

Принцип Причинности.

Половин Р.В., Демуцкий В.П.

Харьковский Государственный Университет,

Научный физико-технологический центр Министерства образования и НАН Украины.

Содержание

1. Проявления причинности.	162
2. Детерминизм.	162
3. Материальность причины и отсутствие действия на расстоянии.	164
4. Асимметрия времени.	164
5. Материальность памяти.	165
6. Конечная цель.	166
7. Антропный принцип.	166
8. Принцип Ле-Шателье-Брауна.	166
9. Неисчерпаемость материи.	166

*"Почти каждый философ и ученый пользуется своим собственным определением причинности, даже если он и не может сформулировать ясно".
Mario Bunge, ([1], p.46)*

1. Проявления причинности.

Принципу причинности присущи многие проявления:

- Детерминизм: причина однозначно определяет следствие.
- Материальность причины: причиной может быть только что-то материальное.
- Отсутствие действия на расстоянии (близкодействие): причина вызывает непосредственные следствия только в бесконечно близких объектах, взаимодействие распространяется с конечной скоростью.
- Асимметрия времени: причина всегда предшествует следствию.
- Материальность памяти: Прошлое влияет на Будущее только через Настоящее.

- Конечная цель: природа достигает своих целей кратчайшим путем.
- Антропный принцип: если бы мировые константы имели другие значения, существование разумной жизни было бы невозможным.
- Принцип Ле-Шателье-Брауна: существующие физические системы устойчивы к внешним возмущениям.
- Неисчерпаемость материи: любой физический закон есть следствие некоторого более глубокого закона.

2. Детерминизм.

Детерминизм является господствующим в классической механике; "...Законы реального внешнего

мира считались полными в следующем смысле: если состояние объектов в некоторый момент времени полностью известно, то их состояние в любой момент времени полностью определяется законами природы. Именно это мы имеем в виду, когда говорим о "причинности" ([2], т.4, стр. 317).

Совсем иная ситуация в квантовой механике: "Если производятся наблюдения над атомной системой, которая находится в заданном состоянии, то результат, вообще говоря, не будет детерминированным, т.е., повторяя опыт при одинаковых условиях несколько раз, мы будем получать различные результаты." ([3], стр.30) Например, когда электрон, имеющий определенный импульс, проходит через отверстие в экране, он может попасть в любую точку фотопластинки, расположенной за экраном. Квантовая механика дает нам только вероятности попадания электрона в различные точки фотографической пластинки. Однако, многие боятся говорить об отсутствии детерминизма в квантовой механике, так как отождествляют отсутствие детерминизма с отсутствием физического закона.

Затем еще утверждают, что в квантовой механике также выполняется принцип детерминизма, но он имеет квантовомеханический, т.е. вероятностный характер. Иными словами, отсутствие детерминизма в квантовой механике именуется "квантовомеханическим детерминизмом". Это все равно, что сказать, что каждый мужчина лысый, однако, в некоторых случаях лысина покрыта волосами.

По нашему мнению, нецелесообразно изменять смысл детерминизма на противоположный. Это тем более недопустимо, что возраст этого термина исчисляется тысячелетиями.

Конечно же, определенные элементы детерминизма остаются и в квантовой механике. Изменение волновой функции со временем детерминировано. Однако, волновая функция дает только вероятностные предсказания о поведении микрообъекта. Именно в этом смысле мы говорим об отсутствии детерминизма в квантовой механике. "...Несмотря на успешное применение квантовой механики к решению многих практических задач, остаются терзающие сомнения (и не только в философии) относительно окончательного значения и самосогласованности квантовомеханического формализма. Они настолько серьезны, что некоторые физики даже считают, что в конце концов новая, интуитивно гораздо более приемлемая картина мира вытеснит квантовую теорию, которая будет рассматриваться как простой набор рецептов, оказавшихся способными приводить к правильному ответу при достижимых в XX веке экспериментальных условиях" ([4], стр.67).

