 m_n} \cdot \frac{k_2 h\nu}{c^2}.$$

Такова, следовательно, будет «производительность» данного источника. Но величина этой производительности, как мы указали выше, должна совпадать с величиной плотности вещества, т.-е.

$$\frac{\Delta}{k_1 m_n} \cdot \frac{k_2 h\nu}{c^2} = \Delta$$

или

$$\frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{h\nu}{m_n c^2} = 1.$$

Иначе говоря, частота лучей тяготения и, следовательно, само тяготение не зависит от плотности тел. Это и есть закон Галилея.

Чтобы определить величину частоты ν , мы должны сделать некоторое предположение относительно отношения $\frac{k_2}{k_1}$.

Предположим сначала, что $\frac{k_2}{k_1} = 1$.

Это предположение можно истолковать так: элементарным источником тяготения является атом водорода ($k_1=1$), и каждый такой источник испускает в единицу времени одну кванту энергии ($k_2=1$).

Последнее положение в высшей степени замечательно, так как оно утверждает, что в явлении тяготения осуществляется синтез волновой и квантовой природы лучистой энергии, а именно: в течение каждого периода колебания накапливается в вибраторе элементарное количество энергии h , что при ν колебаниях в секунду дает накопление энергии $h\nu$ и затем скачкообразное ее испускание. Положив $\frac{k_2}{k_1} = 1$, получаем

$$h\nu = m_n c^2,$$

откуда

$$\nu = \frac{m_n c^2}{h},$$

т.-е. энергия кванты лучей тяготения определяется энергией массы атома водорода.

$h = 6,55 \cdot 10^{-27}$; $m_H = 1,65 \cdot 10^{-24}$; $c = 3 \cdot 10^{10}$; $\nu = 2,28 \cdot 10^{23}$.
Полученная величина частоты превосходит все до сих пор экспериментально установленное, и лучи такой частоты должны быть чрезвычайно пронизывающими.

Укажем здесь также, что найденная нами величина ν связана очень простым соотношением с Ньютоновой константой « k » всемирного тяготения, а именно:

$$\nu = \frac{\pi}{k h c},$$

т.-е. частота лучей тяготения равна числу π , деленному на произведение трех мировых постоянных—Ньютона, Планка и скорости света.

Простота соотношения указывает на возможность его теоретического вывода, которого нам до сих пор не удалось получить в достаточно строгой форме.

Примем теперь k_1 равным $1/2000$, т.-е. будем считать элементарным источником тяготения электрон. Чтобы вычислить ν , необходимо знать величину k_2 . Здесь мы стоим перед затруднением, так как в теории квант совершенно не разработан еще вопрос о времени испускания квант энергии. Планк в работе «Wärmestrahlung» вычислил на одном примере это время и получил величину 4000 секунд, которую квалифицировал как весьма удивительную. К еще более странным результатам пришли Зоммерфельд и Дебай, у которых время испускания квант оказалось в пределах между долями секунды и несколькими годами (для очень жестких рентгеновских лучей). Между тем, как это указывают Планк и Зоммерфельд, в фотоэлектрическом эффекте промежуток времени между падением даже не очень жестких лучей и выбрасыванием электронов очень мал. Это резкое противоречие между теорией и опытом показывает, что явление поглощения и испускания лучистой энергии в действительности очень сложно и не укладывается в упрощенные теоретические схемы.

Примем, однако, планковскую величину в 4000 секунд, относящуюся к фотоэлектрическому эффекту, т.-е. к поглощению энергии электронами. Тогда $k_2 = 1/4000$ и $\frac{k_2}{k_1} = \frac{1}{2}$.

Частота будет равна в этом случае $1,14 \cdot 10^{23}$.

Нетрудно найти нижний предел k_2 , если принять во внимание, что лучи тяготения должны быть абсолютно пронизывающими для обычной материи. В связи с этим вопросом укажем, что впервые лучи высокой частоты были обнаружены в космических пространствах Гессом. В. Нернст (см. его «Мироздание в свете новых исследований») построил на основании этого «излучения Гесса» целую теорию преодоления закона энтропии и возникновения атомов и мировых тел. Излучение Гесса исследовали Зеелигер, Свиннэ и др. В последнее время знаменитый экспериментатор Милликэн опубликовал статью «Космические лучи высокой частоты»¹⁾.

Вот что говорит Милликэн: «мы обнаружили лучи, приходящие на землю из внешнего пространства, с такой проникающей способностью, что они преодолевали слой в 21 м. воды, что эквивалентно 180 см. свинца. Жесткость этих лучей превосходит, таким образом, все, что можно было воображать (наиболее проникающие лучи медицинских установок проходят 1 см. свинца).

Как указывает Милликэн, порядок частоты найденных им лучей соответствует энергии, выделяющейся при переходе водорода в гелий, т.-е. $6,68 \cdot 10^{21}$. Эта величина в 35 раз меньше нами полученной на основании предположения $\frac{k_2}{k_1} = 1$. Лучи тяготения должны быть более проникающими, чем космические лучи Милликэна. Следовательно, нижний предел величины k_2 при $k_1 = 1/2000$ будет $1/70000$.

Что касается верхнего предела, то он будет равен $1/2000$, если считать, что лучи, соответствующие энергии атома водорода, являются вообще говоря предельными²⁾.

¹⁾ См. «Science», 62, стр. 445, 1925 г., а также «Успехи физических наук», т. VI.

²⁾ Подчеркнем здесь во избежание недоразумений, что наша трактовка природы всемирного тяготения может быть правильно понята, лишь став на диалектическую точку зрения. С этой точки зрения атом и электрон неисчерпаемы. И последние опыты Эренгафта как-будто говорят в пользу существования субэлектрона. Это, конечно, может внести изменения в наши вычисления, но необходимо понять, что диалектика рассматривает тяготение не как абсолютное свойство материи, а как относительное, обусловленное тем или иным механизмом. Мы имеем, именно, в виду не тяготение вообще, а конкретное тяготение, обнаруживающееся в физическом и астрономическом опытах. Это позволяет нам говорить об атомах и электронах, как в известном смысле однородных элементарных источниках тяготения.

Укажем в заключение на следующий факт: исследования космических лучей высокой частоты показывают, что лучи эти не испускаются ни землей, ни луной, ни солнцем. Это обстоятельство не находится, однако, в противоречии с развитой нами теорией тяготения и вот почему. Как мы указали выше, Дж. Дж. Томсон предложил заменить в модели тяготения Лесажа ультрамировые частицы Рентгеновыми лучами очень высокой частоты или, как мы скажем сейчас, квантами энергии высокой частоты. Сущность модели Лесажа в следующем: согласно Лесажу, космическое пространство наполнено огромным количеством хаотически движущихся, сильно пронизывающих обычную материю, ультрамировых частиц. Если в такой среде находится один, скажем, атом, то, подвергаясь со всех сторон бомбардировке частиц Лесажа, он в конечном счете не испытывает никакой результирующей силы давления. Но если рядом с ним находится другой атом, то оба атома служат друг для друга как бы ширмами: давление с незащищенной стороны больше, чем со стороны, защищенной атомом-ширмой. Лесаж показал, что его гипотеза приводит к закону тяготения Ньютона. В связи с теорией вихревых атомов гипотезу Лесажа возобновил В. Томсон-Кельвин, определив ультрамировую частицу Лесажа, как упругое вихревое кольцо. Максвелл выставил следующее возражение против гипотезы Лесажа: если бы она была верна, мировые тела должны были бы быть сильно накалены, что не имеет места во всех случаях, в которых проявляется сила тяготения. Чтобы парировать возражение Максвелла, Дж. Дж. Томсон и предложил свою гипотезу рентгеновских лучей высокой частоты. Томсон указывает, что нет необходимости в том, чтобы энергия, теряемая ультрамировыми частицами при действии механизма тяготения согласно Лесажу, обязательно обращалась в тепловую энергию,—она может обращаться в рентгеновское излучение. В модели Дж. Дж. Томсона фигурирует, стало быть, отражение лучей высокой частоты. Но из нашего анализа эффектов Доплера и Комптона очевидно, что при исследовании этого отражения необходимо принять во внимание оба эти эффекта. Отсюда вытекает возможность формального тождества моделей Римана и Лесажа—Томсона. Принимая последнюю модель, необходимо, однако, считать, что при движении тела от «источника» тяготения со скоростью, напр., света должно наблюдаться приблизительно такой же силы притяжение, каково отталкивание в случае движения по направлению к «источнику».

В приложении I (4) мы показываем, что формальный результат может быть один и тот же для обеих моделей—Римана и Лесажа—Томсона.

Экспериментальные данные как-будто говорят в пользу последней модели, но окончательное решение вопроса требует более тщательных и чрезвычайно тонких исследований. Во всяком случае, два результата нашего анализа нам кажутся имеющими большую долю вероятности, именно—конечная скорость, равная скорости света, распространения действий тяготения и волновая природа механизма тяготения. Если это так, то можно считать, что сделан еще один шаг по пути разгадки природы всемирного тяготения.

10. Заключение.

Все вышеизложенное с достаточной убедительностью доказывает важность энгельсовского определения энергии. Диалектический метод дал возможность Энгельсу признать истинную природу энергии, как превращения одной формы движения в другую, его переход от одних частей материи к другим. И, без сомнения, детальная разработка энгельсовского определения и его приложение к многообразным областям физики может дать чрезвычайно поучительные и важные результаты.

Отметим здесь, что Эйнштейн, заявивший, что естественно-исторические работы Энгельса не представляют научного интереса, сам дал доказательство противного: выводы общей теории относительности касательно фактов, которые теория считает основными аргументами (аномалии планетных движений, отклонение света, смещение спектральных линий), совпадают с выводами, получающимися на основании определения Энгельса.

Анализ при помощи этого определения не нуждается, однако, в тензорном исчислении и специальных гипотезах о пространстве и времени. Не является ли это преимущество простоты преимуществом истинности?

ПРИЛОЖЕНИЕ I.

1. Вычисление формулы аномалий планетных движений и отклонения света в поле тяжести солнца.

Гербер вывел формулу аномалий планетных движений, рассматривая физическую причину изменения гравитационных действий. Основные формулы Гербера получаются, как мы видели, при помощи формулы Энгельса. Покажем теперь, что, даже не зная о физической причине аномалий, можно очень просто получить формулу аномалий при помощи вышеприведенного формального закона изменения гравитационных действий:

$$m_g^v = m_g^0 \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right).$$

Движение массы M_2 в поле тяготения M_1 определяется в теории тяготения двумя законами. Первый закон — закон площадей (Кеплера) — указывает, что удвоенная площадь, описываемая радиусом-вектором, есть величина постоянная:

$$r^2 \frac{d\theta}{dt} = b.$$

Второй закон — это закон сохранения энергии:

$$\frac{1}{2} M_2 \left(\frac{ds}{dt}\right)^2 - \frac{kM_1M_2}{r} = h = \text{const.},$$

т.е. сумма кинетической и потенциальной энергии массы есть величина постоянная ¹⁾.

Так как $ds^2 = r^2 d\theta^2 + dr^2$, то закон сохранения энергии принимает вид:

$$\frac{r^2 d\theta^2 + dr^2}{dt^2} - \frac{2kM_1}{r} = H = \text{const.}$$

Вставляя сюда dt^2 из закона площадей, получаем:

$$\frac{b^2}{r^2} + \frac{b^2}{r^4} \frac{dr^2}{d\theta^2} - \frac{2kM_1}{r} = H.$$

или

$$\frac{d\left(\frac{1}{r}\right)}{d\theta} = \frac{H}{b^2} + \frac{2kM_1}{b^2} \cdot \frac{1}{r} - \frac{1}{r^2}.$$

¹⁾ M_1 предполагается бдльшим сравнительно с M_2 .

Обозначая $\frac{1}{r}$ через ρ , получаем:

$$\frac{d\rho}{d\theta} = \frac{H}{b^2} + \frac{2kM_1}{b^2} \rho - \rho^2.$$

Это и есть дифференциальное уравнение движения массы M_2 в поле тяжести M_1 . Решение его дает, в зависимости от начальных условий, движения по эллипсу, гиперболе или параболе. В этом уравнении не принято, однако, во внимание изменение гравитационных действий в зависимости от скорости. Если масса M_2 имеет скорость v , то она эквивалентна массе $M_2 \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right)$ в потенциальной формуле тяготения; заменяя M_2 через это выражение¹⁾, получаем, как это легко видеть, формулу

$$\begin{aligned} \frac{d\rho}{d\theta} &= \frac{H}{b^2} + \frac{2kM_1}{b^2} \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right) \rho - \rho^2 = \\ &= \frac{H}{b^2} + \frac{2kM_1}{b^2} \rho - \rho^2 + \frac{2kM_1}{b^2} \cdot \frac{v^2}{c^2} \rho, \end{aligned}$$

т.е. с добавочным членом $\frac{2kM_1}{b^2} \cdot \frac{v^2}{c^2} \rho$.

Если движение происходит по малоэксцентричным эллипсам, как в случае планет, то легко видеть, что $v = \frac{b}{r} = b\rho$; в самом деле, в этом случае можно приблизительно считать $ds^2 = r^2 d\theta^2$ ($dr=0$), т.е. $ds = r d\theta$.

Из закона площадей получаем:

$$r \cdot r \frac{d\theta}{dt} = r \cdot \frac{ds}{dt} = r \cdot v = b;$$

Подставляя это значение в формулу, получаем:

$$\frac{d\rho}{d\theta} = \frac{H}{b^2} + \frac{2kM_1}{b^2} \rho - \rho^2 + \frac{2kM_1}{c^2} \rho^3.$$

¹⁾ Здесь именно обнаруживается та разница между нашей формулой и внешне тождественной ей формулой Римана. Римановская формула в его трактовке есть формула эффективного потенциала, так что при обычном вычислении с этой формулой, пользуясь обобщенными уравнениями Лагранжа, получают движение перигелия Меркурия с учетом так называемого вращения Андинга (см. упомянутую статью Вихерта). У нас же формулой эффективного потенциала является формула Гербера, формула же Римана играет роль фиктивного статического потенциала, эквивалентного эффективному (Гербера). См. Приложение II.

Величина $\frac{kM_1}{c^2}$ обозначается через α и называется гравитационным радиусом массы M_1 .

Полученная формула была впервые выведена Эйнштейном на основании общей теории относительности. Она дает ту же формулу аномалий, что и выражение Гербера для силы F .

