

(http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_quantum/Phys_and_nonlocality.pdf,
timeorigin21@yandex.ru)

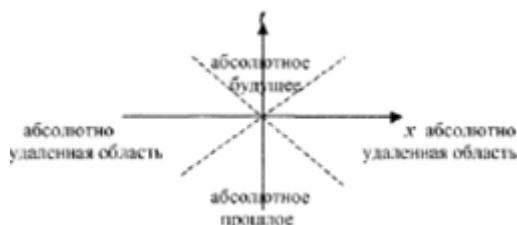
См. также видеоролик <https://www.youtube.com/watch?v=cLQ5Uhfolyw>

План выступления:

- Причинность и корреляция в теории относительности
- Парадокс часов в квантовой механике
- “Галактический” парадокс Уилера
- Парадокс Тетроде
- Парадокс рождения черной дыры
- Парадокс ЭПР
- Эксперименты с отложенным выбором
- Квантовая телепортация
- Интегралы Фейнмана по траекториям
- Дальнодействие и близкодействие
- Инерция как проявление гравитации (принцип Маха)
- Принцип Маха и нелокальность

- 1 -

Причинность и корреляция в теории относительности



Если некоторое 4-событие лежит внутри светового конуса, то оно может быть связано с начальным 4-событием причинно-следственной связью, поскольку одно из них предшествует другому в любой инерциальной системе отсчета. Часто этот случай объединяют с граничной ситуацией, когда оба 4-события принадлежат общему световому

конусу. 4-интервал между такими двумя событиями равен нулю, он называется светоподобным. Если одно из событий состоит в испускании быстро движущейся частицы, а второе – в ее поглощении, то в связанной с этой частицей “собственной” системе отсчета *длительность движения и пройденный частицей пространственный промежуток* будет в пределе стремиться к нулю по мере приближения к скорости света c в вакууме.

В этом пределе уже нельзя утверждать, что излучение частицы предшествует ее поглощению; разделенные светоподобным интервалом оказываются связанными не причинно-следственной, а (в общем случае) корреляционной связью. При этом и возникает феномен *пространственной (3-мерной) нелокальности*.

- 2 -

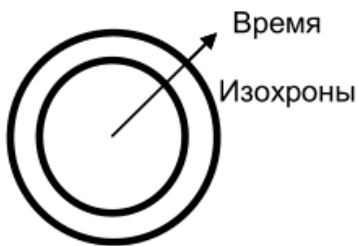
Глобальное описание пространства-времени в теории относительности



В геометрически замкнутой модели Вселенной образующие светового конуса сначала расходятся (подобно меридианам $+45^\circ$ и -45° , проходящим через один полюс), а затем начинают сходиться (после пересечения соответствующих “параллелей” и “экватора”) к другому полюсу, так что изохроны верхней полуплоскости рисунка непрерывно переходят в изохроны нижней полуплоскости, т.е. окончательно сходятся в начале координат. Сигнал, распространяющийся со скоростью света из одного полюса, “мгновенно” достигает любой точки, лежащей на “меридианах” $+45^\circ$ и -45° .

- 3 -

Глобальное описание пространства-времени в ТШРВ



В геометрически замкнутой теории шаровой расширяющейся Вселенной (ТШРВ) 4-мерное пространство-время может быть представлено семейством 3-мерных гиперсфер (“изохрон”), каждая из которых удалена на одну и ту же величину интервала ds от последующей и предшествующей.

Абсолютное время представлено возрастающим радиусом 4-мерной сферы. Каждая изохрона отвечает “мгновению” существования нашей Вселенной. Сигнал, распространяющийся из какой-либо точки на изохроне со скоростью света, “мгновенно” достигает любой точки этой же изохроны ($ds = dr$). Если же скорость сигнала меньше световой, то такой сигнал может достичь только точек, лежащих на последующих изохронах. 4-мерная длина отрезка мировой линии между изохронами соответствует промежутку времени движения в собственной системе отсчета ($cdt = \sqrt{ds^2 - dr^2}$).