Эйнштейн считал квантовую механику неполной, временной теорией, так как основные законы квантовой механики включают в себя случайность. Это тем более удивительно, что именно Эйнштейн

ввел случайность в квантовую механику в своей работе "К квантовой теории излучения": "Самое важное в этой работе Эйнштейна - введение вероятности для описания микрообъекта. Кроме вероятностей спонтанного и индуцированного излучения, приходится еще предположить случайное направление вылета кванта из молекулы - направление вылета нельзя предсказать" ([5], стр.30).

"Мой научный инстинкт, - писал Эйнштейн, - восстает против подобного отказа от строгой причинности" ([2], том 4, стр.108).

Заметим, что абсолютизация принципа детерминизма противоречит принципу причинности и в классической физике. Такая абсолютизация называется лапласовским детерминизмом: "Все явления, даже те, которые по своей незначительности как будто не зависят от великих законов природы, суть следствия этих законов, столь же неизбежные, как обращение Солнца... Всякое имеющее место явление связано с предшествующим на основании того очевидного принципа, что какое-либо явление не может возникнуть без производящей его причины... Таким образом, мы должны рассматривать настоящее состояние Вселенной как следствие ее предыдущего состояния и как причину последующего... Ум, которому были бы известны для какого-либо данного момента все силы, существующие в природе, и относительное движение всех ее составных частей, если бы вдобавок он оказался достаточно обширным, чтобы подчинить эти данные анализу, обнял бы в одной формуле движения величайших тел Вселенной наравне с движениями мельчайших атомов; не осталось бы ничего, что было бы для него недостоверно, и будущее, так же, как и прошедшее, предстало бы перед его взором" ([6], стр.10-11).

Лапласовский детерминизм часто рассматривается как торжество науки, или, точнее говоря, торжество принципа причинности. На самом же деле это есть отрицание принципа причинности, так как понятие причины включает в себя и возможность ее отсутствия. Если же все причины неизбежны, то они перестают быть причинами. Тогда весь сценарий мира заранее предопределен. В этом случае нет ни причины, ни следствия, а есть только жесткое следование одних событий за другими. Подобно этому, в кинофильме более ранние кадры не являются причиной более поздних. Они снимаются строго по сценарию и независимо. Смерть героя может сниматься раньше его рождения.

Заметим, что детерминизм приобрел статус всеобщего философского принципа благодаря блистательным успехам Ньютоновской механики. До Ньютона ряд философов отрицали принцип детерминизма, считая его не только ошибочным, но и аморальным, так как этот принцип мог стать оправданием чего угодно, в том числе и преступлений.

3. Материальность причины и отсутствие действия на расстоянии.

Принципы материальности причины и близкодействия отсутствуют в механике Ньютона. В самом деле, согласно закона всемирного тяготения любое движение тела передается через пустоту, причем оно мгновенно оказывает действие на другие тела, расположенные как угодно далеко. Иными словами, гравитационное взаимодействие распространяется через вакуум и притом с бесконечной скоростью, что является нарушением принципа причинности. Вот почему механику Ньютона отвергал Лейбниц: "Некоторые начинают возрождать под специфическим названием сил темные категории схоластицизма: но они ведут нас опять в царство Мрака" ([7] стр.272-273). Это хорошо понимал и сам Ньютон: "Что тяготение должно быть врожденным, присущим и необходимым свойством материи, так что одно тело может взаимодействовать с другим на расстоянии, через пустоту, без участия чего-то постороннего, при посредстве чего и через что их действие и сила могли бы передаваться от одного к другому, - это мне кажется столь большим абсурдом, что я и не представляю себе, что кто-либо, владеющий способностью компетентно мыслить в области вопросов философского характера, мог к этому прийти" [8].

Трудно представить себе, как может передаваться столь большая сила через пустоту. Если бы Земля удерживалась на своей орбите не силой притяжения к Солнцу, а стальным тросом, то диаметр последнего превысил бы диаметр Земли. Казалось бы, что противоречия с принципом близкодействия можно избежать, если сказать, что гравитация распространяется с конечной, но очень большой скоростью, которая нам представляется бесконечной.