Если в общем дифференциальном уравнении

$$\frac{d\rho}{d\theta} = \frac{H}{b^2} + \frac{2kM_1}{b^2} \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right) \rho - \rho^2$$

положить $v = c$, то мы будем иметь случай движения массы со скоростью света. Формула дает:

$$\frac{d\rho}{d\theta} = \frac{H}{b^2} + \frac{4kM_1}{b^2} \rho - \rho^2.$$

Чтобы определить постоянную H , берем уравнение энергии

$$\left(\frac{ds}{dt}\right)^2 - \frac{4kM_1}{r} = H;$$

при $r = \infty$, скорость будет c ; следовательно,

$$H = c^2,$$

т.е. кривая движения — гипербола.

Величину константы b легко определить из того соображения, что на очень далеком расстоянии радиус вектор описывает Δ -ик ASB (рис. 5) с площадью $= \frac{1}{2} c R$, где R — «видимое расстояние» звезды от центра солнца.

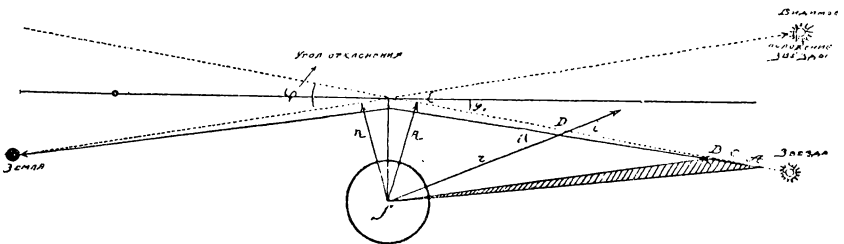


Рис. 5.

Следовательно, $b = c R$. Подставляя величины H и b в уравнение, получаем:

$$\frac{d\rho}{d\theta} = \frac{1}{R^2} + \frac{4kM_1}{c^2 R^2} \rho - \rho^2,$$

или 1):

$$\frac{d\rho}{d\theta} + \rho^2 = \frac{1 + 4\alpha\rho}{R^2} = \frac{n^2}{R^2},$$

где $\alpha = \frac{kM_1^2}{c^2}$ — гравитационному радиусу массы M_1 ,

$$n = 1 + 2\alpha\rho, \quad n^2 = 1 + 4\alpha\rho,$$

ибо величиной $(2\alpha\rho)^2$ можно пренебречь в виду незначительной величины α ($= 1,5$ км. для солнца) сравнительно с величиной r ($\rho = \frac{1}{r}$).

Пользуясь для ясности радиусом r , можно полученное ур-ие написать так:

$$\frac{1}{r^2} + \frac{1}{r^4} \left(\frac{dr}{d\theta} \right)^2 = \frac{n^2}{R^2}; \quad n = 1 + \frac{2\alpha}{r}; \quad \alpha = \frac{kM_1^2}{c^2}.$$

Это и есть ур-ие гиперболы, асимптоты которой (см. рис. 5) образуют угол:

$$\psi = \frac{4\alpha}{R}.$$

Иначе говоря, масса M_2 при приближении из бесконечности к массе M_1 , проходя мимо нее на «ближайшем» расстоянии R , отклонится на угол $\frac{4\alpha}{R}$, где α — гравитационный радиус массы M_1 .

Выведенная формула была впервые получена Эйнштейном и приложена к вычислению отклонения звездного луча в поле тяжести солнца.

Если пренебречь величиной $\frac{v^2}{c^2}$, т.-е. считать, что скорость не изменяет гравитационных действий, то угол отклонения получится в два раза меньше:

$$\psi = \frac{2\alpha}{R}.$$

Эта величина впервые получена Сольднером в 1801 году.

2. Вычисление отклонения луча по формуле Энгельса.

Имеем систему ур-ий:

$$Vs = \frac{ds}{dt} = cn \quad \text{и} \quad r^2 \frac{d\theta}{dt} = b;$$

b , как и раньше (см. приложение I), равно cR ;

$$ds^2 = r^2 d\theta^2 + dr^2,$$

1) В этой удобной форме, пользуясь величиной n , ур-ие движения пишет Вейль («Пространство, время, тяготение»).

следовательно,

$$\frac{r^2 d\theta^2 + dr^2}{dt^2} = c^2 n^2 \text{ и } \frac{r^2 d\theta}{dt} = c R.$$

Отсюда, исключая время dt:

$$\frac{n^2}{R^2} = \frac{1}{r^2} + \frac{1}{r^4} \left(\frac{dr}{d\theta} \right)^2,$$

т.-е. ур-ие гиперболы ¹⁾).

При

$$n^2 = \left(1 + \frac{2\alpha}{r} \right)^2 = \text{приб. } 1 + \frac{4\alpha}{r},$$

угол отклонения (угол отклонения между асимптотами) будет

$\psi = \frac{4\alpha}{R}$. Легко видеть, что $\left(\frac{ds}{dt} \right)^2 = n^2 c^2$ — не что иное, как

ур-ие энергии.

3. Вычисление угла полной рефракции.

Вычисление таково: по теории рефракции ур-ие рефракции

будет $d\varphi = \text{tgi} \frac{dn}{n}$, где i — угол падения в данной точке (см. рис. 5).

Отсюда:

$$\psi = \int_0^\pi \text{tgi} \frac{dn}{n}$$

где ψ — полная рефракция.

При $n = 1 + \frac{2\alpha}{r}$, $\frac{dn}{n} = -\frac{2\alpha}{r^2} \left(1 - \frac{2\alpha}{r} \right) dr = -\frac{2\alpha}{r^2} dr$,

принимая во внимание, что α ($= 1,5$ км.) — величина очень малая сравнительно с r . Легко видеть (см. рис. 5), что

$$r = \frac{R}{\sin i}; \quad dr = -\frac{R \cos i}{\sin^2 i} di.$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} \psi &= \int_0^\pi -\frac{2\alpha}{r} \text{tgi} dr = \\ &= \int_0^\pi \frac{-2\alpha \sin^2 i}{R^2} \text{tgi} \cdot -\frac{R \cos i}{\sin^2 i} di = \frac{2\alpha}{R} \int_0^\pi \sin i di = \frac{4\alpha}{R}. \end{aligned}$$

4. Точное вычисление формулы смещения спектральных линий.

В литературе по физике можно часто встретить замечания о сомнительности герберовской формулы, особенно со стороны слишком горячих адептов релятивизма. Мы поэтому

¹⁾ Формула Вейля.

докажем, что герберовская формула силы не только объясняет аномалии планетных движений, но и красное смещение,—объяснение отклонения лучей на основании формулы Гербера нами дано и непосредственно очевидно; но в случае красного смещения дело сложнее, так как здесь имеется переменная скорость.

Возьмем герберовское выражение силы F:

$$F = \frac{-kM_1 M_2}{r^2} \left[1 - \frac{3}{c^2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + \frac{6r}{c^2} \frac{d^2 r}{dt^2} \right]$$

Разложим эту силу на две— F_1 и F_2 :

$$F_1 = \frac{-kM_1 M_2}{r^2} \left[1 - \frac{3}{c^2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 \right],$$

$$\begin{aligned} F_2 &= \frac{-kM_1 M_2}{r^3} \left(\frac{6r}{c^2} \frac{d^2 r}{dt^2} \right) = \frac{-6kM_1 M_2}{rc^2} \frac{d^2 r}{dt^2} = \\ &= \frac{-6\alpha M_2}{r} \frac{d^2 r}{dt^2}, \text{ где } \alpha = \frac{kM_1}{c^2}; \end{aligned}$$

найдем теперь среднее значение силы F в промежутке $v = \frac{dr}{dt} = 0$ и $v = \frac{dr}{dt} = c$:

$$\left| F \right|_{\text{ср.}}^{0-c} = \left| F_1 \right|_{\text{ср.}}^{0-c} + \left| F_2 \right|_{\text{ср.}}^{0-c}$$

$$F_1 \Big|_{\text{ср.}}^{0-c} = \frac{1}{c} \int_0^c \frac{k M_1 M_2}{r^2} \left[1 - \frac{3v^2}{c^2} \right] dv = \frac{1}{c} \frac{k M_1 M_2}{R^2} \left[v - \frac{v^3}{c^2} \right]_0^c = 0;$$

так как переход от $v = 0$ к $v = c$ происходит мгновенно: $r = R$.

Таким образом:

$$\left| F \right|_{\text{ср.}}^{0-c} = \left| F_2 \right|_{\text{ср.}}^{0-c}$$

и, следовательно, средняя работа силы F в промежутке $v = 0$, $v = c$, т.-е. средняя потеря энергии равна средней работе силы F_2 в том же промежутке.

$$\left| \int_0^c F dr \right|_{\text{ср.}}^{0-c} = \left| \int_0^c F_2 dr \right|_{\text{ср.}}^{0-c} = P \text{ (потере энергии).}$$

Найдем значение интеграла $\int_0^c F_2 dr$; $r = R$;

$$\int_0^c F_2 dr = -\frac{6\alpha M_2}{R} \int_0^c \frac{d^2 r}{dt^2} dr = -\frac{6\alpha M_2}{R} \int_0^c dv \cdot v = \frac{-3\alpha M_2 c^2}{R}$$

Тогда P будет средним значением найденной величины в промежутке $v = 0$, $v = c$.

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{c} \int_0^c \frac{-3\alpha M_2 c^2}{R} dc = -\frac{1}{c} \frac{\alpha M_2}{R} \int_0^c 3c^2 dc = \\ &= \frac{-\alpha M_2}{R} c^2; \end{aligned}$$

подставляя вместо α величину $\frac{kM_1}{c^2}$,
получаем

$$P = \frac{-kM_1M_2}{R},$$

что и требовалось доказать.

Итог всему сказанному об изменении потенциала тяготения можно выразить формулой:

$$P = \pm \frac{kM_1M_2}{r} \left(1 \pm \frac{v^2}{c^2} \right),$$

где знаки \pm берутся в зависимости от направления движения в поле тяготения, что и выражает диалектический подход к проблеме физики. Подчеркнем, что наш потенциал есть фиктивный статический потенциал, эквивалентный герберовскому эффektivному.

Обращаем также внимание на то, что для случая движения перигелия Меркурия v не является радиальной скоростью, а поперечной.

Допустим, однако, что мы желаем стоять на формальной точке зрения и не признаем никакой диалектики в физике. Многие лица скептически относятся к физическим моделям и предпочитают им игру с математическими фикциями.

Став на такую точку зрения, мы получим при $v = c$ безразлично

$$P = \frac{-2kM_1M_2}{r};$$

такова поэтому будет потеря энергии ($r = R$) при удалении в бесконечность, так что энергия M_2c^2 превратится в

$$P_1 = M_2c^2 - \frac{2kM_1M_2}{R} = M_2c^2 \left(1 - \frac{2\alpha}{R} \right) = M_2c^2 \left(1 - \frac{\alpha}{R} \right)^2$$

в виду малости α сравнительно с R .

По определению Энгельса:

$$P_1 = \left[M_2c \left(1 - \frac{\alpha}{R} \right) \right] \left[c \left(1 - \frac{\alpha}{R} \right) \right].$$

Мы именно таким образом разложили величину P_1 , ибо, стоя на формальной точке зрения, мы не имеем права утверждать, что поле тяготения, механизм которого мы знать не желаем, действие которого при допущенной нами силе простирается до бесконечности (и во всяком случае до земли!), не изменяет скорости распространения света.

Таким образом, мы для изменения длины волны получаем тот же результат:

$$M_2 c^2 = h\nu_1; \quad M_2 c^2 \left(1 - \frac{\alpha}{R}\right)^2 = h\nu_2;$$

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{1}{\left(1 - \frac{\alpha}{R}\right)^2}; \quad \lambda_1 = \frac{c}{\nu_1}, \quad \text{но } \lambda_2 = \frac{c \left(1 - \frac{\alpha}{R}\right)}{\nu_2},$$

так как скорость распространения равна $c \left(1 - \frac{\alpha}{R}\right)$;

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{\nu_1}{\nu_2} \left(1 - \frac{\alpha}{R}\right) = \frac{1}{\left(1 - \frac{\alpha}{R}\right)^2} \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{R}\right) = 1 + \frac{\alpha}{R}$$

и т. д.,

т.-е. прежняя величина. Если за лесом формул теории относительности сумеют вскрыть их сущность, то мы можем обнаружить, что именно этим путем теория получает указанный результат. У Эйнштейна потеря энергии определяется фактором

$$f = \left(1 - \frac{2\alpha}{R}\right)$$

для радиального направления, но для смещения он берет:

$$\sqrt{f} = \sqrt{1 - \frac{2\alpha}{R}} = 1 - \frac{\alpha}{R}.$$

Укажем, однако, на очень важное обстоятельство, а именно: последний способ разложения и вычисления соответствует модели Лесажа—Томсона. В самом деле, если механизм тяготения обусловлен бомбардировкой ультрамировых частиц, то разрыва тяготения быть не может, и оно в той или иной мере существует на любом расстоянии. Если это так, то очевидно, что на расстоянии по крайней мере земли свет не может иметь полной скорости распространения c , а скорость несколько уменьшенную. Следовательно, при расчете мы должны полагать, что изменяется не только частота света, но и скорость его распространения. Разложение по формуле Энгельса, которое дано выше, утверждает одинаковость изменения факторов скорости распространения и частоты. Если наблюдения действительно подтверждают получаемый для изменения частоты результат, и если механизм тяготения соответствует модели Лесажа—Томсона, вышеприведенное разложение будет правильным.

Здесь, однако, имеются и другие возможности, на которых мы останавливаться не будем.

ПРИЛОЖЕНИЕ II.

Теория эффективного потенциала.

1. Предварительные сведения.

Для лучшего ориентирования читателя в последующем, напомним прежде всего некоторые основные положения аналитической механики ¹⁾. Если T — кинетическая энергия (живая сила) механической системы, а Q_n — действующие в ней (работающие) силы (обобщенные), то связь между этими величинами устанавливается ур-иями Лагранжа:

$$(1) \dots \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial q'_n} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_n} = Q_n \dots (n = 1, 2, 3 \dots)$$

q_n — координаты, $q'_n = \frac{dq}{dt}$ — скорости (обобщенные).

Если силы Q_n — консервативные, т.-е. имеют потенциал, зависящий только от расстояния, но не от скорости и ускорения, так что

$$Q_n = - \frac{\partial P}{\partial q_n}$$

ур-ия Лагранжа принимают следующую форму:

$$(2) \dots \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial q'_n} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_n} = 0.$$

$L = T - P$ называется функцией Лагранжа или кинетическим потенциалом.