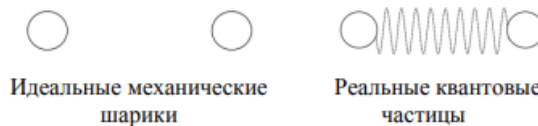
Таким образом, во избежание недоразумений необходимо различать 3-мерную и 4-мерную локальность:

точки 4-мерного пространства-времени, удаленные одна от другой в 3-мерном пространстве, могут оказаться расположенными на близких или даже совпадающих изохронах, т.е. разделенными малым или даже нулевым промежутком времени.

- 4 -

Парадокс часов в квантовой механике

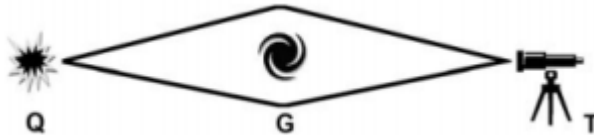
Таким образом, при полете фотона или при разлете пары запутанных фотонов время для них не течет (останавливается), поскольку они распространяются со скоростью света. Казалось бы, этот эффект не должен был бы иметь места для частиц с *ненулевой* массой, поскольку их скорость движения меньше скорости света. Однако для квантовых частиц, обладающих *волновыми* свойствами, реальность устроена сложнее. Так, в теории релятивистского электрона Дирака операторы для составляющих скорости электрона не коммутируют между собой, а собственные значения каждого из них в результате измерения обязательно должны быть равны по абсолютной величине скорости света c . Такой парадоксальный результат Шрёдингер объяснил наличием у электрона *двух* компонент скорости – обычной (медленной) и быстро осциллирующей с частотой, отвечающей периоду волны де Бройля для электрона. Близкую модель с *безмассовыми* компонентами *zig* и *zag* описал Пенроуз. Наконец, в работе Вонсовского и Свирского еще более ясно сформулировано, что “дрожательному” движению соответствует представление стационарного состояния электрона в виде суперпозиции двух собственных состояний оператора скорости с собственными значениями $+c$ и $-c$. В итоге возникает наблюдаемая “эффективная” скорость электрона, которая оказывается уже *меньше* скорости света.



- 5 -

“Галактический” парадокс Уилера

Пусть удаленный квазар Q испускает фотон, миллиарды лет летящий к Земле. По дороге этот фотон огибает огромную галактику G, которая и является причиной искривления пути фотона. В конечном счете, свет попадает на вход установленного на Земле телескопа T, снабженного интерферометром Маха-Цандера.



В интерферометре Галактический парадокс Уилера можно убирать (или не убирать) входной 50% светоделитель, в результате чего не будет (или будет) наблюдаться интерференция. Во втором случае нет способа выяснить, по какому именно пути прошли фотоны огибая галактику, т.е. они будут интерферировать; в первом – информация о выборе фотонами одной из возможных траекторий не пропадает, и интерференция исчезнет. Суть парадокса состоит в том, что выбор между интерферирующим и неинтерферирующим поведением осуществляется в самое последнее мгновение, когда фотон уже пролетел отведенные ему миллиарды лет путешествия. Этот эффект вполне можно рассматривать как проявление *пространственной* нелокальности – казалось бы, как может излучаемый фотон заранее “знать”, будет ли введен светоделитель?

- 6 -

Парадокс Тетроде

Хьюго Мартин Тетроде (1895 – 1931) – голландский физик, работавший в области статистической физики и квантовой теории, писал:

“Солнце не излучало бы, если бы где-либо не нашлось тела, способного поглотить это излучение... . Например, если я вчера наблюдал с помощью телескопа звезду, удаленную, скажем, на 100 световых лет, то не только я знаю, что испущенный ею 100 лет назад свет достиг моего глаза, но также и звезда или ее отдельные атомы уже 100 лет назад знали, что я, который даже еще не существовал тогда, вчера вечером увижу этот свет в такое-то время. Но как удаленная звезда может “знать”, где и когда в будущем будет зарегистрирован испущенный ею фотон?”

И этот эффект вполне можно рассматривать как проявление пространственной нелокальности.

- 7 -

Парадокс рождения черной дыры

При рождении черной дыры (ЧД) в ходе гравитационного коллапса звезды вначале горизонт событий формируется в центре звезды и представляет собой всего лишь *одну точку*. Поверхность сжимающейся звезды за конечное собственное время достигает сферы Шварцшильда. Затем вещество стремительно стягивается в сингулярность. В результате внутри сферы Шварцшильда возникает ЧД – пространственно-временная область, из которой никакие сигналы не уходят на пространственную бесконечность.