Ньютон утверждал, что [2] на его закон следует смотреть не как на окончательное, а как на выведенное из опыта правило" ([2], т.3,стр.86). Но в действительности в механике Ньютона бесконечная скорость распространения взаимодействия является не столько обобщением наблюдений, сколько философским принципом.

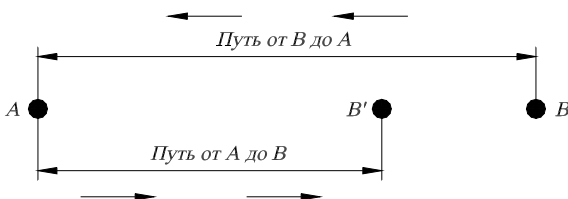


Рис. 1. Взаимодействие двух тел.

В самом деле, пусть тело 1 находится в точке и покоится, а тело 2 движется из точки по направ-

лению к точке (рис.1).

За время, пока волна тяготения, вышедшая в начальный момент t из точки , достигнет тела 1, тело 2 переместится в точку . Так как расстояние больше расстояния , волна тяготения от до .. дойдет быстрее, чем от к . Значит, будет существовать промежуток времени, когда тело 1 уже действует на тело 2, а тело 2 еще не действует на тело 1.

Но это противоречит третьему закону Ньютона: сила, с которой тело 1 действует на тело 2, равна по величине и противоположна по направлению силе, с которой тело 2 действует на тело 1. С другой стороны, указанный закон Ньютона о равенстве действия противодействию, как можно показать, означает закон сохранения импульса. Нарушение же этого закона есть нарушение закона о несотворимости и неуничтожимости материи. Поэтому бесконечная скорость распространения взаимодействия в механике Ньютона являлась следствием философского принципа сохранения движения.

Таким образом, в механике Ньютона скорость распространения взаимодействия принципиально должна быть бесконечной. Заметим, что "когда мы употребляем слово "принципиально", то имеем в виду определенную теорию и ее принципы, которые что-то допускают и что-то запрещают" ([9], стр.140).

Напомним, что в теории относительности скорость распространения тяготения конечна - она равна скорости света. Поэтому в релятивистской механике выполняется принцип причинности в смысле близкодействия. Но мы только что доказали, что скорость распространения взаимодействия, в принципе, должна быть бесконечной. Значит, в нашем доказательстве содержалась ошибка. Какая же?

Ошибка заключалась в том, что мы наделяли импульсом только частицы. На самом же деле гравитационное поле обладает собственным импульсом. Поэтому конечная скорость распространения гравитации в релятивистской теории не противоречит принципу сохранения импульса.

Мы видим, что теория относительности лучше согласуется с принципом причинности, чем механика Ньютона.

4. Асимметрия времени.

Каждому ясно, что события, происходящие в нашем мире, явно необратимы... Роняешь чашку, она разбивается, и сколько ни жди, черепки не соберутся снова и чашка на прыгнет обратно тебе в руки...

На лекциях такие шутки обычно показывают с помощью кино: вырезают кусок киноплёнки, на котором снята какая-то последовательность события, и показывают его в обратном направлении, зара-

нее рассчитывая на взрыв смеха. Этот смех свидетельствует о том, что в реальной жизни такого не бывает. Впрочем, на самом деле это довольно примитивный способ выражения столь очевидного и столь глубокого факта, как различие прошлого и будущего... Мы уверены, что каким-то образом можем влиять на будущее, но никто из нас... не думает, что можно изменить прошлое... Наиболее естественно это очевидное различие между прошлым и будущим. Эта необратимость всех явлений объяснялась бы тем, что у некоторых законов движения... только одно направление, что ... законы не одинаковы по отношению к прошлому и будущему. Где-то должен существовать принцип вроде: "Из елки можно сделать палку, а из палки не сделаешь елку".. Однако такой принцип пока еще не найден.