В этом случае ур-ие, выражающее закон сохранения энергии, имеет следующий простой вид:

$$T + P = \text{const.}$$

Форма ур-ия (2) обусловлена определенными свойствами Лагранжевой функции L , а именно: функция эта представляет собою разность двух функций, из которых одна T является

¹⁾ См. L. Boltzmann. Vorlesungen über die Prinzipie der Mechanik. 2 части. В этой книге читатель найдет основательное рассмотрение вопроса о различных формах ур-ий Лагранжа. Функции входящие в эти ур-ия могут быть подчинены разнообразным и сложным условиям, потенциал, например, может явно зависеть от времени и т. п. Мы здесь касаемся лишь сравнительно простого случая—движений в солнечной системе, предполагая зависимость потенциала от скоростей и ускорений.

однородной квадратичной функцией скорости, а другая P -функцией только координат.

Сверх того, механическая система, определяемая уравнениями (2), является системой замкнутой.

Устраняя эти условия, приходят к обобщенным уравнениям Лагранжа:

$$(3) \dots \dots \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial q'_n} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_n} = Q_n,$$

где Q_n — внешние по отношению к системе силы, L — произвольная функция q_n и q'_n . В дальнейшем нам придется иметь дело с замкнутыми системами ($Q_n = 0$), но такими, в которых функция L не удовлетворяет вышеуказанным условиям¹⁾.

Помножая обе стороны уравнения (3) на dq_n и суммируя, получаем для энергии системы выражение:

$$(4) \dots \dots W = \sum_1^n q'_n \frac{\partial L}{\partial q'_n} - L + \text{const.}$$

В случае замкнутой системы

$$(5) \dots \dots \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial q'_n} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_n} = 0.$$

Отсюда получается уравнение закона сохранения энергии:

$$\sum_1^n q'_n \frac{\partial L}{\partial q'_n} - L = \text{const.}$$

Уравнение (5) эквивалентно уравнению, выражающему экстремальный или вариационный принцип Гамильтона:

$$(6) \dots \delta \int_{t_1}^{t_2} L dt = 0,$$

где δ — знак вариации (не распространяющийся на границы).

В обычном случае L равно разности $T - P$ двух вполне определенных функций.

Мы можем в общем случае также положить L равным разности $T - P$.

Тогда энергия системы принимает вид:

$$(7) \dots \dots W = \sum_1^n q'_n \frac{\partial T}{\partial q'_n} - T - \sum_1^n q'_n \frac{\partial P}{\partial q'_n} + P + \text{const.}$$

¹⁾ Адинамическая (кинетическая) механика рассматривает мир, как бесконечную, т.е. замкнутую систему, в которой устраняется принципиальное различие между кинетической энергией и потенциальной, ибо всякая энергия считается кинетической. Этому именно соответствует введение единой функции L .

Часть

$$W_T = \sum_1^n q'_n \frac{\partial T}{\partial q'_n} - T$$

можно назвать кинетической энергией, а часть

$$W_P = - \left(\sum_1^n q'_n \frac{\partial P}{\partial q'_n} - P \right)$$

— энергией потенциальной.

Для замкнутой системы получается ур-ие закона сохранения энергии:

$$W_T + W_P = \text{const.}$$

и ур-ие Лагранжа:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial q'_n} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_n} &= \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial (T - P)}{\partial q'_n} \right] - \frac{\partial (T - P)}{\partial q_n} = \\ &= \left[\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial q'_n} - \frac{\partial T}{\partial q_n} \right] - \left[\frac{d}{dt} \frac{\partial P}{\partial q'_n} - \frac{\partial P}{\partial q_n} \right] = 0. \end{aligned}$$

Откуда

$$(8) \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial q'_n} - \frac{\partial T}{\partial q_n} = \frac{d}{dt} \frac{\partial P}{\partial q'_n} - \frac{\partial P}{\partial q_n} = Q_n,$$

где Q_n — «работающие» в системе силы.

При указанном способе определения функции L прямо бросается в глаза формальное тождество выражения кинетической и потенциальной энергии и тождество функций T и P для выражения сил Q_n . Это формальное тождество имеет своим основанием принципиальное признание потенциальной энергии скрытой формой кинетической.

Если за T принять обычное выражение для кинетической энергии ($T = \frac{1}{2} mv^2$), то функция P , удовлетворяющая ур-ию (8), т.-е. определяющая силы Q_n посредством ур-ия той же формы, что и функция T , называется эффективным потенциалом. Понятие такого потенциала было впервые выдвинуто Риманом и обстоятельно развито К. Нейманом и Г. Гельмгольцем.

Эффективный потенциал, в отличие от обычного статического, является функцией не только координат, но также скоростей и ускорений.

Мы покажем в дальнейшем, каким образом возникло понятие эффективного потенциала, и каково его значение в физике

2. Эквивалентный статический потенциал Вебера.

Впервые понятие потенциала или силовой функции ¹⁾ появилось в знаменитом сочинении Клеро: «Théorie de la Figure de la Terre» (1743). Лагранж (Berlin, «Mém. de l'Acad.», 1777) пользовался этим понятием для рассмотрения движения дискретных масс, Лаплас (Paris, «Mém. de l'Acad.», 1872) — сплошных. Название «потенциальная функция» было введено Грином (G. Green, «An essay of the application of math. analys.», 1828).

У названных ученых потенциал определяется как функция исключительно расстояния, производная которой дает величину силы в данной точке.

Так, если потенциал будет $P(r)$, где r — радиус вектор, то F (сила) = $-\frac{dP}{dr}$.

Классическим примером потенциальной функции является Ньютонов потенциал:

$$P = -k \frac{M_1 M_2}{r},$$

определяющий Ньютонову силу

$$F = -\frac{dP}{dr} = -k \frac{M_1 M_2}{r^2}.$$

Знак (—) означает силу притяжения, так как притяжение уменьшает расстояние.

Благодаря формально тождественному с законом взаимодействия Ньютона закону Кулона, понятие потенциала перешло в электродинамику. Здесь именно начинается процесс трансформации этого понятия.

В. Вебер в известной книге «Electrodynamische Maassbestimmung» (1846) указывает, что электростатические законы неприменимы к движущимся зарядам, являясь лишь частным выражением общих сил взаимодействия. Чем медленнее движение, тем более силы взаимодействия приближаются к статическим, чем быстрее — тем более они удаляются от своей статической формы (стр. 340). Вебер приходит к выводу, что взаимодействие зарядов тем слабее, чем больше квадрат их относительной скорости.

¹⁾ Обычно различают эти два понятия по знаку: потенциал (P) равен силовой функции ($-H$).

Вебер устанавливает следующее выражение для силы взаимодействия ¹⁾:

$$\pm R = \frac{ee'}{r \cdot r} \left[1 - a \cdot a \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 \right].$$

В работе, опубликованной в 1848 году («Pogg. Annalen», Bd. 73, стр. 229), Вебер дает более точное выражение для силы и, кроме того, выражение для потенциальной функции. Эти выражения таковы ²⁾:

$$R \text{ (сила отталкивания)} = \frac{mm_1}{r^2} \left[1 - \frac{r'^2}{c^2} + \frac{2r r''}{c^2} \right],$$

$$W_B \text{ (потенциал Вебера)} = U - V = \frac{mm_1}{r} \left[1 - \frac{r'^2}{c^2} \right], \text{ где}$$

$$r' = \frac{dr}{dt}, r'' = \frac{d^2r}{dt^2}, c — \text{ скорость света.}$$

Потенциал Вебера является эквивалентным статическим потенциалом, так как выражение для силы R получается, как и в случае статического потенциала, через дифференцирование по расстоянию

$$R = - \frac{dW}{dr}.$$

Поэтому потенциал Вебера удовлетворяет обычной форме закона сохранения энергии:

$$T + W_B = T + U - V = \text{const.}$$

T — кинетическая энергия.

3. Эффективный потенциал Римана.

Б. Риман в сочинении «Schwere, Elektrizität und Magnetismus» (1876) придал потенциалу Вебера новую форму. Веберовский потенциал имеет у Римана следующее выражение (стр. 334):

$$W = S + D = \frac{-EE'}{r} + \frac{EE'}{c^2 r} \left\{ \left(\frac{dx}{dt} - \frac{dx_1}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} - \frac{dy_1}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dz}{dt} - \frac{dz_1}{dt} \right)^2 \right\} = \frac{-EE'}{r} \left[1 - \frac{v^2}{c^2} \right],$$

где v — относительная скорость, знак (—) взят для обобщения формулы, ибо E и E' могут иметь одинаковые и противоположные

¹⁾ Мы везде по возможности приводим оригинальные выражения цитируемых авторов.

²⁾ Цитируем по К. Нейману: «Allgemeine Untersuchungen über das Newtonische Princip der Fernwirkungen» (1896).

знаки ¹⁾. $S = -U$, $D = V$ в прежнем начертании, так как у Римана $W = S + D$ означает, собственно говоря, силовую функцию, обратную по знаку потенциальной.

$$W_B \text{ (потенциал)} = -W = -(S + D) = U - V.$$

Вот почему закон сохранения энергии в начертании Римана пишется так:

$$T - W = T - S - D = T + U - V = \text{const.}$$

Риман сделал, однако, чрезвычайно важный шаг, установив в § 95 («Обобщение закона Лагранжа») следующую теорему: «Для того, чтобы движение происходило так, чтобы имел силу закон сохранения живой силы

$$T - S - D = \text{const.},$$

необходимо и достаточно, чтобы было выполнено условие

$$\delta \int_0^t (T - D + S) dt = 0,$$

где δ — знак вариации. Принцип, выражаемый последним уравнением, как мы уже указали, называется вариационным или экстремальным принципом Гамильтона.

Во всех случаях, в которых фигурирует обычный потенциал P ,

$$\delta \int_0^t (T - P) dt = 0.$$

Мы видим, таким образом, что в случае обобщенной потенциальной функции роль P играет выражение

$$P = D - S = U + V.$$

Здесь бросается прямо в глаза невозможность однозначного определения эквивалентного статического потенциала. Если мы возьмем для этого потенциала выражение, удовлетворяющее ур-ию энергии, именно $U - V$, то это выражение не будет удовлетворять ур-ию Гамильтона, в котором $P = U + V$. Риман назвал именно величину $P = U + V$ эффективным потенциалом. Обстоятельное развитие этого понятия принадлежит К. Нейману и Г. Гельмгольцу.

4. Эффективный потенциал Неймана-Гельмгольца.

Отметим прежде всего несколько важных мест из 8-й главы книги Неймана: «Общие исследования Ньютонова прин-

¹⁾ Риман рассматривает явления электродинамики.

ципа дальнего действия» («Allgemeine Untersuchungen über das Newton'sche Princip der Fernwirkungen»).

Укажем прежде всего на позицию Неймана в отношении вопроса об «объяснительном» характере науки. Нейман избегает слова «объяснительный»,— что, конечно, не имеет значения,— предлагая слово «конструирующий» — *konstruierende*. Он указывает, что самые выдающиеся произведения теоретической физики— произведения Архимеда, Галилея, Ньютона, Эйлера, Лапласа, Фурье, Гаусса, Грина, Ампера, Пуассона и др.—обладают решительно «конструктивным характером».

Что касается «описательных наук», то Нейман цитирует Ламэ («*Leçons sur la théorie mathématique des corps solides*»).

«Их господство—по существу преходящее, временное. Оно будет продолжаться до тех пор, пока рациональная физика не захватит их областей. Эти науки будут иметь тогда только историческое значение».

Приступая к «конструкции» понятия эффективного потенциала, Нейман подробно рисует историю вопроса. Он указывает прежде всего на то, что все силы природы можно разделить на два класса. Первый класс включает в себе те силы, слагающие которых можно получить дифференцированием некоторой функции. К таким силам принадлежат, например, те, которые зависят только от расстояния (центральные силы). Ко второму классу принадлежат, например, силы трения и вообще силы, зависящие от скоростей и ускорений.

К силам первого класса приложим непосредственно принцип сохранения «живой силы» (энергии); для сил второго класса приложение принципа является «делом случая».

Нейман ссылается на Фехнера ¹⁾, высказавшего ту мысль, что и силы второго класса подчиняются принципу сохранения энергии, но что это еще требует доказательства, как указал Фехнеру Вебер.

Нейман говорит, что дело заключается, однако, не в доказательстве, а в «открытии». Ибо принцип сохранения энергии выражает связь между живой силой и потенциалом, а последнее понятие совершенно еще не было известно (в эпоху Фехнера—Вебера, т.-е. около 1860 г.) в приложении к силам второго рода.

¹⁾ Fechner—«*Psycho-physik*», 1860, Bd. I. S. 34.

Таким образом,—говорит Нейман,—дело заключалось не в доказательстве принципа ¹⁾, а в том, чтобы открыть ту величину, которая может играть роль потенциальной функции для сил второго рода.

Мы видим здесь яркий пример того, как ученый совершенно инстинктивно становится на диалектическую точку зрения. Действительно, с точки зрения философии «чистого описания», сохранение энергии—это обычный закон; с точки зрения диалектики, сохранение энергии необходимо считать принципом, т.-е. законом, полученным при помощи «диалектического скачка» и принимаемого за «основание дедукций», как «гипотеза» ²⁾. В 1865 году Нейман, побуждаемый замечанием Фехнера, приступил к исследованию вопроса, обратив внимание на веберовский закон взаимодействия электрических частиц в относительном движении. Нейман пришел к заключению, что потенциальная функция в этом случае имеет форму ³⁾:

$$(1) \dots W = \frac{mm_1}{r} + \frac{1}{c \cdot c} \frac{mm_1}{r} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2.$$

Он нашел именно, что веберовское выражение силы взаимодействия

$$(II) \dots R = \frac{mm_1}{r^2} \left[1 - \frac{1}{c \cdot c} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + \frac{2r}{c \cdot c} \frac{d^2 r}{dt^2} \right]$$

получается из W (1) при помощи вариации по координатам точно таким же образом, каким сила первого рода (напр., обычная центральная сила) получается из ее потенциала при помощи дифференциации.

Иначе: веберовская сила (II) получается из выражения (I) при помощи принципа Гамильтона:

$$\delta \int (T - W) dt = 0.$$

Кроме того, обозначая составные части «потенциала» W (1) через U и V , т.-е. полагая $W = U + V$, можно получить

¹⁾ Заметим, что Нейман в примечании исправляет выражение Фехнера «закон живой силы», заменяя его выражением «принцип живой силы». Смысл этой замены совершенно ясен.

