Спор Эйнштейна с Бором и новые основания математики

Андрей Родин

Институт Философии РАН

28 апреля 2015 г.

Content:

Эйнштейн против Бора

Программный реализм (после Эйнштейна)

Математика и физика
- история
- современность

Математические перспективы физического реализма
- Конструктивная математика
- Теория топосов: внутренняя логика
- Унивалентные Основания

Выводы

Эйнштейн против Бора

Программный реализм (после Эйнштейна)

Математика и физика
- история
- современность

Математические перспективы физического реализма
- Конструктивная математика
- Теория топосов: внутренняя логика
- Унивалентные Основания

Выводы

ИСТОЧНИКИ

Первичные:
- P.A. Schilpp. Albert Einstein: Scientist-Philosopher (The Library of Living Philosophers). Evanston, 1949.
- A. Einstein. Ideas and Opinions. Crown Publishers, 1954.
- A. Einstein, B. Podolsky and N. Rosen. Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? Physical Review vol. 47 (1935)

Вторичные:
- J.T. Cushing. Quantum Mechanics: Historical Contingency and the Copenhagen Hegemony. University of Chicago Press, 1994
- A. Fine. The Shaky Game: Einstein, Realism and the Quantum Theory. University of Chicago Press, 1986.
- D. Howard. Revisiting the Einstein-Bohr Dialogue. Lyyun:57

Шредингер - Бору (1928):

Квантовая физика требует радикального пересмотра всех классических физических понятий.

Бор (1949):

Как бы далеко [квантовые] явления не выходили за пределы классических физических объяснений, все такого рода факты нужно описывать **в терминах классических понятий**. Причина этого состоит в том, что мы называем экспериментом ситуацию, в которой мы можем сообщить другим то, что мы сделали и что мы узнали. Следовательно экспериментальные приготовления и результаты наблюдений должны быть быть описаны на недвусмысленном языке с применением **классической физической терминологии**.

Бор (1949 продолжение):

Данные различных экспериментов невозможно свести в единую картину. Поэтому их нужно рассматривать в качестве дополнительных имея при этом в виду, что только полная совокупность всех явлений наблюдаемых в экспериментах [различных типов] содержит полную информацию об изучаемых объектах. [А]декватным инструментом дополнительного описания является именно формализм квантовой механики, который представляет собой *чисто символическую схему* позволяющую описывать и предсказывать результаты экспериментов в **терминах классических понятий**.

Бор (1949 продолжение):

Этот принципиальный момент влечет за собой невозможность строго отделить поведение атомных объектов от их взаимодействия с измерительными инструментами, с помощью которых устанавливаются условия при которых возникают квантовые явления.

Эйнштейн - Шредингеру (1928):

Ваше мнение, согласно которому понятия импульса и положения нужно отбросить в случае, когда они имеют только "размытые" значения, кажется мне совершенно обоснованным. Успокоительная философия - или скорее религия? - Гейзенберга-Бора так хитро устроена, что каждому истинно верующему она дает мягкую подушку, от которой его очень трудно оторвать. Поэтому лучше оставить его на ней лежать.

Эйнштейн (1949): Мы имеем здесь дело с категориями или схемами мышления, которые мы можем выбирать сами и которые мы можем оценивать только по их вкладу в прояснение содержания нашего сознания. [..] Пока мы движемся внутри таким образом очерченной сферы мысли, мы мыслим физически. Поскольку физическое мышление позволяет нам понимать опыт, мы рассматриваем это мышление как "знание реальности". Таким образом под "реальностью" в физике нужно понимать **что-то вроде программы**, которая, однако, не заложена в нас априори.

Эйнштейн (1954):

По моему мнению ничего нельзя заранее сказать о том, каким образом нужно строить понятия и связывать эти понятия с другими понятиями и с опытом. Необходим только некоторый набор таких правил, поскольку без правил невозможно приобрести никакое новое знание. Можно сравнить эти правила с правилами некоторой игры, которые являются вполне произвольными, но без которых данная игра невозможна. Однако такие правила не задаются раз и навсегда, но применяются только в строго определенных рамках. Поэтому [в науке] нет никаких окончательных категорий в смысле Канта.

Бор и Эйнштейн: две модификации эпистемологии Канта.
Являются ли фундаментальные математизированные физические понятия (в частности, понятия пространства и времени) *конститутивными*?
Эйнштейн: да, но при этом сами понятия не фиксированы раз и навсегда .
Бор: фундаментальные понятия фиксированы, но в физической теории они играют не конститутивную, а только символическую роль.