То есть во всех законах физики, обнаруженных до сих пор, не наблюдается никакого различия между прошлым и будущим" ([10], стр.96-97). Асимметрия времени отсутствует как в уравнениях классической, так и в уравнениях квантовой механики. В самом деле, уравнения Ньютона не изменяются при изменении направления времени. Но при таком изменении направления времени причина и следствие меняются местами. Классическая механика позволяет не только предсказать грядущие солнечные затмения, но и определить место и время прошлых затмений (например, уточнить дату и место солнечного затмения, описанного в "Слове о полку Игореве"). Требование, чтобы причина предшествовала следствию, добавляется к дифференциальным уравнениям классической механики как граничное условие. Такой же статус имеет асимметрия времени и в квантовой механике.¹

Заметим, что роль асимметрии времени совершенно иная, чем роль рассмотренных выше проявлений принципа причинности. Детерминизм, материальность причины и близкодействие либо уже содержатся в постулатах теории, либо противоречат им (но мы закрываем на это глаза). Что же касается асимметрии времени, то ее следует формулировать явно при решении соответствующих дифференциальных уравнений. Именно поэтому физики обычно понимают под принципом причинности только асимметрию времени: "... необходимо обеспечить также выполнение условия причинности, в соответствии с которым какое-либо событие, происшедшее в системе, может оказать влияние на ход эволюции системы лишь в будущем и не может оказать влияния на поведение системы в прошлом" ([1], стр.192).

¹В квантовой механике при замене t на $-t$ следует заменить волновую функцию ψ , на комплексно-сопряженную величину ψ^* , что не изменяет никаких наблюдаемых эффектов.

5. Материальность памяти.

Совсем кратко этот принцип может быть сформулирован следующим образом: Прошлое влияет на Будущее только через Настоящее. Мы проиллюстрируем это на примере: свойства твердого тела зависят от его истории. Эластичность и пластичность образца, к примеру, стали, различны для литой стали, закаленной стали, отпущенной стали, холоднокатанной стали и т.д. Точнее говоря, свойства стали зависят не столько от ее прошлой истории, сколько от настоящего микроструктурного состояния. Прошлая история влияет на свойства образца через его настоящую микроструктуру. В Ньютоновской механике уравнения движения имеют вид:

$$\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \vec{F}(\vec{r}, t). \quad (1)$$

Это дифференциальное уравнение второго порядка. Следовательно, его решение при $t > 0$ зависит не только от \vec{r} при $t = 0$, но также и от $\frac{d\vec{r}}{dt}$ при $t = 0$.

Вспоминая, что

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{r}(t) - \vec{r}(t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (2)$$

мы видим, что движение частицы зависит не только от величины \vec{r} в момент $t = 0$, но также и от \vec{r} в момент времени $t = -\Delta t$. Кажущееся противоречие с принципом материальности памяти было устранено Гамильтоном. Он рассматривал импульс $\vec{p} = m\vec{v}$ в качестве характеристики настоящего состояния частицы.

В Гамильтоновской формулировке Ньютоновской механики координата \vec{r} и импульс \vec{p} рассматриваются на равноправной основе.

Гамильтоновские уравнения

$$\begin{aligned} \frac{d\vec{r}}{dt} &= \frac{\partial H}{\partial \vec{p}} \\ \frac{d\vec{p}}{dt} &= -\frac{\partial H}{\partial \vec{r}} \end{aligned} \quad (3)$$

содержат \vec{r} и \vec{p} одинаковым образом. Они могут быть даже заменены друг на друга подстановкой \vec{r} вместо \vec{p} и \vec{p} вместо $-\vec{r}$.

Можно сказать, что, в соответствии с материальностью памяти, эволюция любой физической системы должна описываться дифференциальным уравнением первого порядка

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \Phi(f) \quad (4)$$

Здесь f -функция, которая определяет состояние системы.

Если уравнение, описывающее поведение системы, имеет вид:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial t^2} = \Phi(f) \quad (5)$$

то функция f является недостаточной характеристикой системы. Она должна быть дополнена некоторыми дополнительными переменными.

6. Конечная цель.