²⁾ См. нашу работу «Наука и гипотеза». ГИЗ. 1926 г.

³⁾ Мы везде сохраняем, по возможности, начертания оригиналов цитируемых работ.

следующее соотношение между T (кинетической энергией), U и V :

$$(III) \dots T + U - V = \text{const.},$$

или

$$(IV) \dots T + \frac{mm_1}{r} - \frac{1}{cc} \frac{mm_1}{r} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 = \text{const.},$$

то-есть закон сохранения энергии.

Таким образом, потенциал W существенно отличен от обычного «статического» потенциала. Его можно было бы назвать—«вариационным потенциалом», обозначая обычный, как «дифференциальный» (Differentiations-Potential).

Нейман сохраняет, однако, обозначение «эффективного потенциала», употребляемое им в первом сообщении по этому вопросу ¹⁾.

В 1865—68 годах Нейман дал выражение эффективного потенциала для случая взаимодействия токов и при помощи вариации по расстояниям и скоростям тока и получил выражение для пондермоторных и электромоторных сил. Выражение для пондермоторной силы совпало со знаменитым законом Ампера; из выражения для электромоторной получился известный общий принцип индуктивных токов, установленный отцом Карла Неймана—Францем ²⁾.

В эту эпоху Нейман не мог еще с достаточной уверенностью освоиться с мыслью о замене дифференцирования вариированием. Но эти сомнения отчасти ослаблялись тем, что в случае обычных центральных сил (напр., в теории упругости) также получается нечто подобное ³⁾. Кроме того, Риман еще в 1861 году в реферате, писанном в Геттингене, высказал идею эффективного потенциала ⁴⁾. Эта работа не была известна Нейману до 1876 года; однако, в 1876 году он ознакомился в «Анналах Поггендорфа» (Bd. 131, S. 237) с посмертной заметкой Римана «Ein Beitrag zur Elektrodynamik», в которой высказывалась идея конечной скорости (= скорости света) передачи

¹⁾ С. Neumann—«Die Principien der Elektrodynamik и «Programm der Tübing.», 1868; «Math. Ann.», Bd. 17, S. 400.

²⁾ См. «Tübing. Progr.», SS. 10—12; «Math. Ann.», Bd. 17, SS. 407—9.

³⁾ См. «Tübing. Progr.», S; 3. «Math. Ann.», Bd. 17, S. 402. «Crelle's Journal», Bd. 57, S. 304.

⁴⁾ «Schwere, Elektrizität und Magnetismus» nach der Vorlesung von B. Riemann bearbeitet von Hattendorf. 1876. См. также сочинения Римана.

электрических действий. Возбужденный этой заметкой, Нейман нашел, что его эффективный потенциал, при предположении конечной световой скорости передачи действий, является превращением обычного Ньютонова потенциала $\frac{mm_1}{r}$ в западывающий.

Потребовалось, однако, еще много лет для того, чтобы мысли Неймана относительно значения понятия эффективного потенциала окончательно созрели. Итоги своих длительных размышлений Нейман излагает в цитируемой работе. Исходная точка—это принцип Гамильтона, рассматриваемый Нейманом, как *suprema lex физики* ¹⁾.

Нейман показывает (глава 8-я, § 1), что если эффективный потенциал W удовлетворяет ур-ия Гамильтона

$$\delta \int_{\alpha}^{\beta} (T - W) dt = 0,$$

то сила R определяется через эффективный потенциал ур-ием

$$R = \frac{d}{dt} \frac{\partial W}{\partial r'} - \frac{\partial W}{\partial r},$$

Нейман показывает, как при помощи выражения для эффективного потенциала W (1) получается закон Вебера ($R - II$).

Основная мысль Неймана заключается, таким образом, в том, что выражение потенциала W должно быть таковым, чтобы удовлетворять ур-ию Гамильтона.

Эту идею воспринял в 1883—87 годах Гельмгольц, который стремился подчинить ей теорию Максвелла—Гертца.

Гельмгольц назвал выражение $T - W$ кинетическим потенциалом.

Нейман приводит сравнительную табличку обозначений:

C. Neumann (1868).	Helmholtz (1886).
$T - W = T - V - U$	$= L - F$
$T - V + U$	$= L + F$

Так что $T - V = L$, $U = F$. Нейман говорит: «Из того именно обстоятельства, что такой выдающийся исследователь,

¹⁾ См. «Tüb. Progr.», C. Neumann's Princ. d. Elektr., «Math. Ann.», Bd. 17. S. 400.

как Гельмгольц, придавал идее эффективного или кинетического потенциала столь большое значение (einen so hohen Werth), я полагаю, что этой идее предстоит известное будущее».

В последнем (1904 г.) издании сочинений Гельмгольца, именно—в его «Теоретической Физике», мы находим подробное рассмотрение понятия кинетического потенциала.

В главе «Расширение области приложения (значение) динамических принципов» Гельмгольц дает обобщенное ур-ие Лагранжа ($\pm P \neq 0$):

$$\pm P = - \frac{\partial F}{\partial r} + \frac{\partial L}{\partial r} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial r'}$$

В § 46 он развивает понятие «кинетического потенциала». Так как F формулы Лагранжа (согласно первоначальному смыслу) зависит только от координат, то обобщенное ур-ие Лагранжа принимает форму:

$$\begin{aligned} \pm P &= - \frac{d(F-L)}{dr} + \frac{d}{dt} \left[\frac{d(F-L)}{dr'} \right] = \\ &= - \frac{dH}{dr} + \frac{d}{dt} \frac{dH}{dr'} \end{aligned}$$

где $H = F - L$ Гельмгольц, как было указано, обозначает как кинетический потенциал.

Но это понятие здесь строго ограничено первоначальными понятиями F и L , т.-е. потенциала и кинетической энергии.

В § 77 Гельмгольц рассматривает вопрос об обобщении понятия H , ибо существуют явления, в которых «кинетический потенциал» не остается связанным условиями его первоначального определения.

Таковы, например, моноциклические и полициклические системы¹⁾. Их и рассматривает в самом общем виде Гельмгольц.

В заключение Гельмгольц говорит:

«Динамические проблемы, подобные тем, которые мы отметили в этом §, образуют многочисленные аналогии с другими физическими явлениями, которых нельзя свести к общеизвестным движениям тяжелых масс: термодинамические и электродинамические. Существует, однако, в современной физике стремление вывести разнообразные наблюдения закономерности из такого всеобщего принципа, который по внешней форме совпадает с обобщенным принципом Гамильтона и вытекающими

¹⁾ Циклические системы по теории Гельмгольца—Томсона являются главными механизмами «потенциальных сил».

из него обобщенными ур-иями Лагранжа, в которых, однако, кинетический потенциал не подлежит первоначальным значимым для него ограничениям, но представляет некую определенную для каждой области функцию общего характера двух рядов переменных p и q , которые не должны совершенно попарно соответствовать друг другу.

В числе переменных p всегда будут находиться параметры, определяющие положение масс, являющихся «носителями» (энергии), и ускоренное движение которых указывает на наличие пондеромоторных сил; но нет необходимости рассматривать q как скорость тяжелых масс; их можно ввести в виде измеримых интенсивностей электрического тока, увеличение диэлектрической или магнитной поляризации.

Кинетический потенциал будет при этом всегда иметь размерность энергии, которая во всех областях физики складывается определенным образом из переменных, характеризующих состояния: при этом, однако, нельзя будет сказать об отдельных частях функции H , представляют ли они F или L ».

Характерно, однако, то, что Гельмгольц обходит полным молчанием вопрос о том, почему имеет место подобное распространение основных ур-ий механики на все области физики.

Секрет этот Гельмгольц обнаруживает в любопытном замечании, приложенном к знаменитой работе «О сохранении сил». Это замечание относится к 1881 году:

Если признать силу зависящей от абсолютного движения, т.-е. от изменяющегося отношения массы к некоторой сущности, которая никогда не может сделаться предметом возможного восприятия, именно по отношению к неимеющему отличий пустому пространству, то это, как мне кажется, могло бы явиться предположением, которое давало бы надежду на полное решение всех естественно-исторических задач, что, по-моему, необходимо было бы сделать только в том случае, если все другие теоретические возможности были бы исчерпаны.

Дело совершенно ясно. Без понятия «пустого (абсолютного в данном случае) пространства» нельзя решить естественно-исторических задач,—а такого решения сильно опасаются Котсы и Бентлеи. И никакие иные «теоретические возможности» не существуют, о чем свидетельствует вся история физики, и что отмечает сам Гельмгольц.

«Фактическое содержание второй аксиомы Ньютона, равно как и высказанный выше принцип,—что силы, с которыми две массы действуют друг на друга, с точностью определяются, если известны места масс,—совершенно игнорируются в тех электродинамических теориях, в которых допускают, что сила между электрическими массами зависит от ускорения».

Это совершенно привильно не только для электродинамики, но и для движения тяготеющих масс, которые в этом отношении ничем не отличаются от масс электрических.

В связи с современной критикой интересно провести ответ Неймана¹⁾ на замечание Клаузиуса, который, подобно Зеелигеру и Лауэ, совершенно не понял идеи эффективного потенциала. Лауэ и Зеелигер повторяют лишь то, что давно говорил Клаузиус.

Прежде всего Нейман отмечает (в § 2) формальное различие между его потенциалом и потенциалом Вебера.

$$W \text{ (Неймана)} = U + V = \frac{mm_1}{r} \left[1 + \frac{r'^2}{c^2} \right]$$

$$W \text{ (Вебера)}^2) = U - V = \frac{mm_1}{r} \left[1 - \frac{r'^2}{c^2} \right]$$

Кроме того, Нейман подчеркивает различие и по существу. Самое основное здесь—в понятии «переноса потенциала». Нейман указывает (§ 3), что это понятие—ключ к теории тяготения. «Если,—говорит Нейман,—мы по примеру Ньютона примем, что пространственно разделенные вещи непосредственно действуют друг на друга, то можно таким же образом полагать непосредственное действие объектов, разделенных друг от друга временем. Последнее допущение лежит именно в основе моих рассуждений». Нейман указывает, что он такое «временное непосредственное взаимодействие» считает, подобно «ньютоновскому пространственному», чем-то первичным. В этом смысле он высказывается (в ответах на письмо к Веберу в «Тюбингенской программе» 1868 г. («Math. Ann.», Bd. 17, стр. 433). «Принятая мною в программе передача во времени (zeitliche Transmission) потенциала,—говорит Нейман,—которую я тогда в несколько неудачной форме назвал распространением во времени (zeitliche Fortpflanzung), является совершенно новым понятием,

¹⁾ См. «Wissensch. Abhandl.», Bd. 3, S. 205.

²⁾ «Pogg. Ann.», Bd. 73, S. 229.

и именно понятием совершенно трансцендентным, которое должно быть чем-то существенно иным, нежели понятие распространения света или тепла. На эти слова ссылается Зеелигер. Но от того, что Нейман, под влиянием философии Канта, которая базировалась на искаженном Бентли-Котсом учении Ньютона¹⁾, обволакивает свои научные идеи метафизическим туманом, еще не значит, что эти идеи по существу «трансцендентны», Мы опровергаем понятие дальнего действия, как пространственного, так и временного²⁾, принимая, однако, закон Ньютона и понятие эффективного (кинетического) потенциала. Рациональное истолкование механизма тяготения и вообще физических сил—только дело времени, и ни один истинный ученый не имеет права заявлять о «трансцендентности» физических понятий.

Вот почему напрасны жалобы Неймана на то, что его не поняли,—в этом он сам виноват, так как ограничивался формализмом и весьма туманными «трансцендентными» фразами о сущности введенного им понятия. А в эпоху 1860 года это не могло уже иметь успеха, так как на сцену выступила уже физика Фарадея—Максвелла. Если бы Нейман и Гербер открыто стали на физическую, а не на формальную точку зрения, то их поняли бы гораздо лучше, и едва ли удалось бы словесно затуманивать существо теории.

Нейман жалуется, что слова «передача», «распространение» сделались основанием оппозиции против его исследований. «Необходимо принять во внимание,—говорит он,—что подобные слова могут быть только сокращением более или менее сложных представлений». «Между тем, никто не дает себе труда ознакомиться с этими представлениями, прежде чем критиковать новое понятие». Повторяем, что во всем этом виноват сам Нейман, так как он дает только «слово», «представления» же остаются смутными, вследствие желания продолжить

¹⁾ Искажение, задача которого заключается в введении понятия дальнего действия.

²⁾ Любопытно отметить здесь следующее. Принцип Гамильтона, который лежит в основе рассуждений Неймана и объявлен им *suprema lex* физики, является, как известно, *suprema lex* теории относительности. Планк в статье о принципе Гамильтона («Kultur d. Gegenwart. Physik», стр. 781, изд. 25 г.) объясняет это тем, что в теории относительности время играет одинаковую роль с пространством, так что здесь «временное дальнее действие» является столь же законным, как и «пространственное».

традиции абсолютного формализма Бентли-Котса по проведению в физику мистики дальнего действия. Суть дела в том, что при наличии тяготеющих масс между ними имеется постоянная связь в виде потоков энергии той или иной формы: явление тяготения — производное от этих потоков, т.-е. обусловлено одновременным существованием «источников» и «стоков». Распространение же света или тепла совершенно не зависит от присутствия других тел, являясь энергией, испускаемой данным телом и распространяющейся в среде, независимо от наличия тех или иных тел.

Вот, между прочим, характеристика воззрений Неймана в изложении Максвелла (§ 863 главы XXIII-й второго тома трактата «Электричество и магнетизм»): «Клаузиус подверг рассмотрению более глубокое исследование К. Неймана «О принципах электродинамики» (1868 г.). Но Нейман показал, что его теория передачи потенциала от одной электрической частицы к другой совершенно отлична от той, которая предложена Гауссом, принята Риманом и критикована Клаузиусом, в которой распространение подобно распространению света. Имеется, однако, наибольшее возможное различие между передачей потенциала, согласно Нейману, и распространением света. Светящееся тело испускает по всем направлениям свет, интенсивность которого зависит только от самого светящегося тела, а не от присутствия освещенного им тела. Напротив, электрическая частица испускает потенциал, значение которого $\frac{ee'}{r}$ зависит не только от частицы e , которая посылает, но еще от частицы e' , которая получает, и расстояния r , которое разделяет частицы в момент испускания.

В случае света, интенсивность уменьшается по мере того, как свет распространяется в среде; испущенный потенциал прибывает к телу, на которое он действует без того, чтобы изменилась в малейшей хотя бы мере его первоначальная величина.