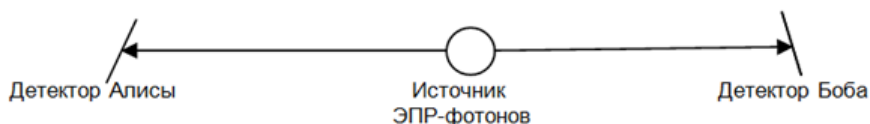
Имеет место следующий парадокс: расширение горизонта событий начинается *до того*, как ЧД поглощает оболочку. Он расширяется *в ожидании* поглощения оболочки, сразу после этого приходит в состояние покоя и выходит на поверхность звезды *точно* в тот момент, когда поверхность сжимается до критического предела. Иными словами, когда вещество падает внутрь ЧД, то горизонт начинает расти (*следствие*) до того, как вещество достигает ЧД (*причина*).

В философской терминологии это – *телеологическое* определение. Как отмечают Новиков и Фролов, “*теоретики чувствуют себя весьма неуютно в таких обстоятельствах*”. На самом деле горизонт событий является светоподобным, так что мы имеем дело не с двумя отдельными событиями (причиной и следствием), а с одним!

- 8 -

Парадокс Эйнштейна – Подольского – Розена (ЭПР)

Одним из наиболее известных парадоксов квантовой теории является наличие корреляций между состояниями двух достаточно удаленных запутанных частиц (парадокс ЭПР).



Общий источник излучает пару запутанных фотонов, поляризационное состояние которых может быть измерено Алисой и Бобом (каждый измеряет линейную поляризацию “своего” фотона). Степень корреляции состояний зависит только от разности углов между ориентациями поляризаторов, выполняющих роль детекторов.

Здесь моменты времени регистрации фотонов определяются в лабораторной системе отсчета. Но в предельной системе отсчета промежутки времени и 3-мерное расстояние между событиями стремятся к нулю!

- 9 -

Эксперименты с отложенным выбором

Квантовая нелокальность ярко проявляется в так называемых экспериментах с отложенным выбором, создающих у лабораторного наблюдателя *иллюзию*, что результаты квантового эксперимента фиксируются (корректируются) уже *после его завершения*. Так, в ряде экспериментов с так называемым “квантовым ластиком” один из разлетающихся запутанных фотонов направлялся на детектор, а другой подвергался измерению первого или второго типа. В зависимости от (случайного) выбора типа измерения первый фотон оставлял на детекторе след, образующий при многократном повторении опыта либо волновую (интерференционную), либо корпускулярную (без интерференционных полос) картину. На результаты опыта *не влияло, что происходит раньше* (в лабораторной системе отсчета!) – измерение над вторым фотоном либо детектирование первого фотона.

Эта коллизия также разрешается с помощью квантового парадокса часов. Не следует рассматривать этот процесс в лабораторной системе отсчета. Для каждого из двух фотонов “собственное” время движения все время остается равным нулю, каким бы разным ни *казалось* расстояние, пройденное ими в лабораторной системе отсчета.

- 10 -

Квантовая телепортация

Квантовый парадокс часов позволяет найти объяснение другим удивительным феноменам. Одним из них является хорошо известное явление квантовой телепортации, когда неизвестное квантовое состояние передается на (теоретически сколь угодно большое) произвольное расстояние по квантовому и классическому каналам, причем по квантовому каналу передача происходит *мгновенно*. Так, в 2017 году в Китае осуществили квантовую телепортацию между космосом и Землей на расстояние более 1,2 тысячи километров.

Интегралы Фейнмана по траекториям

Как известно, Ричард Фейнман предложил модель распространения квантовых частиц, в которой реальная траектория между точками А и В возникает как некоторая сумма всех гипотетически возможных виртуальных траекторий, взятых со своими фазовыми множителями. Но как частица успевает мгновенно “прощупать всю Вселенную”? Некоторые физики считают, что это всего лишь математическая конструкция. Однако, в соответствии с парадоксом часов для частицы, движущейся со скоростью света, вся Вселенная “стягивается” в 4-мерную точку нулевого размера, так что подобное “прощупывание” действительно может происходить мгновенно.