Перечисляя различные проявления причинности, Аристотель отметил целесообразность в природе: почему теленок имеет рога? Чтобы защищать себя от волков. Здесь причина обращена во времени: Настоящее более зависит от Будущего, нежели от Прошлого. В действительности, конечно же, Настоящее зависит не от Будущего, а от Прошлого. Такая целесообразность была объяснена Дарвиным: выживают только те существа, которые приспособились к окружающей обстановке.

В средние века идеи Аристотеля были низведены схоластиками до абсурда: "Баран существует, чтобы быть сваренным в супе; осел имеет длинные уши, чтобы отличаться от человека; наконец, человек существует, чтобы есть суп из барана и быть отличным от осла" (Гольбах, гелеология).

В 17-ом веке принцип целесообразности был возрожден в форме "Принципа экономности": "Природа достигает своих целей простейшими средствами" [12] (Вариационные Принципы Механики).

Простейшим примером проявления вариационного принципа является движение материальной точки, привязанной к сфере, по инерции. В этом случае точка двигается вдоль главной дуги сферы, т.е. вдоль кратчайшего пути между двумя точками.

Вариационные принципы вызвали бурные дискуссии философского характера. "Этот интерес к принципу минимума основывался на метафизической идее, что верховенство Божества проявляется в Природе. Таки образом, в основе каждого процесса в природе лежит намерение достигнуть определенной цели. Эта цель достигается кратчайшим путем, простейшими средствами" [13].

7. Антропный принцип.

Принцип конечной цели был возрожден в последнее время в форме антропного принципа. Например, возникает вопрос: почему заряд электрона равен 1.602110^{-19} Кулон? Ответ таков: если бы заряд электрона был бы больше по величине на порядок, тогда масса звезды, необходимая для осуществления самоподдерживающейся термоядерной реакции, увеличилась бы на два порядка. В этом случае звезды с массой порядка массы Солнца не существовали бы в настоящее время. Звезды с такими массами, существовавшие ранее, коллапсировали бы, образуя белые карлики и пульсары [14, 15].

Иногда используется более сильный принцип [23] - мировые константы должны иметь такую величину, чтобы существование интеллекта было возможным: "...мы знаем нашими костями", что время жизни протона должно быть больше, чем 10^{16} лет, иначе мы не выдержали бы ионизирующих частиц, производимых распадом протона в наших телах" [16].

8. Принцип Ле-Шателье-Брауна.

Одной из вариаций конечной цели является принцип Ле-Шателье-Брауна. Мы проиллюстрируем этот принцип на примере: если резиновый жгут растягивается, он нагревается. Наоборот, если жгут нагревается, он сокращается ([17]), стр.162).

В общем случае, принцип Ле-Шателье-Брауна гласит следующее: если один фактор в равновесном состоянии изменяется, равновесие смещается так, чтобы компенсировать эффект изменения этого фактора.

В электродинамике принцип Ле-Шателье-Брауна проявляется в форме правила Ленца: все индукционные эффекты направлены на то, чтобы скомпенсировать причину, вызвавшую их. Например, если магнит вдвигается в соленоид, в последнем возбуждается ток, создающий магнитное поле противоположного направления.

Принцип Ле-Шателье-Брауна выражает условие стабильности системы. Например, если бы растянутый резиновый жгут нагревал бы себя в то время, как нагретый жгут растягивал бы себя, тогда любая произвольная флуктуация длины жгута увеличивалась бы бесконечно.

9. Неисчерпаемость материи.

Перейдем теперь к принципу неисчерпаемости материи. Согласно этому принципу, любой физический закон также имеет свою причину - более глубокий закон. Любая теория опирается на постулаты - утверждения, необъяснимые в рамках этой теории.

В этом смысле в любой теории нарушается принцип причинности. Современники Ньютона отвергали его механику, ибо она основывалась на "диких" постулатах, не имеющих никакого объяснения, на беспричинном движении изолированного тела с постоянной скоростью и беспричинном взаимном притяжении всех тел "...почему тела остаются в движении, начав двигаться, или отчего существует закон тяготения - это было неизвестно" ([18], т.1, стр.40).