Свет, полученный освещенным телом, является, вообще говоря, только частью всего падающего на тело света; полученный притягиваемым телом, потенциал тождественен и равен потенциалу, прибывающему к телу.

Наконец, скорость передачи потенциала не является, подобно скорости света, постоянной по отношению к эфиру или

пространству; она, подобно скорости снаряда, скорее постоянна относительно скорости частицы, испускающей потенциал, в момент испускания.

Мы видим, таким образом, что для понимания теории Неймана мы должны представлять себе способ передачи потенциала совершенно иначе, чем в случае распространения света».

Максвелл делает следующее заключение:

«Возможно ли будет когда-либо принять такое понимание в качестве «*construierbare Vorstellung*»—конструируемого представления—того способа передачи, который казался необходимым Гауссу? Не нахожу возможным ответить на этот вопрос; что касается меня, то я никогда не мог скомбинировать в уме и представить себе образ, имеющий некоторое сходство с теорией Неймана».

Действительно, «временное дальноедействие» Неймана не более понятно, чем «пространственное дальноедействие» Бентли-Котса. Сам Нейман указывает, что в эпоху написания «Принципов электродинамики» его представления были еще смутными.

Таковы результаты «работы» Бентлеев и Котсов по проведению в физику абсолютного формализма. Ясность всех физических понятий может быть достигнута лишь тщательной разработкой материальных моделей различных силовых механизмов. В этом отношении величайшее значение имеет вихревая теория материи. Но физики вместо того, чтобы решить действительные проблемы, занимаются часто игрой в математические формулы. Попытки дать схемы действий сил встречаются с априори заготовленным скептицизмом и даже насмешкой, особенно в области пресловутой загадки тяготения. Ценнек, например, дав обзор в «Математической Энциклопедии» всей проблемы тяготения, с некоторым тайным как-будто удовлетворением констатирует, что мы в этом вопросе находимся на том же месте, на котором находились в 18-м веке. Последнее, однако, неверно. Медленно, с большими усилиями, мы все же движемся вперед при помощи таких теорий, как вихревая, источников и стоков, пульсаций. Пока нам еще неясно, в чем заключается действительный механизм, но построенные модели говорят за то, что здесь совершенно не нужна длань всевышнего, и что даже схематическое, но естественное изображение возможного механизма тяготения—уже большое достижение. Конечная скорость распространения тяготения—второй шаг к разгадке загадки тяготения.

5. Якоби об обобщении ур-ий Лагранжа ¹⁾.

Приведем в заключение одно место из знаменитых «Лекций по динамике» Якоби. Это место показывает, насколько правильны математические основания нашей теории.

Рассматривая вопрос об обобщенных ур-иях Лагранжа

$$E m_i \frac{d^2 x_i}{dt^2} = X_i + \lambda \frac{\partial f}{\partial x_i} + \beta \frac{\partial y}{\partial x_i} \dots \dots (5),$$

Якоби говорит:

«Чтобы объять всю область явлений, содержащихся в ур-иях (5), мы должны также обратить внимание на случай, когда в числе условий явно (e x p l i c i t e) входит время. И тогда еще имеют силу ур-ия (5).

Чтобы получить представление о том, каким образом время может находиться в числе условий, мы примем, например, что материальные частицы связаны с движущимися центрами, движение которых дано, связаны так, что центры действуют на материальные частицы без наличия реакции. Для этого предположения необходимо, однако, придать центрам массу, которая сравнительно с массами материальных точек бесконечно велика: в этом случае ур-ия (5) безусловно (ohne Weiteres) приложимы к материальным частицам ²⁾.

Это и есть как раз случай нашей теории. Солнечная масса очень велика сравнительно с массами планет, особенно с массой на меньшей из планет — Меркурия.

Якоби заключает главу следующим замечательным указанием:

«Время может играть особенно значительную роль тогда, например, когда массы в течение времени изменяются. До сих пор, однако, не находим нужным включать последнее предположение в систему мировоззрения (Weltsystem), ибо наблюдения не имеют еще достаточной остроты, чтобы решить, имеет ли место такое изменение масс».

Эти слова Якоби об «изменчивости масс» охарактеризованы Фоссом («Мат. Энциклоп.», т. IV), как «математическая абстракция». Современная теория относительности и, независимо от нее, опыты с быстро движущимися электронами

¹⁾ Из «Vorlesungen über Dynamik» (стр. 57).

²⁾ Нетрудно понять, то условие коби равносильно гипотезе «конечного» распространения скорости тяготения: в этом случае III закон Ньютона (закон akcji и реакции) не приложим в обычном толковании, как «мгновенного» взаимодействия.

обнаружили вполне наглядно премудрость Фоссов. Если вспомнить, что из всех академиков только Якоби признал работу Гельмгольца о сохранении энергии заслуживающей внимания ¹⁾, а остальные, вместе с почтенным Поггендорфом, считали ее «философской» фантазией,—слишком философской,—то мы не будем удивляться судьбе работы молодого немецкого ученого П. Гербера, который впервые приложил с успехом теорию эффективного потенциала к объяснению аномалий планетных движений. Теория Гербера основана на понятии близкодействия и, следовательно, на понятии конечной скорости распространения.

6. Теория Гербера.

P. Druide указывает, что «открытие конечной скорости распространения тяготения имело бы величайшее значение для понимания тяготения, как близкодействия». Это открытие сделал Гербер.

Его статья «Die räumliche und zeitliche Ausbreitung der Gravitation» появилась в 1898 г. («Zeitschrift für Math. und Physik», 1898, Bd. 43). Но «работе Гербера не суждено было получить такого значения, ни, насколько мне известно, вообще какого-либо признания со стороны естествоиспытателей, быть может, потому только, что она дает для критики слишком много уязвимых мест» (P. Lenard).

История с решением Gerber'a представляет собою беспримерный образец узко-классовых тенденций буржуазной науки. Ленар, которого нельзя причислить к представителям «пролетарской мысли», в порыве полемики выдает некоторые секреты полишинеля из быта и нравов ученых жрецов spiritus'a церковной теологии. Хотя, «еще одним годом раньше (т.-е. до появления работы Гербера), представленный на заключение съезда немецких естествоиспытателей доклад о силах, действующих на расстоянии, обнаружил самым ясным образом полную беспомощность, господствовавшую тогда по вопросу о тяготении», но «с работой П. Гербера расправились до чрезвычайности сурово. Между тем, многие другие работы, не свободные от погрешностей при использовании своих технических средств, раз их конечные выводы оказались пригодны, встречали гораздо более мягкую оценку, а иногда даже, при благоприятных внешних обстоятельствах, признавались руководящими».

¹⁾ См. примечание Гельмгольца в последнем русском издании (редакция П. П. Лазарева) его мемуара «О сохранении силы».

Действительно, многие авторитеты признают неудовлетворительность, например, вывода формул Максвелла, но не отвергают этих формул, подтверждаемых опытом. Между тем, формула Гербера, объясняющая движение перигелия Меркурия, отвергается, чтобы 18 лет спустя громко трубить во славу той же формулы, как основного доказательства общей теории относительности!

И вот, кто читал замечательные работы Гербера, не может не видеть причин отвержения теории Гербера. Теория эта является действительным шагом к решению знаменитой «загадки тяготения». Мы покажем, в чем именно основание замечательного результата, полученного Гербером, и каковы возражения его «критиков». Если бы эти «критики» были действительно преданы науке, то они не могли бы не поразиться характером хода мыслей Гербера. Но в 1898 году еще считали возможным утверждать абсолютность логики Ньютоновой (т.-е. Бентли-Котсовой) физики. Еще более 40 лет до этого Риман писал («Werke», S. 498): «Этот способ объяснения посредством притягивательных и отталкивательных сил обязан своему всеобщему применению в физике не непосредственной очевидности (особой рациональности—*Vernunftgemässheit*) или, отвлекаясь от электричества и тяготения, особой легкости, а именно тому обстоятельству, что Ньютонов закон притяжения, вопреки мнению того, кто открыл его, так долго рассматривался, как не допускающий дальнейшего объяснения».

Но в век радия и электромагнитных волн, когда каждая секунда приносит новые победы картезианской (фарадеевской) физики, когда бесчисленные факты неумолимо сокрушают твердыни схоластики, сделалась уже невозможной старая тактика.

И схоласты спешат записать себе в счет чужие победы, дабы ими «доказать» справедливость своей догматики.

Ленар приводит пример «неравной оценки». Этим примером «может служить весьма известное определение Томсоном величины e/m и v для катодных лучей. Экспериментальные основы этой работы никогда не казались мне безупречными (*Ueber Kathoden-Strahlen Ver. W. V. Berlin 20*), что, однако, не помешало мне признать ее значение, так как при принципиально безупречном выполнении я убедился в правильности ее выводов (ср. «*Wied. Ann.*», Bd. 64, S. 280, 1898).

Но и вообще эта работа часто ставится в качестве образцовой на первом месте среди ей подобных, что, конечно, должно представляться несколько странным.

Что теория Гербера фактически признавалась очень серьезной, видно из следующего факта. Ленар неправ, когда говорит, что «работе Гербера совершенно не суждено было получить» признания. В томе V всемирно известной «Encyclopädie d. Math. Wissensch.», в статье Ценнека не только упоминается о работе Гербера, но и приводится основной вывод теории¹⁾. И. Герберу (1909) суждено то, что испытали многие великие люди: запоздалое признание. «Я все-таки полагаю, что позже будет воздана полная справедливость проницательности Гербера, если подтвердятся правильность распространения тяготения и формула движения перигелия».

Перейдем к изложению теории Гербера, а потом рассмотрим «уничтожающие» возражения его критиков. В 1898 году Гербер дал первую редакцию своей теории, в 1902 г. он дополнил эту редакцию в высшей степени замечательным введением («Ann. d. Physik», Bd. 52).

Прежде всего, необходимо заметить, что Гербер находился под сильным влиянием Маха. В работе 1898 г. он дает маховский вывод Ньютоновой потенциальной функции. Этот вывод не выдерживает критики, в редакции 1902 г. отсутствует, и Гербер принимает закон Ньютона как нечто априори данное. Несмотря на влияние Маха, мышление Гербера — фактически картезианское (фарадеевское), и это обусловило его успех, хотя махизм повредил ясности изложения.

Гербер прежде всего отмечает коренное различие (Gegensatz) между его подходом к вопросу и другими попытками. Это отметил также Мах. Гербер ясно понял, что причина неудач в решении проблемы заключается в неверном подходе к вопросу.

После того как различные изыскания по вопросу о скорости тяготения дали столь различные результаты, что найденные численные значения колебались между $3/5$ и 10 млн. скоростей света, необходимо заподозрить, что не ход вычислений или выбор наблюдений, а основные предпосылки обусловили эти большие различия.

Общеизвестна особенность обыденного мышления, которая очень ярко проявляется в библейской космогонии. Сначала была «пустота». Потом «бог» сотворил солнце, луну, звезды, снабдил их «силами тяжести» и т. д.

¹⁾ Между прочим, решение Gerber'a отмечает сам Мах в 4-м издании своей «Механики».

Гербер также отмечает эту особенность на примере знаменитого Лапласа: «Еще большей ошибкой является то, что он рассматривает приходящее от солнца действие, как готовое притяжение, обнаруживающее эффект лишь при встрече с планетой.

«Можно, впрочем, понять, как легко делалась эта ошибка, если принять во внимание, что Лаплас и его современники привыкли, так сказать, о веществе в лять (*verdinglichen*) дальнедействующее притяжение, как нечто хватающее (*greifbares*). Не замечали при этом, что такое понимание несовместимо с конечной скоростью распространения тяготения».

Иначе говоря, Лапласу и его современникам была чужда идея непрерывности, лежащая в основе картезианской физики.

Гербер отмечает значение попыток применения законов электродинамики к проблеме тяготения: эти попытки наталкивали на метод решения вопроса. В самом деле, процесс заряжения тела электричеством—наглядная картина всякого процесса подобного рода.

«Подобно тому, как пространство вокруг электрически заряженного тела обозначается как электрическое поле, при чем под этим понимают, что в этом пространстве имеет место известное изменение состояния, точно так же необходимо сказать: когда в пространстве появляется масса,—возникает поле тяготения, т.-е. некоторое изменение состояния распространяется все дальше и дальше, начиная от этой массы; в чем сущность этого изменения состояния, мы не знаем, мы обнаруживаем существование состояния только из явления притяжения, испытываемого другой массой, помещенной в поле тяготения».

Что может быть проще этих мыслей, основанных на ясных фактах? Но простота и ясность—величайшая опасность для врагов науки, а потому схоластам удается затемнить самое ясное и создавать «мировые загадки».

Гербер хорошо понимает самую сущность вопроса.

«Дело в первую очередь идет не о том, как обнаруживается скорость тяготения в обращении планет или других космических явлениях, а о том, насколько прочно можно обосновать представления о сущности распространяющихся между телами процессов; о том, какие меры непосредственно изменяются такими процессами; какого рода и порядка это влияние».

Но маховский формализм лишает мысли Гербера полной

ясности и является основанием «критического» искажения действительного смысла герберовской теории.

Во II главе Гербер формулирует вопросы. Ни одно понятие не должно остаться темным и неопределенным, и в этом—путь успеха.

«Необходимо выявить,—говорит Гербер,—три основных пункта. Первый касается того, как представлять себе пространство, в котором происходят явления тяготения, в случае как покоя, так и движения масс».

Второй пункт—значение потенциала тяготения.

Третий вопрос—о времени, необходимом для сообщения действия массам. Герберовский ответ на первый вопрос не представляет сомнения. Эйлер правильно отмечает, что всякий, отрицающий абсолютное пространство, этим самым лишается возможности строить науку.

Но из признания пространства как физической реальности немедленно вытекает, как следствие, признание непрерывности процессов в пространстве. Поэтому Гербер говорит: «Существует большое (*erhebliche*) различие, представляют ли себе пространство с той или иной точки зрения. Если мыслить себе, что массы неожиданно, как бы созданные из «ничего», появляются в пространстве и в то же самое мгновение притягиваются друг к другу, то это все, что происходит, и основано на обоюдном присутствии масс. Но если мыслить себе, что притяжение начинается спустя некоторое время после появления в пространстве масс, то тогда из окрестности каждой необходимо должно распространяться некое состояние, которое, принимая во внимание вышеуказанную (физическую) природу пространства, можно назвать «принудительным состоянием» (*Zwangszustand*) пространства; достигая второй массы, это состояние обнаруживается в движении этой массы. В первом случае пространство вокруг массы, поскольку эта масса существует сама по себе, остается безразличным, каковым, в сущности говоря, оно является и при наличии второй массы, представляя лишь «разделяющее расстояние»; во втором случае «принудительное состояние» выступает в окрестностях единичной массы без необходимости наличия другой».