ЭПР

- Эйнштейн НЕ защищает гипотезу скрытых параметров (ГСП) ни в этой статье, ни где-либо еще;
- поэтому экспериментальное опровержение (Аспект) гипотезы ГСП НЕ опровергает позицию Эйнштейна в его споре с Бором.

Эйнштейн - Шредингеру (1935):
Эта статья [ЭПР] была написана Подольским после нескольких обсуждений. И все равно она не получилась такой, какой я хотел ее видеть. Существо дела оказалось затуманено формализмом.

Теория T описывающая универсум U является *реалистической* если и только если

Теория T описывающая универсум U является *реалистической* если и только если

- (a) T описывает все объекты универсума U как предметы возможного опыта (эмпирический характер теории);

Теория T описывающая универсум U является *реалистической* если и только если

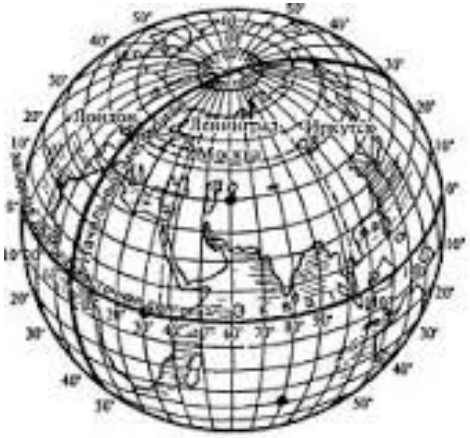
- (а) T описывает все объекты универсума U как предметы возможного опыта (эмпирический характер теории);
- (б) T описывает физический механизм получения соответствующего опыта (наблюдения, эксперименты, измерения) на основании тех же общих принципов, которые используются при описании любых других физических процессов в U (включенность наблюдателя);

Теория T описывающая универсум U является *реалистической* если и только если

- (а) T описывает все объекты универсума U как предметы возможного опыта (эмпирический характер теории);
- (б) T описывает физический механизм получения соответствующего опыта (наблюдения, эксперименты, измерения) на основании тех же общих принципов, которые используются при описании любых других физических процессов в U (включенность наблюдателя);
- (в) T не включает процесс приобретения опыта (и человеческое сознание - постольку, поскольку оно предполагается обычным понятием опыта) в число тех фундаментальных физических процессов, которые лежат в основе всех других физических процессов в U (отделимость наблюдателя).

Вопрос о реальности или фиктивности данного объекта теории T НЕ решается с помощью философской спекуляции. Этот вопрос решается с помощью самой теории T (и сопутствующих теорий) включая эмпирические основания этих теорий. Всякое такое решение имеет такой же эпистемический статус как и любое другое утверждение в эмпирических теориях.