Принцип неисчерпаемости материи означает, что деление физических теорий на фундаментальные

(микроскопические) и феноменологические (макроскопические, являющиеся следствием фундаментальных) имеет временный характер. Теория может быть фундаментальной только для данного уровня развития науки. В дальнейшем, когда более глубокая теория будет создана, ранее фундаментальная теория станет феноменологической. Однако новая фундаментальная теория всегда содержит постулаты, являющиеся ее феноменологическими элементами. Например, постоянная Планка вводится в квантовую теорию феноменологически, т.е. без всякого объяснения. Но главное, однако, состоит в том, что основа основ квантовой теории - ее вероятностный характер - постулируется. Иными словами, в рамках квантовой механики случайный характер ее законов не имеет никакой причины ([19], стр.46-47).

Постулаты квантовой механики должны иметь свою причину: "Невозможно поверить, что существующее равенство зарядов электронов является чистой случайностью: это должно быть основополагающим в схеме природы, и этому должна быть причина" ([7], стр.278).

"Наши представления о физической реальности, - писал Эйнштейн, - никогда не могут быть окончательными. Мы всегда должны быть готовы изменить эти представления, т.е. изменить аксиоматическую базу физики "... ([2], т.4, стр.136). Это относится ко всем физическим теориям, в том числе и к теории относительности, и к квантовой механике, которые часто трактуются, как абсолютные истины.

"Согласно современным взглядам, даже лучшие физические законы не утверждают абсолютную истину, а скорее приближение к ней. Физический закон рассматривается как модель определенной части природы, устанавливающей не столько что представляет собой природа, сколько какой она окажется" [20].

"Вполне разумно было когда-то физику-классику в счастливом неведении предполагать, что понятие положения, бесспорно, имеющее смысл в футболе, имеет какой-то смысл и для электрона. А теперь мы, например, говорим, что закон относительности верен при любых энергиях, а ведь в один прекрасный день явится кто-нибудь и объяснит, насколько мы глупы. Мы не догадаемся, в каком месте мы совершаем "глупость", откуда "не вырастем над собой" ([18], т.3, стр.234).

Рассмотрим теперь альтернативную точку зрения, согласно которой число законов природы конечно. При этом опираются на аналогию с географией. В средние века происходили великие географические открытия, обнаруживались новые материки, моря и даже океаны. Однако теперь земная поверхность полностью изучена. Правда, остались небольшие белые пятна в труднодоступных районах. Но новые материки уже не откроют.

Вся современная физика сводится к четырем типам взаимодействия - электромагнитному, сильному, слабому и гравитационному. В настоящее время создается единая теория поля, объединяющая все эти взаимодействия. Может быть, говорят противники неисчерпаемости материи, с созданием единой теории поля закончится физическая наука. Физика будет развиваться, говорят они, только по пути расширения приложений. А принципиально новая фундаментальная теория уже не возникнет.

Паскаль полагал, что бесконечно малое и бесконечно большое имеют одинаковую структуру и отличаются лишь масштабами: "С этой точки зрения мы должны встречаться на всех уровнях с теми же аспектами реальности, к которым применимы те же определения. Таким образом, Вселенная похожа на тех куколок, которые вкладываются одна в другую, - абсолютно одинаковые, но все более и более уменьшающиеся в размерах" (Пауль Ланжевэн, [21], стр.361). Приведем для иллюстрации этой точки зрения отрывок из стихотворения В.Брюсова [22]:

"Быть может, эти электроны -
Миры, где пять материков,
Искусства, знания, войны, троны,
И память сорока веков".

Мы полагаем, что эта точка зрения ошибочна. Чем больше масштаб явления отличается размерами от нашего тела, тем больше его законы отличаются от привычных законов классической физики.

Противники утверждения о неисчерпаемости материи говорят, что мир не должен быть похож на матрешку. Но это не возражение, а дешевый софизм. С таким же успехом можно было бы опровергнуть шарообразность Земли, сказав, что Земля не должна быть похожа на арбуз.