Здесь Гербер действует, подобно Ньютону, в проблеме тяготения. Ньютон вполне основательно хотел трактовать вопрос формально, так как еще не наступило время трактовки в подробностях. То же самое указывает Гербер. Он приводит даже

основание этому: прежде чем рассматривать по существу «принудительное состояние», необходимо решить вопрос о «скорости его распространения» и на основании этого решить, принадлежит ли этот «Zwangszustand» к порядку обычных явлений природы. Конечно, здравому смыслу априори ясно, что это так, но науке необходимы не общие (философские), а математические основания. Гербер делает чрезвычайно важное замечание, непонимание которого искажает смысл примененного Гербером способа вычисления (применение общего ур-ия Лангранжа с заменой T через V (потенциал).

«Необходимо подчеркнуть, что «принудительное состояние» не означает эмпирического факта, но следует из чистого понятия последовательного распространения и только через него может сделаться фактом. Принимать распространение без указанного состояния и вытекающих из него последствий значит впасть в противоречия». Гербер соблюдает большую осторожность: *Hypotheses non fingo*. Эта осторожность послужила основанием для «критического» нападения и утверждения, что вычисления Гербера ложны. Ленар, защищающий Гербера, также совершенно не понял его и вместе с остальными повторяет басню об «ошибках» Гербера.

Но в высшей степени ошибочно было бы думать, что «Zwangszustand» Гербера — это «некое истечение» наподобие луча света. Мы показали выше, что механизм тяготения в самых общих чертах обусловлен «силовым (энергия—движение) потоком, при чем тела—это взаимно связанные «источники» и «стоки движения». Ошибка большинства исследователей (в том числе Лапласа) именно в том, что они не понимали последней точки зрения. Философы (например, Спенсер) указывали на это. В. Оствальд также указывает («Философия природы»): «Все обладающие тяжестью тела составляют одно целое». Этой точки зрения придерживаются J. Bousinesque, ибо «всемирное тяготение» хотя и родственно электромагнитным силам, но разница та, что вторые—это продукты разложения первого, т.-е. они «возникают» и «исчезают»¹⁾. Гербер совершенно отчетливо отмечает это:

¹⁾ Современная теория строения атома довела разложение 'до очень важного пункта: атомы состоят из тяжелых однородных ядер, связанных с электронами силовыми линиями электромагнитного поля. Здесь дано объяснение закона падения тел Галилея. Остается ближе подойти к вопросу о соотношении силовых линий поля тяжести к электромагнитным.

«Его (т.-е. тяготение) ложно поймут, если будут рассматривать и исследовать, как нечто отдельное от масс». И далее:

«Здесь не так, как в случае распространения света, когда дело просто заключается в том, что свет приходит от одного тела к другому. Движение тяготения массы зависит скорее от состояния пространства в ближайших окрестностях, и это состояние обусловлено настолько же этой массой, как и всем другим».

На основании таких предпосылок Гербер развил математическую теорию тяготения. Гербер, как мы указали, говорит о «потенциале» вообще. Это и послужило основанием обвинения Гербера в смешении понятий живой силы и потенциала. Но если в словах искать смысла, то легко убедиться, что Гербер по существу имел в виду понятие «кинетического (эффективного) потенциала», следуя здесь Нейману и Гельмгольцу. Теории последних носят слишком формальный характер, этим же формализмом заражен Гербер, но всякий, желающий видеть, сумеет за формой усмотреть существо дела.

Как мы указали выше, работа Гербера впервые появилась в 1898 году. Вначале Гербер дает маховский вывод Ньютонова потенциала. Этот вывод выброшен в работе 1902 г., которая снабжена замечательным выше-цитированным вступлением. Гербер, трактуя вопрос формально, не мог отчетливо выявить смысла применения им формулы Лагранжа. Но нет никакого сомнения, что Гербер имел в виду обобщенную формулу Лагранжа. Это видно хотя бы из того факта, что Гербер не пишет, как обычно пишут у-ие Лагранжа, а именно

$$\frac{\partial K}{\partial r} - \frac{d}{dt} \frac{\partial K}{\partial r'} = \frac{dU}{dr},$$

а пишет прямо: ускорение

$$g = \frac{1}{m} \frac{\partial K}{\partial r} - \frac{1}{m} \frac{d}{dt} \frac{\partial K}{\partial r'},$$

т.-е. применяет формулу для эффективного потенциала ¹⁾ Неймана—Гельмгольца!

Приведем несколько характерных мест:

«Если мыслить себе, что движение взаимодействующих сил начинается «мгновенно», то так же мгновенно образуется по-

¹⁾ У Гербера изменены знаки в формуле, так как он берет для эффективного потенциала знак (+), а для выражения силы—знак (—). См. дальше.

тенциал. Но если полагать, что движение тел начинается через некоторое время, так как «принудительное состояние» распространяется постепенно, то мы получим «разрыв этой непрерывности, если считать одновременным прибытие «принудительного состояния» к притягиваемому телу и образование полной величины потенциала притягивающего». Поэтому при развитии потенциала от нуля до полной величины, так как это развитие происходит в массе, а не в свободном от массы пространстве, речь идет не о предшествующем движении. Потенциал не сообщается всем частям массы, а образуется постепенно. Можно установить, сколько требуется для этого времени в случае неподвижности масс. Это время во всяком случае пропорционально скорости «принудительного состояния». Таким образом, нет никакого сомнения в сущности взглядов Гербера.

Рассмотрим теперь «критику» герберовской теории. Зеелигер и Лауэ в 53 томе «*Annalen d. Physik*» обсуждают работу Гербера. Зеелигер обвиняет Гербера в том, что он, Гербер, 1) обнаружил «удивительное непонимание смысла ур-ий Лагранжа»; 2) смешал функции живой силы и потенциала; 3) забыл о том, что потенциал не может зависеть от скорости.

Эти обвинения—замечательный образец схоластической мудрости. Особенно любопытно последнее: «*Das Potential nicht von den Geschwindigkeiten abhängen darf!*»!

Невольно вспоминаешь речь не менее мудрого академика Bertholona о метеорах, как о «физически невозможном явлении», что, согласно мудрому академику, «обязательно должен понять всякий образованный человек». Почему потенциал не может зависеть от скоростей,—это можно уразуметь, выяснив физический и реальный смысл потенциальной функции. Но для Зеелигера—это просто некая буква, буква мертвая, ибо он не в состоянии понять, почему Гербер применил к этой функции формулу Лагранжа.

Но что говорит собственно формула Лагранжа? Она указывает на зависимость между ускорением и кинетической энергией. Но Гербер ведь считал потенциал не просто «удобной» абстракцией, а характеристической величиной, пропорциональной кинетической энергии среды (ее называют очень удачно—потенциальной), которая и образует поле. Ведь вопрос можно было бы и так поставить, что в сущности и делает осторожный Гербер.

Допустим, что количество энергии, которая образует потенциал, при наличии движущихся масс, пропорционально статическому потенциалу и изменению скорости. Это—гипотеза, но опыт может оправдать или отвергнуть ее. На чем она основана? На том, на чем Ньютон обосновал первоначально закон тяготения¹⁾.

И вот опыт подтверждает гипотезу, и, следовательно, она верна (относительно). И хотя падение метеоров «физически невозможно», но все-таки они продолжают падать. Зеелигер думает, что формулу Лагранжа и пропорциональность потенциала скорости нельзя применять, а наблюдения перигелия Меркурия доказывают правильность этих воззрений. Зеелигер дает свою «теорию» в доказательство ложности герберовских выводов.

Но это «доказательство» Зеелигера построено на формальном значении понятия «потенциал» и на полном игнорировании развитых Гербером во вступлении²⁾.

Вместо того, чтобы подумать, почему Гербер применил формулу Лагранжа,—Зеелигер объявляет о «merkwürdiges Verkennen».

Неужели Зеелигер серьезно может утверждать (а это, пожалуй, можно сделать для тех, кто не читал работы Гербера), что человек, способный к столь глубоким рассуждениям, какие даны во вступлении, и во всяком случае не лишенный способности математических выкладок (как это видно из вычисления перигелия Меркурия), не сумел понять смысл простого закона Лагранжа и обычного понятия потенциала? Вот, впрочем, рассуждения Зеелигера, которые с полной очевидностью показывают, что он остался на той старой антидиалектической точке зрения, о которой метко говорит Гербер в начале работы.

Пусть F —сила. Тогда

$$X = F \frac{x}{r}, \quad Y = F \frac{y}{r} \quad \text{и} \quad Z = F \frac{z}{r}.$$

¹⁾ Конечно, в картезианской физике обоснование более чем формальное, — оно исходит из представления всеобщности кинетической энергии.

²⁾ Странно, что Зеелигер притворяется здесь, будто бы ему совершенно неизвестно то расширение понятия потенциала, которое обсуждают Нейман и Гельмгольц в своих работах. Зеелигеру следовало бы выступить с доказательством невежества «merkwürdiges Verkennen» Гельмгольца и Неймана. Это было бы любопытно, но, разумеется, нападение на «авторитет»—это нечто невысказанное в схоластическом мире.

Имеем:

$$X \frac{dx}{dt} + y \frac{dy}{dt} + Z \frac{dr}{dt} = \frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dr} \frac{dr}{dt} + \frac{dV}{dr'} \frac{dr'}{dt},$$

полагая $V = f(r, r')$, где r' — производная.

Так как $X^2 + Y^2 + Z^2 = R^2$, а $x^2 + y^2 + z^2 = r^2$, то

$$R \frac{dr}{dt} = \frac{dV}{dr} \frac{dr}{dt} + \frac{dV}{dr'} \frac{dr'}{dt}.$$

Все формально правильно. Но вот тут начинается самая изумительная ошибка Зеелигера, показывающая, что он абсолютно не понял мыслей Гербера.

Что такое V в приведенных вычислениях? Зеелигер думает, что это «эффективный потенциал» Гербера.

$$V = K = \frac{m}{r \left(1 - \frac{1}{c} \frac{dr}{dt} \right)^2},$$

а F — это производная сила Гербера.

Подставляя V в полученную формулу, Зеелигер торжественно доказывает ошибочность герберовской теории.

Но, спрашивается, откуда Зеелигер берет подобные утверждения? Они основаны только на том, что Гербер употребил слово «потенциал» и, будучи в высшей степени уверен в ясности своих мыслей, не позаботился о «разъяснениях»; это имело роковые последствия, ибо никто решительно не понял мыслей Гербера. И даже Ценнек дает герберовское выражение, совершенно не отмечая, что это — «эффективный потенциал».

Ошибка Зеелигера заключается в том, что он спутал герберовский эффективный потенциал с эквивалентным ему статическим, так же, как это сделал Клазиус в отношении потенциала Неймана. В самом деле, если взять эквивалентный герберовскому статический потенциал, т.-е.

$$V = k \frac{m_1 m_2}{r} \left(1 - \frac{3r'^2}{c^2} \right),$$

то, произведя вычисления по способу Зеелигера, мы получим герберовское значение силы. Читатель сам легко сможет проделать это вычисление. Удивительно, однако, что подобного рода вычисление с эквивалентным статическим потенциалом Вебера (отличающимся лишь множителем при r'^2 от герберовского) было проделано Нейманом в § 2 главы 8-й вышеуказанной

его работы, и это осталось совершенно неизвестным Зеелигеру! Обличая Гербера в невежестве, Зеелигер обнаружил лишь собственное.

Другой критик—Лауэ делает ту же ошибку и обнаруживает полное непонимание идеи непрерывности. Рассматривая выражение кинетического потенциала, Лауэ доказывает его «противоречивость».

«Здесь r и $\frac{dr}{dt}$ — это расстояние и скорость взаимодей-

ствующих тел в один и тот же момент времени. Если тяготение распространяется с конечной скоростью, то физическое состояние в том месте, где находится притягиваемое тело, не может определяться одновременным положением и скоростью притягивающегося тела, но его тяготением и скоростью в определенный предшествующий момент».

Замечательный отрывок! Приходит Гербер и говорит: Лаплас и старые ученые не понимали идеи непрерывности. Они «овеществляли» (*verdinglichten*) «силы тяготения», как нечто «хватательное» (*greifbares*), что это—главный источник ошибок. Приходят Зеелигер и Лауэ и критикуют Гербера на основании именно этих самых старых заблуждений, которые пытался устранить Гербер. Последний несколько раз подчеркивал, что тяготение («*zwangszustand*») нельзя себе представлять (представление Лапласа), как нечто «исходящее», «приходящее» и «хватательное». Это явный антропоморфизм: «Человек протягивает руку и хватается предмет».

Философская глубина мыслей Гербера видна из того, что он отметил безразличие того, будем ли мы предполагать, что «хватательная рука» проходит расстояние с конечной или бесконечной скоростью. Ибо весь вопрос—в «моменте хватания», в переходе от нулевой скорости к конечной. Здесь та же самая задача, что при ударе шаров: если отвергнуть идею непрерывности, то понимание удара шаров делается невозможным. Как, действительно, возможен переход от «нуля» к «конечной величине»? Эта «проблема», как известно, занимала умы¹⁾, а Спенсер объявил ее «агностической».

В дальнейшем мы находим подобные же замечательные критические образцы. Гербер принял за начало координат неподвижное солнце. Но тогда,—говорит критик,—«поле тяготе-

¹⁾ См. статью Фосса в IV томе «Мат. Энциклопедии».

ния неподвижно во времени». Каким же образом «скорость распространения тяготения» в неизменном поле может влиять на движение планет? Здесь в полной отчетливости выступает метафизичность образа мышления Лауэ и ему подобных. Лауэ воображает, что поле тяготения—это «особая вещь», и что приходит в это поле «другая вещь» (тело) и пассивно притягивается первой «вещью». Но диалектики, в противоположность метафизикам, рассматривают не вещи, а процессы, и отвергают представление о «пассивных» телах. Тяготение—это процесс, в котором принимают участие—активное участие—как взаимодействующие тела, так и вся среда.

Мы считаем лишним останавливаться на других замечаниях Лауэ.

Заметим лишь следующее. «Мелкую рыбешку»—Гербера критики разнесли, а вот как быть с китами-то, с признанными авторитетами? Здесь Лауэ бормочет что-то невнятное.