- 11 -

Дальнодействие и близкодействие

В классической физике основоположниками концепции близкодействия обычно считают Декарта и Фарадея. При этом подразумевается, что

- взаимодействия передаются через особых материальных посредников,
- такие взаимодействия осуществляются с конечной скоростью.

Напротив, принято считать, что, согласно концепции дальнодействия, тела должны действовать друг на друга

- без материальных посредников (через “пустоту”) на любом расстоянии,
- такие взаимодействия осуществляются с бесконечно большой скоростью.

С развиваемой точки зрения, противопоставление двух упомянутых концепций не имеет под собой незыблемого основания. В самом деле, когда говорят о взаимно удаленных телах, имеют в виду наличие произвольно большого разделяющего их 3-мерного расстояния. Однако такая мера удаленности имеет относительный характер – эта мера может стать сколь угодно малой, если рассматривать эту же конфигурацию двух тел не в лабораторной, а в быстро движущейся системе отсчета.

- 12 -

Теория Уилера – Фейнмана

В 1945 г. выдающиеся американские физики Дж. Уилер и Р. Фейнман развили теорию прямого (непосредственного и *мгновенного*) межчастичного взаимодействия между заряженными частицами, в которой исходили, в частности, из того, что:

- поле, действующее на данную частицу, обусловлено только *непосредственным* действием других частиц;
- это поле излучения описывается полусуммой опережающего и запаздывающего решений Лиенарта-Вихерта уравнений Максвелла, симметричной по отношению к прошлому и будущему.

Возмущение, создаваемое ускоряемым *зарядом*, приводит к движению каждой частицы *поглотителя*, которая из-за этого генерирует поле – полусумму опережающего и запаздывающего членов. Оно воздействует на источник возмущения с силой, которая является конечной, *одновременной с моментом возмущения* и точно соответствующей по величине и направлению той силе, которая отвечает передаче энергии от источника к окружающей среде.

Таким образом, в теории Уилера – Фейнмана возникает парадигма дальнего действия, т.е. мгновенного действия на произвольном расстоянии.

Инерция как проявление гравитации (принцип Маха)

Сиамма в 1953 г. представил нерелятивистскую упрощенную модель гомогенной расширяющейся Вселенной, в которой инерция определяется гравитацией. Позже, в 1961 г., Бранс и Дике предложили модель с модифицированным тензорным гравитационным потенциалом. Однако во всех подобных теориях инерциальная реакция окружающих тело объектов, может распространяться только с *конечной* скоростью (не быстрее скорости света). В самом деле, если источником инерции является *гравитационное поле* всей Вселенной, то оно должно характеризоваться *мгновенной*, а не запаздывающей реакцией на движение любого пробного тела.

Рассмотренную выше модель Уилера - Фейнмана, согласно которой обычный *вектор-потенциал* электромагнитного поля представляет собой не что иное, как *сумму “мгновенных” влияний* на пробный заряд со стороны всех остальных зарядов Вселенной, естественно попытаться распространить на гравитационное поле. Подобная попытка была сделана в Нарликармом в начале 80-х годов. Следуя принципу Маха, он пытался в виде аналогичной суммы представить *массу* пробной частицы, так что величина массы при этом оказалась бы зависящей от состава Вселенной.

Принцип Маха и нелокальность

Подобный подход представляется методически неверным, т.к. *вектор-потенциал* играет роль, аналогичную удельному (на единицу заряда) *импульсу* (а не массе).

Чтобы увидеть это, рассмотрим описание электрически заряженной частицы в электромагнитном поле, где выражение для *обобщенного импульса* содержит *два равноправных* слагаемых

$$\vec{P} = m\vec{v} + e\vec{A}/c$$

При таком подходе в сумме, представляющей обобщенный импульс, роль вектор-потенциала \vec{A} (деленного на скорость света), как нетрудно заметить, оказывается вполне аналогичной роли вектора скорости частицы \vec{v} , а роль электрического заряда e – роли гравитационного заряда m .

Симметричная роль гравитационного и электрического зарядов в феномене инерции подтверждается и полной аналогией в выражениях для напряженности поля от заряда, вытекающих из закона Кулона и закона всемирного тяготения.