Пример: географические координаты



Определение географических координат

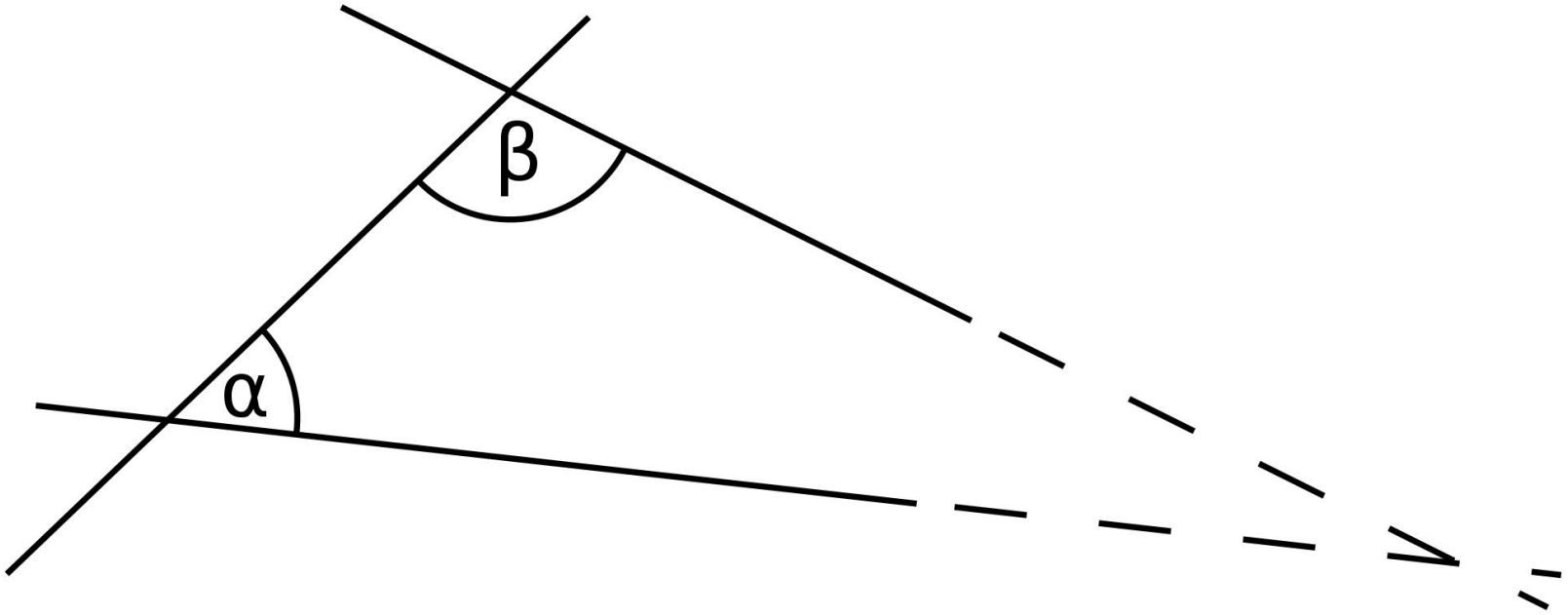
Полюса и Экватор НЕ являются фикциями в том же смысле, что и меридианы - поскольку их положение определяется свойствами земного шара не связанными с человеческой деятельностью. Ср. Кант “Как ориентироваться в мышлении”.

Проблема

Современная квантовая физика НЕ является реалистической, поскольку не позволяет надежно отделить наблюдателя.

Кант: сфера математики это сфера *возможного* опыта.

Неевклидова революция



Лобачевский (1792 - 1856)

Воображаемая геометрия - Géometrie imaginaire: 1835 - 1837
Geometrische Untersuchungen zur Theorie der Parallellinien: 1940

Аксиоматическая математика в 20м веке

D. Hilbert, Grundlagen 1899:

§ 1.

Die Elemente der Geometrie und die fünf Axiomgruppen.

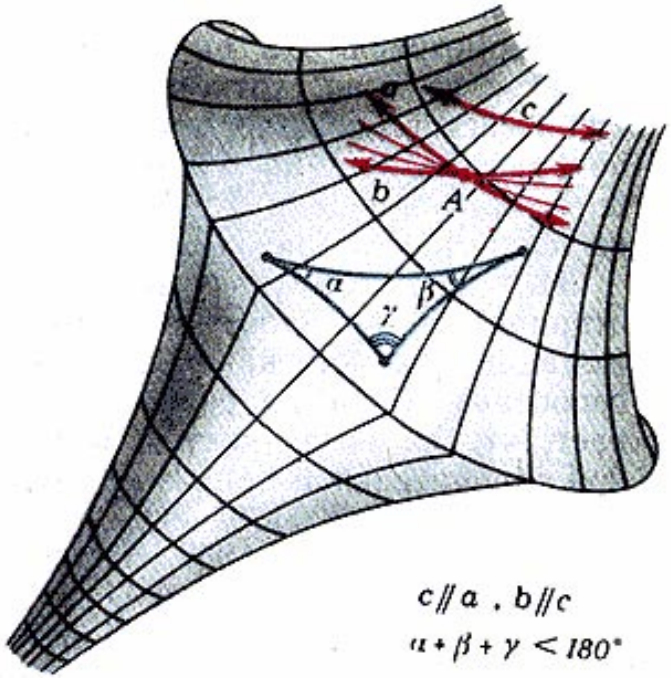
Erklärung. Wir denken drei verschiedene Systeme von Dingen: die Dinge des ersten Systems nennen wir *Punkte* und bezeichnen sie mit $A, B, C, \ldots$; die Dinge des zweiten Systems nennen wir *Gerade* und bezeichnen sie mit $a, b, c, \ldots$; die Dinge des dritten Systems nennen wir *Ebenen* und bezeichnen sie mit $\alpha, \beta, \gamma, \ldots$; die Punkte heißen auch die *Elemente der linearen Geometrie*, die Punkte und Geraden heißen die *Elemente der ebenen Geometrie* und die Punkte, Geraden und Ebenen heißen die *Elemente der räumlichen Geometrie* oder *des Raumes*.