Например у великого физика Лоренца также находим:

$$\varphi = \frac{e}{4\pi \left[r \left(1 - \frac{v}{c} \right) \right] \left| t - \frac{r}{c} \right|}$$

То-есть выражение потенциала Лоренца структурно совершенно однородно с выражением Гербера¹⁾. Как тут быть?

И вот Лауэ дает «изумительное» объяснение. Лоренц, видите ли, —поставил внизу значки $t - \frac{r}{c}$, и все пришло в порядок! Жаль, что бедняга Гербер этого не догадался сделать! Но едва ли бы это помогло, ибо «ты уж тем одним виноват, что хочется мне кушать».

Эйнштейн также взял солнце за начало координат, но, видите ли,—у Эйнштейна это основано на каких-то «таинственных» (из мира, очевидно, пятого измерения) соображениях.

Оппенгейм в 54-м томе «Анналов» (стр. 164) поместил статью «К вопросу о скорости распространения тяготения». Эта статья является воспроизведением старой работы автора («Критика

¹⁾ У Гербера имеется еще множитель $\frac{1}{1 - \frac{v}{c}}$, учитывающий изменение скорости «принудительного состояния».

Ньютонова закона тяготения», 1903 г.). Оппенгейм, не в пример другим критикам, обнаруживает полное понимание работы Гербера.

Прежде всего он отмечает веззрения К. Неймана на этот вопрос. Согласно Нейману, потенциал выражается, в согласии с Вебером, формулой:

$$P = k^2 \frac{m_1 m_2}{r - \Delta r} = k^2 \frac{m_1 m_2}{r \left(1 - \frac{\Delta r}{r}\right)} = k^2 \frac{m_1 m_2}{r} \left[1 + \frac{1}{c^2} \left(\frac{dr}{dt}\right)^2\right].$$

Оппенгейм указывает, что Гербер обобщил это выражение, введя вторую определяющую константу:

$$P = k^2 \frac{m_1 m_2}{r \left(1 - \frac{\Delta r}{r}\right)^\lambda}.$$

Получают таким образом (проведя вычисление в полном согласии со способом Неймана)¹⁾:

$$P = k^2 \frac{m_1 m_2}{r} \left[1 + \frac{\lambda}{2} \frac{1}{c^2} \left(\frac{dr}{dt}\right)^2\right].$$

Исходя из величины движения перигелия Меркурия, имеем:

$$\frac{\lambda (\lambda + 1)}{2} = 3.$$

Откуда $\lambda_1 = 2$, $\lambda_2 = -3$. Гербер принял $\lambda = 2$ и получил:

$$P = k^2 \frac{m_1 m_2}{r} \left[1 + \frac{3}{c^2} \left(\frac{dr}{dt}\right)^2\right].$$

¹⁾ Эти вычисления приведены в §§ 1 и 3 главы 8-й вышеуказанного сочинения Неймана.

²⁾ Здесь Оппенгейм имеет в виду, собственно говоря, не эффективный потенциал Гербера, а эквивалентное ему выражение, которое при способе вычисления Неймана дает то же выражение для силы F. Как вычисление Гербера с его формулой эффективного потенциала, так и вычисление Неймана с приведенной у Оппенгейма формулой эффективного потенциала Вебера—Римана приводят к формуле:

$$F = k^2 \frac{m_1 m_2}{r^2} \left[1 - \frac{3}{c^2} \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + \frac{6r}{c^2} \frac{d^2 r}{dt^2}\right].$$

Вычисления Неймана носят формальный характер и базируются на различных предположениях относительно вида функции эффективного потенциала.

У Вебера $\lambda=1$, и сравнительно с Гербером получаются следующие величины возмущений:

	Вебер ($\lambda=1$)	Гербер ($\lambda=2$).
Меркурий	13,65''	40,95''
Венера	2,86''	8,58''
Земля	1,27''	3,58''
Марс	0,44''	1,32''
Юпитер	0,42''	0,06''

Т.-е. цифры Гербера удовлетворительно совпадают с наблюдениями, и лишь для Марса величина меньшая. Оппенгейм заключает:

«Мы видим, что задача, поставленная Гербером, по существу заключалась лишь в том, чтобы найти допустимое физическое основание для обобщения простого неймановского выражения запаздывающего потенциала:

$$P = k^2 \frac{m_1 m_2}{r \left(1 - \frac{\Delta r}{r}\right)}$$

$$b \quad P = k^2 \frac{m_1 m_2}{r \left(1 - \frac{\Delta r}{r}\right)^2}$$

Оппенгейм дает еще следующее характерное указание:

«Вышеупомянутые характеры выражения P_1 (согласно Герберу) и P_2 (по Леви)¹⁾ только увеличивают на два число законов, формулированных Вихертом в его сообщении «Движение перигелия Меркурия и общая механика» («Gött. Nachr.», 1915, S. 125), законов, назначение которых—так обобщить формулу Ньютона, чтобы получилось объяснение аномального движения перигелия Меркурия; правда, принципы обобщения в обоих случаях различны: здесь (у Вихерта) принцип относительности

¹⁾ Леви предложил свою формулу эффективного потенциала, объединяющую формулы Вебера и Римана:

$$W \text{ (Вебера)} = k \frac{m_1 m_2}{r} \left(1 + \frac{r'^2}{c^2}\right)$$

$$W \text{ (Римана)} = k \frac{m_1 m_2}{r} \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right)$$

$$W \text{ (Леви)} = k \frac{m_1 m_2}{r} \left(1 + \frac{1-\alpha}{c^2} r'^2 + \frac{\alpha}{c^2} v^2\right),$$

где α —опытная константа.

пространства и времени; у Гербера и Леви—запаздывание потенциала в смысле некоторого рода аберрации, при которой, однако, члены первого порядка и скорости распространения тяготения отпадают, так как они ничего не приносят в выражение эффективного потенциала».

Эти вежливые выражения можно перевести на более грубый язык. Это—давно известная максима: что дозволено Юпитеру, того нельзя быку.

Доказательство относительности пространства и времени ¹⁾, т.-е. идеализма, может служить оправданием самых даже нелепых и неверных учений; с другой стороны, все самое верное и ясное, но пропитанное «грязным материализмом», подвергается замалчиванию и прямому искажению.

Что ответил Зеелигер на указания Оппенгейма? В первой статье он говорит об «удивительном непонимании смысла ур-ий движения Лагранжа 2-й формы»; о том, что Гербер спутал «потенциал» с «кинетической энергией». Когда Оппенгейм вежливо намекнул на то, что в обобщенной формуле Лагранжа T имеет самое общее значение, и сослался на «генералов от науки» в роде К. Неймана и Гельмгольца, то Зеелигер, вместо того, чтобы признаться в своей ошибке, пытается спасти себя схоластическими увертками.

Мы не будем разбирать их. Статья Гербера столь прозрачна, и общий ход мыслей так ясен, что читатель, ознакомившись с работой Гербера и lamentациями Зеелигера, легко оценит эти последние.

Мы отметим только последний аргумент Зеелигера. Он приводит слова Неймана, как доказательство «сложности вопроса» об эффективном потенциале и степени права Гербера говорить о конечной скорости распространения тяготения. Вот эти слова:

«Сам автор (т.-е. Нейман) говорит, что этот перенос эффективного потенциала—совершенно новое и совершенно трансцендентное понятие и нечто совершенно другое, нежели распространение света и тепла». Но ведь это буквально слова Гербера ²⁾.

¹⁾ Мы не имеем здесь в виду Вихерта, так как последний «относительность» трактует в материалистическом смысле; формально, однако, Вихерт в указанной работе базируется на теории относительности, так что его результаты могут быть истолкованы в смысле релятивизма.

²⁾ Стр. 421 т. 52 «Ann.»: «Es ist hier nicht wie z. B. bei der Fortpflanzung des Lichtes», и т. д.

Именно Гербер поставил себе целью физически обосновать это «совершенно новое и трансцендентное» понятие, превратив его в «имманентное», и только махизм помешал Герберу вполне ясно показать смысл «эффektivного» (кинетического) потенциала.

Итак, основное положение Гербера приводится в качестве аргумента против теории Гербера.

Для того, чтобы выявить с еще большей четкостью положение теории Гербера среди других теорий, мы дадим несколько дополнительных справок по истории проблемы тяготения¹⁾.

Остановимся прежде всего на физической стороне вопроса и укажем родственные теории Гербера учения. Теория Гербера принадлежит к числу так наз. «гидродинамических теорий», согласно классификации Друдэ, или к числу теорий, в которых основой служат понятия «разностей давлений и течений в эфире», по классификации Ценнека. Еще Ньютон в известных вопросах оптики полагал, что тяготение может быть обусловлено разностью давлений в эфире. Это воззрение развивали Ph. Villemott, L. Euler, J. Herapath. Понятие разности давлений приводит к понятию «эфирных потоков». J. Bernoulli, B. Riemann, J. Jarkowski, Helm, C. Pearson считали такого рода потоки причиной тяготения. В виде возражений против этого учения выдвигаются обычно также аргументы: 1) непонятна причина эфирных потоков; 2) если эфир втекает в массы, то эти массы должны увеличиваться, и, следовательно, должно увеличиваться тяготение. Эти возражения основаны на закоренелом метафизическом образе мышления, на представлении о материи, как о чем-то «твердом, инертном и мертвом», на непонимании сущности движения.

В самом деле: если материю лишить одного из ее неотъемлемых признаков движения, если мыслить себе массу абсолютно инертной, что необходимо будет искать особых причин для «эфирных потоков».

Но если всякая конкретная материя—это по существу «кинетическое образование» и представляет собою лишь стационарное равновесие разнообразных «эфирных потоков», то эти потоки не требуют особых «причин», так как их природа и заключается в движении. Что касается второго возражения, то оно основано на формальном понимании дела и на тех же метафизических тенденциях обычного мышления.

¹⁾ Эти справки мы заимствуем главным образом из работы Ценнека (том V «Mat. Энциклоп.») и Друдэ («Ann. d. Physik», Bd. 62).

Действительно, весь вопрос заключается в том, что такое масса. Мы разъяснили этот вопрос в статье первого сборника «Воинствующий материалист». Из этого разъяснения легко видеть, что «сток» поглощает не материю (первого рода), а движение, присущее этой материи. Иначе говоря, абсолютная масса остается неизменной. Возникает, однако, вопрос, куда девается поглощенная энергия? Всякому диалектику совершенно ясен ответ на этот вопрос.

Целый ряд мыслителей, хотя и не диалектиков, давно ответил (косвенно) на этот вопрос, например, вышеупомянутые Спенсер, Оствальд, Буссинек.

Система взаимодействующих тел—это единая равновесная система. Так как, с нашей точки зрения, это равновесие—«кинетическое», то «поток энергии», образующий механизм тяготения,—«один из многих», образующих равновесие системы. Ведь «источник»—это вместе с тем «сток», и обратно.

Такое преобразование понятий приводит к принципиальному (в физическом смысле) объединению различных теорий тяготения.

Возьмем, например, группу теорий, в которых основой служит понятие «эфирных колебаний».

К этой точке зрения примыкают Гук, Guot, Guthrie, Keller, Challis, Вjerknes и, наконец, Лоренц, развивший теорию электромагнитных колебаний. Если тяготение вызывается «волнами», то это действие волн основано в конечном итоге на известном количестве движения, сообщаемом ежесекундно телам (сила!). Любопытно отметить следующий факт. Н. А. Lorenz развивал электромагнитную теорию тяготения. Он пришел к заключению ¹⁾, что притягивание возможно только в том случае, если предположить поглощение энергии элементами объема, в которых находятся молекулы. Так как Лоренц никак не сумел объяснить этого «исчезновения» энергии, то он отказался от собственной теории.

Этот факт с поразительной наглядностью показывает силу метафизического образа мышления. Привычка считать материю «инертно-твердым» началом, а не стационарным итогом сложнейших движений, имеет роковые для понимания вопроса последствия.

Теория «эфирных ударов» ²⁾ в принципе также сводится к известному «поглощению движения». Она замечательна тем,

¹⁾ См. Zennek, стр. 65.

²⁾ Впервые развита Лесажем.

что с особой наглядностью выясняет сущность «механизма кинетического равновесия», являясь наиболее диалектической в своем основном предположении. Согласно Лесажу, мировое пространство наполнено громадным количеством движущихся эфирных частиц (*corpuscules ultramondains*). Если имеется лишь одно тело A , то, получая удары со всех сторон, оно в итоге не будет испытывать никакого действия. Но если имеется другое тело A_1 , то оба тела служат друг для друга как бы «ширмами», в результате чего и получается явление тяготения.

Диалектическая основа этого учения—в предположении о «статической природе тяготения». В. Томсон восстановил это учение в 1871 году, пользуясь понятием «вихревого атома». Такой атом обладает кинетической природой (вихрь) и удивительным свойством упругости, как мы указали в нашей статье. Пользуясь представлением об упругом вихревом атоме, можно наглядно пояснить сущность «кинетического равновесия» на основе теории Лесажа. Если быстро движущийся вихревой атом сталкивается с «ширмой», то он в первый момент отдает ей свое движение: ширма поглощает движение. Так как при этом нарушается равновесие системы, то для ее восстановления необходим дополнительный процесс.

Он заключается в том, что под влиянием появившихся «упругих сил» (изменение конфигурации вихревого кольца) «вихревой атом» отражается в обратном направлении. Непрерывность толчков вызывает «силы притяжения», подобно тому, как удары молекул о стенки сосуда вызывают «силы давления». Теория Лесажа и кинетическая теория газов являются блестящим образцом для понимания природы кинетического равновесия системы ¹⁾. Более того: нет большой беды, если действие тяготения происходит с затратой энергии, ибо представление об абсолютном равновесии—это продукт метафизики. Весь вопрос в том, оправдывается ли теоретическая величина энергии с практически допустимой. Вычисление отношения энергии имело бы большое значение для решения вопроса о природе тяготения.

¹⁾ Дж. Дж. Томсон показал, что корпускулы Лесажа можно заметить чрезвычайно быстрыми рентгеновскими лучами. Так как, по последним исследованиям, кванты света—не что иное, как вихревые кольца, то теория Лесажа—Томсона получает неожиданное подкрепление.

С математической точки зрения, теория Гербера обладает тем преимуществом, что она менее формальна, чем другие, и вместе с тем удовлетворительно объясняет астрономические аномалии.