Таким образом, принцип Маха, согласно которому инерция объекта определяется его гравитационным взаимодействием с остальной вселенной, с необходимостью должен быть дополнен представлением о мгновенности такого взаимодействия, основанного на концепции 4-мерной нелокальности Вселенной.

- 15 -

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !

- 16 -

Литература

- Einstein. Zur Elektrodynamik der bewegter Korper. Ann. Phys., 1905, 17, 891—921. Рус. пер.: А. Эйнштейн. К электродинамике движущихся тел (1905).

- Собрание научных трудов, том 1. М.: Наука. 1965. Собрание научных трудов, том 1. М.: Наука. 1965, с. 7-35.
- Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц. Теория поля (изд. 8). М.: Физматлит, 2003. 536 с.
 - Nave R, HyperPhysics. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hph.html>
 - Richard C. Tolman. Relativity, Thermodynamics And Cosmology. Oxford, Clarendon Press, 1934. Рус. пер.: Толмен Р. Относительность, термодинамика и космология. Москва, Наука, 1974.
 - J.C. Hafele and R.E. Keating, Science 177, 166 (1972).
 - Einstein, B. Podolsky, and N. Rosen. Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? Physical Review, vol. 47, May 1935, pp. 777 – 780. Рус. пер.: А. Эйнштейн, Б. Подольский, Н. Розен. Можно ли считать, что квантово-механическое описание физической реальности является полным? УФН, т. XVI, 1936. С. 436-457.
 - J.S. Bell. On the Einstein-Podolsky-Rosen Paradox, Physics 1, 195 (1964)
 - A Aspect. Bell's theorem : the naive view of an experimentalist. Institut d'Optique Theorique et Appliquee. Опубликовано в "Quantum [Un]speakables – From Bell to Quantum information", редакторы R. A. Bertlmann и A. Zeilinger, Springer (2002).
<https://arxiv.org/ftp/quant-ph/papers/0402/0402001.pdf>
Рус. пер.: А. Аспэ. Теорема Белла: наивный взгляд экспериментатора.
http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_translation/aspek_teorema_bella.pdf
 - Leggett A J Found. Phys. 33 1469 (2003).
 - Aspelmeyer M, Zeilinger A Phys. World 21 (7) 22 (2008).
 - Н. Тетроде Über den Wirkungszusammenhang der Welt. Eine Erweiterung der klassischen Dynamik. Z. Physik 10, 317–328 (1922).
 - J.A. Wheeler, 1984, in Quantum Theory and Measurement, ed. J. A. Wheeler and W. H. Zurek (Princeton University Press).
 - И.Д. Новиков, В.П. Фролов. Физика черных дыр. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1986, с. 328
 - С.W. Misner, K.S. Thorn. Gravitation, vol. 3. San-Fransisco, 1973. Рус. пер.: Ч. Мизнер, К. Торн, Дж. Уилер. Гравитация, т.3. М.: Мир, 1977.11. И.Д. Новиков, В.П. Фролов. Черные дыры во Вселенной. УФН, том 171, № 3. С. 307 - 324.
 - И.Д. Новиков, В.П. Фролов. Черные дыры во Вселенной. УФН, том 171, № 3. С. 307 - 324.
 - С.Н. Bennett, G. Brassard, C. Crépeau, R. Jozsa, A. Peres, W. Wothers. Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky-Rozen channels//Phys. Rev. Lett. – American Physical Society, 1993 – Vol. 70, Iss. 13. – P. 1895 – 1899.
 - Ji-Gang Ren et al. Ground-to-satellite quantum teleportation.
<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1707/1707.00934.pdf>
 - Juan Yin et al. Satellite-based entanglement distribution over 1200 kilometers. Science 16 Jun 2017: Vol. 356, Issue 6343, pp. 1140-114
<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1707/1707.01339.pdf>
 - A.V.Belinsky, M.H. Shulman. A possible origin of quantum correlations. Journal of Russian Laser Research. 2017. Vol. 38, P. 230. Рус. пер.:
http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_quantum/A_possible_origin_of_quantum_correlations_rus.pdf
 - P. A. M. Dirac. The Quantum Theory of the Electron. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 117 (778), (1928).