Wir denken die Punkte, Geraden, Ebenen in gewissen gegenseitigen Beziehungen und bezeichnen diese Beziehungen durch Worte wie „liegen", „zwischen", „parallel", „kongruent", „stetig"; die genaue und vollständige Beschreibung dieser Beziehungen erfolgt durch die *Axiome der Geometrie*.

Мы мыслим три различные системы вещей: вещи первой системы мы называем *точками* и обозначаем их $A, B, C, \ldots$; вещи второй системы мы называем *прямыми* и обозначаем их $a, b, c, \ldots$; вещи третьей системы мы называем *плоскостями* и обозначаем их $\alpha, \beta, \gamma, \ldots$. [..]

Мы мыслим точки, прямые, плоскости находящимися в известных взаимных отношениях и обозначаем эти отношения словами “лежат”, “между”, “параллельный”, “конгруэнтный” и “непрерывный”. Точное и для математических целей полное описание этих отношений дается *аксиомами* геометрии.

Модели: Псевдосфера Бельтрами:



(ср. с идеей дополнительных описаний у Бора)

Кантор 1878

Сущность математики - в ее свободе.

Кассирер 1907

Математические и логические понятия не должны больше служить нам инструментами для построения метафизических 'мысленных миров'; их функция и их применение должны быть ограничены пределами эмпирических наук.

Кассирер 1907

С точки зрения Рассела логика и математика имеют дело только с порядком понятий и не должны заботиться о порядке или беспорядке объектов. Если оставаться в рамках такого анализа понятий, то эмпирические вещи будут всегда ускальзать от всякого рационального понимания. Чем более очевидными будут для нас достоинства и мощь дедукции в математике, тем менее понятной будет роль дедукции в естественных науках.

Кассирер 1907

Логические и математические утверждения могут иметь чисто гипотетическую ценность. Но только ли по счастливой случайности эти гипотезы позволяют нам описывать и предсказывать эмпирические факты? [..] Задача критической философии, начинается там, где заканчивается логистика. Эта задача состоит в том, чтобы найти логику предметного (gegenständliche) познания.

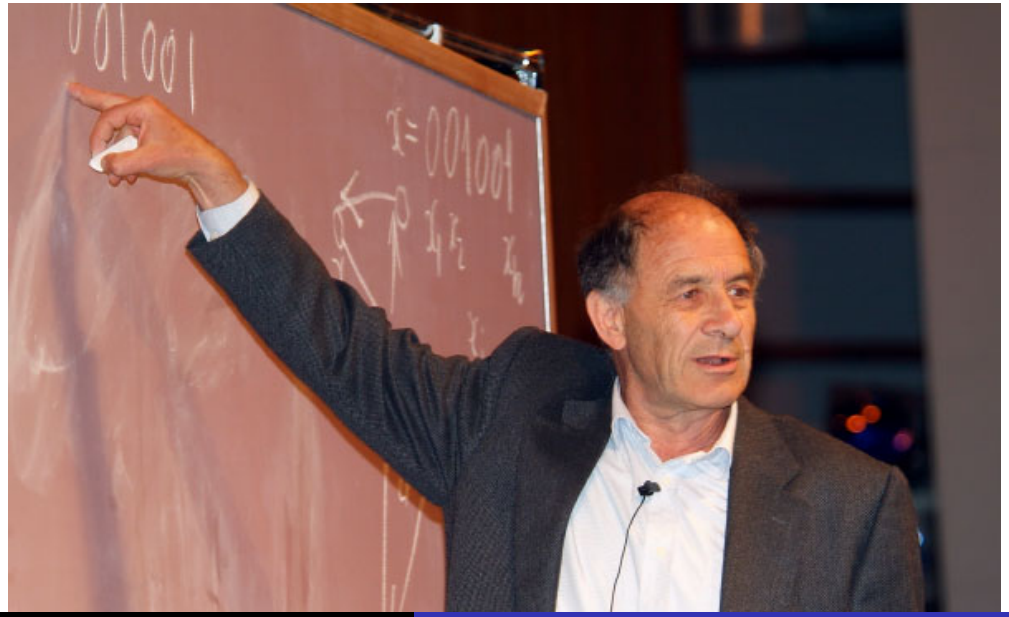
Вигнер 1960

Ср. Вигнер “Непостижимая эффективность математики в естественных науках”

У Канта есть ответ на вопрос Вигнера. Однако этот ответ сформулирован по отношению к математике и физике 18-го века и НЕ адекватен математике и физике 20-го века!