Мы уже указали на закон Вебера, который в той или иной видоизмененной форме пытались приложить к явлению тяготения. В этом направлении работали Seegers, Holzmüller, Tisserand, Servus. Для движения перигелия Меркурия получалось около 14". Тиссеран воспользовался видоизменением закона Вебера (для силы), предложенным Гауссом:

$$K = \frac{k m_1 m_2}{r^2} \left\{ 1 + \frac{2}{c^2} \left[\left(\frac{d(x_1 - x_2)}{dt} \right)^2 + \left(\frac{d(y_1 - y_2)}{dt} \right)^2 + \left(\frac{d(z_1 - z_2)}{dt} \right)^2 - \frac{3}{2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 \right] \right\};$$

получалась для Меркурия величина в 28".

Согласно Levy, римановская форма потенциала Вебера

$$P = \frac{k m_1 m_2}{r} \left\{ 1 - \frac{1}{c^2} \left[\left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dz}{dt} \right)^2 \right] \right\}^1)$$

дает ту же величину.

Поэтому Леви предложил соединить оба закона — Вебера и Римана — в форме соотношения:

$$P = PW + \alpha (PR - PW)$$

и определить α на основании данных опыта.

Этот способ является нерациональным вдвойне: прежде всего потому, что сами законы Вебера и Римана получены путем чисто математических гипотез, так что вторичная математическая комбинация превращает формулу в простое «эмпирическое приспособление» к опыту.

Заметим, что в этих теориях скорость распространения тяготения равна скорости света, при чем изменяется форма закона Ньютона.

Желая сохранить эту форму и объяснить явления, ряд исследователей (Лаплас, Lehmann-Filhes, Nepperger, Oppenheim, Oppoltzer) получил самые разнообразные величины скоростей:

Лаплас—10⁷с, Оппенгейм—12—10⁶с, Геппергер—500с и др.

¹⁾ x, y, z —относительные координаты масс m_1 и m_2 ; не смешивать этот закон потенциала с римановским эффективным потенциалом, соответствующим ур-ию Гамильтона; эффективный потенциал имеет знак (+) при квадрате скорости.

Все эти теории, удовлетворяя одним данным, противоречили другим.

Так, Зеелигер предложил в формуле Лапласа:

$$K = \frac{k m_1 m_2}{r^2} e^{-\alpha r}$$

на основании движения перигелия Меркурия, $\alpha = 0,00000038$. Это значение противоречит наблюдаемым аномалиям других планет.

Совершенно противоречит наблюдаемым аномалиям закон Неймана:

$$P = k m_1 m_2 \left(\frac{Ae^{-\alpha r}}{r} + \frac{Be^{-\alpha r}}{r} \dots \right).$$

Таким образом, теория Гербера удовлетворительна как с рациональной, так и с экспериментальной точек зрения.

В заключение дадим герберовское вычисление силы. Принимая массу планеты равной единице, имеем, разлагая по строке Тейлора:

$$\begin{aligned} K \text{ (эффективный потенциал)} &= \frac{m}{r \left(1 - \frac{1}{c} \frac{dr}{dt} \right)^2} = \\ &= \frac{m}{r} \left(1 + \frac{2}{c} \frac{dr}{dt} + \frac{3}{c^2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 \dots \right); \end{aligned}$$

$\frac{dr}{dt}$ — величина ничтожно малая сравнительно со скоростью c , так что можно отбросить члены выше второго порядка.

Для вычисления силы F пользуемся обобщенной формулой Лангранжа:

$$\begin{aligned} F &= \frac{\partial K}{\partial r} - \frac{d}{dt} \frac{\partial K}{\partial r'}; \\ \frac{\partial K}{\partial r} &= - \frac{m}{r^2} \left(1 + \frac{2}{c} \frac{dr}{dt} + \frac{3}{c^2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 \dots \right); \\ \frac{\partial K}{\partial r'} &= \frac{m}{r} \left(\frac{2}{c} + \frac{6}{c^2} \frac{dr}{dt} \right); \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial K}{\partial r'} &= m \frac{\frac{6}{c^2} \frac{d^2 r}{dt^2} - \left(\frac{2}{c} + \frac{6}{c^2} \frac{dr}{dt} \right) \frac{dr}{dt}}{r^2}. \end{aligned}$$

Следовательно,

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{\partial K}{\partial r} - \frac{d}{dt} \frac{\partial K}{\partial r'} = -\frac{m}{r^2} \left(1 + \frac{2}{c} \frac{dr}{dt} + \frac{3}{c^2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{m}{r^2} \frac{2}{c} \frac{dr}{dt} + \frac{6}{c^2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 - \frac{6}{c^2} \frac{d^2 r}{dt^2} \right) = \\
 &= -\frac{m}{r^2} \left(1 - \frac{3}{c^2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + \frac{6r}{c^2} \frac{d^2 r}{dt^2} \right).
 \end{aligned}$$

Известная формула Вебера совершенно аналогична с коэффициентами, в три раза меньшими при двух членах. Поэтому она дает только $\frac{3}{8}$ наблюдаемого движения перигелия Меркурия.

Применив эту формулу к вычислению перигелия Меркурия, мы получим:

$$c^2 = \frac{6\pi m}{\alpha (1 - e^2) \varphi},$$

где α — большая полуось, φ — перигелий, c — искомая скорость тяготения, e — эксцентриситет.

Так как

$$m = \frac{4\pi^2 \alpha^3}{T^2}$$

(T — время обращения), то

$$\varphi = 24\pi^3 \frac{\alpha^2}{T^2 c^2 (1 - e^2)}.$$

Эту последнюю формулу, спустя 18 лет после Гербера, получил Эйнштейн:

Для Меркурия: $\alpha = 0,3871 \cdot 149 \cdot 10^6$; $e = 0,2056$; $T = 88$ дней; $\varphi = 4,789 \cdot 10^{-7}$, — что дает для скорости тяготения величину 305.500, т.-е. скорость света. Таким образом, опыт блестяще подтверждает вышеизложенную теорию. Это будет поразительно ясно, если мы взглянем на таблицу эксцентриситетов:

Меркурий	0,2056
Венера	0,007
Земля	0,017
Марс	0,093
Юпитер	0,048
Сатурн	0,056
Уран	0,046
Нептун	0,08

Неправильности замечены у планет наибольшего эксцентриситета (Меркурий, Марс) и наименьшего (Венера). Конечно,

причины возмущений сложны. Но для наименьшей планеты — Меркурия, находящейся ближе всего к солнцу, осуществляется с высшей степенью точности тот идеальный случай, который, собственно говоря, и лежит в основании герберовского вычисления: взаимодействие двух изолированных тел, из которых одно сравнительно малой массы и имеет значительное радиальное движение (эксцентриситет 0,2056).

Замечательно то, что незначительность эксцентриситета Венеры обнаруживается формулой Гербера в том, что для Венеры получается значительно меньшая (в пять раз) величина аномалии сравнительно с Меркурием, но такая, которая, повидимому, больше наблюдаемой: Венера движется по почти круговой орбите, и определение ее аномалии чрезвычайно трудно.

Невязка получается лишь для Марса: эксцентриситет—второй по величине и больший эксцентриситета земли при равных почти массах, но для него формула Гербера дает величину, меньшую наблюдаемой (1,32" вместо 8,1"), а главное—меньшую земной аномалии, в то время, когда в действительности имеет место обратное.

Для диалектика тут нет ничего неожиданного. Эта невязка, вопреки мнению некоторых, нисколько не опровергает теории. В самом деле, если проследить за рассуждениями, которые приводят к формуле Гербера, легко видеть, что в основе этой формулы лежат вполне определенные абстракции. Действительность же чрезвычайно сложна. Возможно, например, что невязка с Марсом обусловлена тем, что Марс расположен на границе между «малыми» и «большими» планетами. Впрочем, J. Bauschinger (см. его статью в «Enzykl. d. Math. Wissensch.», B. VI₂ 17, стр. 889); произведший вычисления по формуле аномалий Гербера—Эйнштейна, замечает, что невязка с Марсом может быть объяснена несовершенством ньюкомбовской теории Марса,—ведь сравнение производится на основании таблиц Ньюкомба, представляющих определенную обработку непосредственных наблюдений.

Во всяком случае, совпадение теории в нескольких случаях и невязка в одном является вполне нормальным диалектическим фактом, который будет способствовать усовершенствованию теории. Противоречие—душа всякого движения, в том числе и научного. С точки зрения диалектики и вопреки метафизике, ни одна теория не в состоянии обнять всех фактов,—

это означало бы смерть науки. Теория Гербера правильна в основном и тем более так, что она объясняет не только аномалии планетных движений, но еще два оптических явления, очень далеко отстоящих по своей природе от планетных аномалий. «Случайное» совпадение всех этих вещей было бы настоящим чудом.

5. Введенное нами понятие фиктивного статического потенциала.

Мы указали, что потенциал, которым мы пользуемся в своих вычислениях, хотя формально и тождественен с потенциалом Римана, отличается от него по существу, являясь фиктивным статическим потенциалом, эквивалентным герберовскому эффективному. Теперь мы имеем возможность более основательным образом объяснить это различие.

Прежде всего, фиктивный статический потенциал относится к ур-ию энергии, в то время как потенциал Римана—к ур-ию Гамильтона, т.-е. к обобщенному ур-ию Лагранжа. Далее, в отличие от эквивалентного статического потенциала Вебера, наш потенциал не имеет никакого отношения к выражению силы.

Таким образом, специфическая особенность введенного нами понятия заключается в том, что она носит исключительно энергетический характер. Эта особенность не случайна, а объясняется самым происхождением понятия—из анализа двух формул энергии.

Чтобы уяснить себе, почему наш потенциал является фиктивным статическим потенциалом, необходимо обратиться к § 6 («Определение Энгельса и отклонение света в поле тяжести солнца») и Приложению I (2): «Вычисление отклонения луча по формуле Энгельса».

Это вычисление мы производим, исходя из реальной величины энергии световой массы $M_2 C^2$, но рассматриваем (фиктивно) явление так, как-будто масса эта была обычной массой, на которую действует сила притяжения. Мы получаем ур-ие:

$$V_s = c n,$$

где $n > 1$, т.-е. скорость световой массы больше скорости света. Полученное ур-ие является, стало быть, фиктивным, ибо оно основано на фикции притягивающего действия солнца при пренебрежении специфичностью светового движения в эфире, который рассматривается как «пустота».

Легко видеть, что ур-ие $V_s^2 = \left(\frac{ds}{dt}\right)^2 = n^2 c^2$ не что иное, как ур-ие энергии, которое получается при пользовании нашей формулой потенциала [см. приложение I (1)]. Вот почему мы и называем наш потенциал фиктивным потенциал—он соответствует фиктивной скорости. Фиктивным статическим потенциалом мы называем наш потенциал потому, что вычисление с ним производится так, как-будто мы имеем дело с движениями малых скоростей, т.-е. употребляется обычная формула кинетической энергии $\frac{1}{2} M_2 \left(\frac{ds}{dt}\right)^2$ [см. Приложение I (1)]. Наш потенциал дает возможность рассматривать (в смысле гравитации) движение любой скорости, вплоть до скорости света, как движение малой скорости.

Нетрудно понять эту особенность нашего потенциала, если вспомнить об его происхождении. Всякая фиктивная величина; по самому своему смыслу, является величиной интегральной, заменяющей в вычислении величины дифференциальные (в общем, а не математическом смысле). Наша же формула получена из интегрального рассмотрения двух формул энергии: $E = \frac{1}{2} m v^2$ и $E = m c^2$, из которых мы вывели, что в общем и целом (интегрально) световая масса m должна быть эквивалентна массе $2m$ в поле тяжести. Само понятие эквивалентности указывает, что следует разуметь под приведенным утверждением: световая масса m эквивалентна обычной массе $2m$, т.-е. массе $2m$, движущейся с малой скоростью (статически) в поле тяготения. Математически: формула энергии световой массы ($E = m c^2$) эквивалентна формуле энергии обычной массы ($E = \frac{1}{2} m v^2$) при замене m на $2m$.

Если же от фиктивного статического потенциала перейти к эффективному, тогда необходимо рассматривать процесс в его действительном протекании, например, движение световой массы в эфире согласно законам оптики. Это мы и делаем в § 6 и Приложении I (3), вычисляя отклонение луча в гравитационном поле при помощи эффективного потенциала и ур-ия рефракции.

СОДЕРЖАНИЕ.

От автора	5
I. Философское обоснование закона движения Энгельса.	
1. О сущности марксизма, как философского учения	9
2. Энгельсовская критика механического и метафизического материализма	22
3. Закон сохранения качественного многообразия движения или закон сохранения энергии	37
4. Poleмика по поводу «механического материализма»	41
II. Диалектика механики.	
1. О первой задаче науки	46
2. Диалектика основных законов механики: единство в различии, отрицание отрицания, борьба противоречий	
3. Диалектика механики: переход количества в качество	53
4. Закон сохранения материи и энергии	60
5. Эволюция и значение механики	62
6. Итоги	
III. Физико - математическая формулировка закона движения Энгельса.	
1. Вступительное замечание	68
2. Энгельсовское определение энергии	69
3. Общее доказательство формулы закона Энгельса	70
4. Определение Энгельса и закон падения тел Галилея	71
5. Определение Энгельса и закон всемирного тяготения	73
6. Определение Энгельса и отклонение света в поле тяжести солнца	82
7. Определение Энгельса и смещение спектральных линий к красному концу	86
8. Определение Энгельса и основы световой механики. Эффект Доплера. Эффект Комптона. Формула Эйнштейна—Френеля—Физо. Соотношение: $K=n^2$	89
9. Определение Энгельса и природа всемирного тяготения	100
10. Заключение	108

Приложение I.

1. Вычисление формулы аномалий планетных движений и отклонения света в поле тяжести солнца 109
2. Вычисление отклонения луча по формуле Энгельса 112
3. Вычисление угла полной рефракции 113
4. Точное вычисление формулы смещения спектральных линий . 113

Приложение II.

Теория эффективного потенциала.

1. Предварительные сведения 117
2. Эквивалентный статический потенциал Вебера 120
3. Эффективный потенциал Римана 121
4. Эффективный потенциал Неймана—Гельмгольца 122
5. Якоби об обобщении ур-ий Лагранжа 133
6. Теория Гербера 134
7. Введенное нами понятие фиктивного статического потенциала. 156

Цена 1 р. 60 к.

СКЛАД ИЗДАНИЙ:

Москва: Государственный Тимирязевский Институт. Пятницкая, 48. Тел. 3-53-04 и 5-05-69.