- E. Schrödinger. Über die kräftefreie Bewegung in der relativistischen Quantenmechanik (“On the free movement in relativistic quantum mechanics”), Berliner Ber., pp. 418—428 (1930); Zur Quantendynamik des Elektrons, Berliner Ber, pp. 63-72 (1931).
- R. Penrose. The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe. USA, Alfred A. Knopf, 2004, 1136 pp. Рус. пер.: Р. Пенроуз. Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной. R & C Dynamics, Москва-Ижевск, 2007. С. 911.
- С.В. Вонсовский, М.С. Свирский. Проблемы теоретической физики. Сб. статей памяти И.Е. Тамма. М., Наука, 1972. С. 389
- А.В.Белинский, М.Х. Шулман Концепция дальнего действия и квантовая запутанность состояний. Электронный философский журнал Vox, выпуск 24 (июнь2018). <https://vox-journal.org/content/Vox%2024/Vox24-11-Belinsky-Shulman.pdf>
- Messiah. Quantum Mechanics. Volume II. North Holland Publishing Company 1965. Рус. пер.: А. Мессиа. Квантовая механика, т. 2. М., “Наука”, главная редакция физико-математической литературы, 1979. С. 584.
- J.A.Wheeler, R.P. Feynman. Interaction with the Absorber as the Mechanism of Radiation, Reviews of Modern Physics, 17, 156, (1945).
- Tianxi Zhang. A new cosmological model: black hole universe. Progress in physics, vol. 3, July, 2009, pp. 3 – 11.
- Sciamia D.W. On the origin of inertia. MNRAS, 1953, v.113, 34–42.
- Brans and R. H. Dicke. Mach's Principle and a Relativistic Theory of Gravitation. Phys. Rev. 124, 925 – Published 1 November 1961
- Д. Трунин. Ведро Ньютона, принцип Маха и существование пространства-времени. Интернет-издание “N+1”. <https://nplus1.ru/blog/2017/12/28/bucket-argument>
- Дж. В. Нарликар. Инерция и космология в теории относительности Эйнштейна, пер. с английского. В книге “Астрофизика, кванты и теория относительности”, М., Мир, 1982. С. 498 – 534.
- Р. Фейнман, Р.Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике. Том 3. М., “Мир”, 1976 . С. 496.