Мы полагаем, что материя подобна матрешкам не в геометрическом, а в причинном смысле. Мы вовсе не утверждаем, что любая частица состоит из более мелких частиц, а эти более мелкие частицы, в свою очередь, состоят из еще более мелких частиц и т.д., до бесконечности. Мы лишь утверждаем, что любой физический закон является следствием какого-либо более глубокого закона. Как было показано ранее [24], невозможно построить детерминистическую теорию, которая приводит к тем же наблюдаемым результатам, что и квантовая механика.

Более глубокая детерминистическая теория могла бы предсказать другие экспериментальные результаты. Однако, при тех значениях параметров, которые доступны современной науке, более глубокая теория должна переходить в квантовую механику. В этой грядущей более глубокой теории будут нарушены другие философские принципы, так как эта теория тоже не будет фундаментальной.

Более глубокая теория будет еще более "дикой", чем квантовая механика, так как она будет еще

дальше от нашего повседневного опыта. На вопрос о том, как он относится к одной из новых гипотез, претендующей на роль фундаментальной теории, Нильс Бор ответил: "Она для этой цели недостаточно сумасшедшая". В настоящее время теория относительности отвергла дальное действие Ньютона, противоречащее принципу причинности. Но во времена Ньютона пытаться согласовать дальнее действие с причинностью было столь же безнадежным, как в настоящее время пытаться согласовать квантовую механику с детерминизмом.

Список литературы

- [1] М.Бунге. Причинность. И-Л, М., 1962.
- [2] А.Эйнштейн. Избранные научные статьи, т.3 и 4, Наука, М., 1966 и 1967.
- [3] P.A.M.Dirac. Principles of Quantum Mechanics, Clarendon Press, Oxford, 1958.
- [4] A.J.Lagget. Contemp.Phys.(V.K.), 1984, v.25, p.583.
- [5] А.Б.Мигдал. Квантовая физика для взрослых и детей. Наука, М., 1989.
- [6] Ф.Лаплас. Философские аспекты теории вероятностей.-И.Н.Кушнарев и Ко, м., 1908, стр.10-11.
- [7] E.T.Wittaker, Aristotle, Newton, Einstein.- Phil.Mag., 1943, v.34, p.266.
- [8] A.Einstein. The Meaning of Relativity, 3rd ed., p.107. Princeton Univ.Press, Princeton, 1950.
- [9] Д.И.Блохинцев. Основы квантовой механики.- Физматлит, М., 1966.
- [10] R.P.Feynman. The Character of Physical Law.- M.I.T.Press, Cambridge Mass., 1965.
- [11] Н.Н.Боголюбов и Д.В.Ширков. Введение в теорию квантованных полей. -Физматлит, М., 1984.
- [12] Л.С.Полак. Вариационные принципы механики.-В сб."Вариационные принципы механики", Физматлит, М., 1959, стр.780.
- [13] M.Plank. Das Princip der Kleinsten Wir. Die Kultur der Gegenwart, T.I.Physic, 1915.
- [14] И.Л.Розенталь, УФН, 1977, т.121, N2, стр.319-329.
- [15] P.C.W.Davies. The accidental Universe.- Cambridge Univ.Press., London, 1982.
- [16] C.S.Weinberg.-Rev.Mod.Phys., 1989, v.61, p.1.
- [17] Д.В.Сивухин. Общий курс физики, т.2, Наука, М., 1975.
- [18] R.P.Feinman, R.B.Leighen and M.Sands. Feinman Lectures on Physics. Addison-Wesley, Reading Mass, 1964.
- [19] А.И.Ахиезер.-Вопросы философии, 1970, N6, стр.37-47.
- [20] W.Rindler.-Amer.Journ.Phys., 1966, v.34, N10, p.937-942.
- [21] П.Ланжевен. Атомы и частицы.- В "Избранных работах", М., И-Л, 1949.
- [22] В.Брюсов. Мир электрона.
- [23] The Works of George Berkley Bishop of Cloune. Ed.A.A.Lucea. T.E.Jessop. London. v.2, 1949, p.30-31.
- [24] В.П.Демуцкий, Р.В.Половин. -УФН, 1992, т.162, N10, стр.155-162.