Литература

- Einstein. Zur Elektrodynamik der bewegter Körper. Ann. Phys., 1905, 17, 891—921. Рус. пер.: А. Эйнштейн. К электродинамике движущихся тел (1905). Собрание научных трудов, том 1. М.: Наука. 1965. Собрание научных трудов, том 1. М.: Наука. 1965, с. 7-35.
- Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц. Теория поля (изд. 8). М.: Физматлит, 2003. 536 с.
- Nave R, HyperPhysics. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hph.html>
- Richard C. Tolman. Relativity, Thermodynamics And Cosmology. Oxford, Clarendon Press, 1934. Рус. пер.: Толмен Р. Относительность, термодинамика и космология. Москва, Наука, 1974.
- J.C. Hafele and R.E. Keating, Science 177, 166 (1972).
- Einstein, B. Podolsky, and N. Rosen. Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? Physical Review, vol. 47, May 1935, pp. 777 – 780. Рус. пер.: А. Эйнштейн, Б. Подольский, Н. Розен. Можно ли считать, что квантово-механическое описание физической реальности является полным? УФН, т. XVI, 1936. С. 436-457.
- J.S. Bell. On the Einstein-Podolsky-Rosen Paradox, Physics 1, 195 (1964)
- A Aspect. Bell's theorem : the naive view of an experimentalist. Institut d'Optique Theorique et Appliquee. Опубликовано в "Quantum [Un]speakables – From Bell to Quantum information", редакторы R. A. Bertlmann и A. Zeilinger, Springer (2002). <https://arxiv.org/ftp/quant-ph/papers/0402/0402001.pdf> Рус. пер.: А. Аспэ. Теорема Белла: наивный взгляд экспериментатора. http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_translation/aspek_teore_spek_teorema_bella.pdf
- Leggett A J Found. Phys. 33 1469 (2003).
- Aspelmeyer M, Zeilinger A Phys. World 21 (7) 22 (2008).
- H. Tetrode Über den Wirkungszusammenhang der Welt. Eine Erweiterung der klassischen Dynamik. Z. Physik 10, 317–328 (1922).
- J.A. Wheeler, 1984, in Quantum Theory and Measurement, ed. J. A. Wheeler and W. H. Zurek (Princeton University Press).
- И.Д. Новиков, В.П. Фролов. Физика черных дыр. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1986, с. 328
- C.W. Misner, K.S. Thorn. Gravitation, vol. 3. San-Fransisco, 1973. Рус. пер.: Ч. Мизнер, К. Торн, Дж. Уилер. Гравитация, т.3. М.: Мир, 1977.11. И.Д. Новиков, В.П. Фролов. Черные дыры во Вселенной. УФН, том 171, № 3. С. 307 - 324.
- И.Д. Новиков, В.П. Фролов. Черные дыры во Вселенной. УФН, том 171, № 3. С. 307 - 324.
- C.H. Bennett, G. Brassard, C. Crépeau, R. Jozsa, A. Peres, W. Wothers. Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky-Rozen channels//Phys. Rev. Lett. – American Physical Society, 1993 – Vol. 70, Iss. 13. – P. 1895 – 1899.
- Ji-Gang Ren et al. Ground-to-satellite quantum teleportation. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1707/1707.00934.pdf>
- Juan Yin et al. Satellite-based entanglement distribution over 1200 kilometers. Science 16 Jun 2017; Vol. 356, Issue 6343, pp. 1140-114
- <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1707/1707.01339.pdf>
- A.V.Belinsky, M.H. Shulman. A possible origin of quantum correlations. Journal of Russian Laser Research. 2017. Vol. 38, P. 230. Рус. пер.:
- http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_quantum/A_possible_origin_of_quantum_correlations_rus.pdf
- P. A. M. Dirac. The Quantum Theory of the Electron. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 117 (778), (1928).
- E. Schrödinger. Über die kräftefreie Bewegung in der relativistischen Quantenmechanik ("On the free movement in relativistic quantum mechanics"), Berliner Ber., pp. 418—428 (1930); Zur Quantendynamik des Elektrons, Berliner Ber, pp. 63-72 (1931).
- R. Penrose. The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe. USA, Alfred A. Knopf, 2004, 1136 pp. Рус. пер.: Р. Пенроуз. Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной. R & C Dynamics, Москва-Ижевск, 2007. С. 911.
- С.В. Вонсовский, М.С. Свирский. Проблемы теоретической физики. Сб. статей памяти И.Е. Тамма. М., Наука, 1972. С. 389
- А.В.Белинский, М.Х. Шульман Концепция дальнего действия и квантовая запутанность состояний. Электронный философский журнал Vox, выпуск 24 (июнь2018). <https://vox-journal.org/content/Vox%2024/Vox24-11-Belinsky-Shulman.pdf>
- Messiah. Quantum Mechanics. Volume II. North Holland Publishing Company 1965. Рус. пер.: А. Мессиа. Квантовая механика, т. 2. М., "Наука", главная редакция физико-математической литературы, 1979. С. 584.
- J.A.Wheeler, R.P. Feynman. Interaction with the Absorber as the Mechanism of Radiation, Reviews of Modern Physics, 17, 156, (1945).
- Tianxi Zhang. A new cosmological model: black hole universe. Progress in physics, vol. 3, July, 2009, pp. 3 – 11.
- Sciamia D.W. On the origin of inertia. MNRAS, 1953, v.113, 34–42.
- Brans and R. H. Dicke. Mach's Principle and a Relativistic Theory of Gravitation. Phys. Rev. 124, 925 – Published 1 November 1961
- Д. Трунин. Ведро Ньютона, принцип Маха и существование пространства-времени. Интернет-издание "N+1". <https://nplus1.ru/blog/2017/12/28/bucket-argument>
- Дж. В. Нарликар. Инерция и космология в теории относительности Эйнштейна, пер. с английского. В книге "Астрофизика, кванты и теория относительности", М., Мир, 1982. С. 498 – 534.
- Р. Фейнман, Р.Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике. Том 3. М., "Мир", 1976 . С. 496.