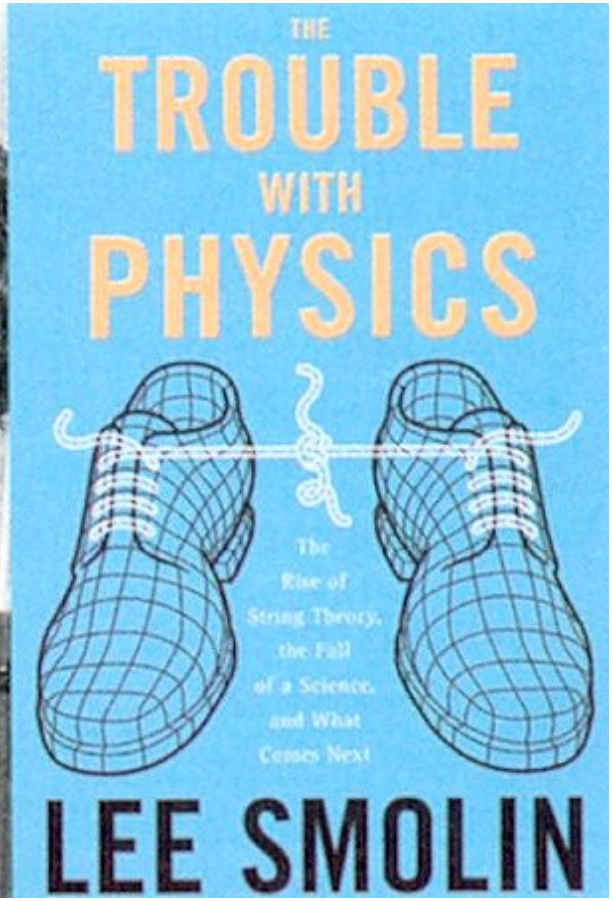
Декларации:

В.И. Арнольд: математика - часть физики (в которой эксперименты стоят дешево)
Математики-схоласты (мало знакомые с физикой) верят в принципиальное отличие аксиоматической математики от обычного в естествознании моделирования (всегда нуждающегося в последующем контроле выводов

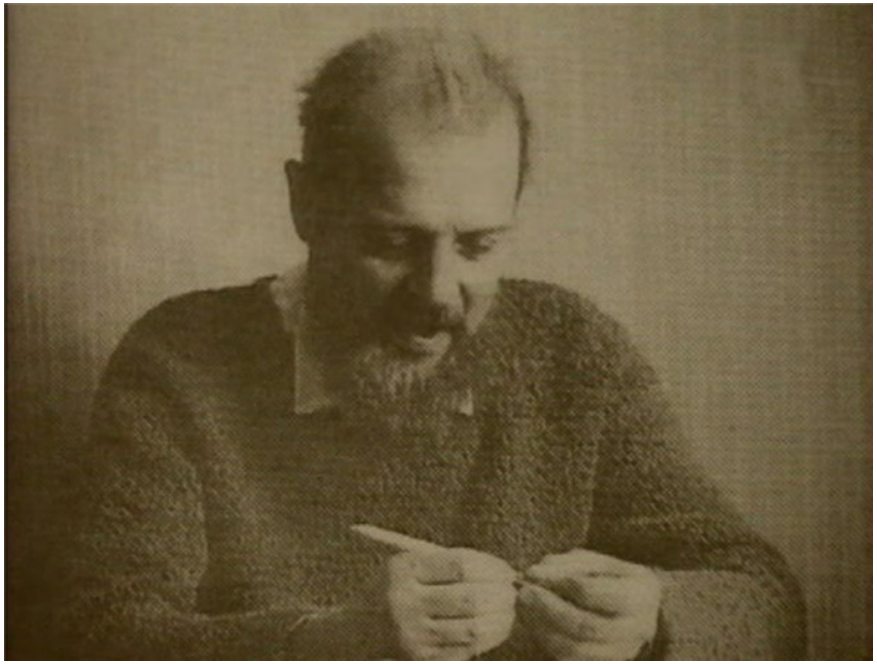


Проблема НЕ в том, что мир современной математики слишком далек от материального мира и практических человеческих нужд. Проблема скорее в том, что математика применяется к материальному миру СЛИШКОМ легко! Поэтому для “мягких” наук она подходит лучше, чем для точных. Ср. “структуры родства” Леви-Стросса. Метафизические утверждения легко подтвердить фактами, но невозможно опровергнуть с помощью фактов.

Lee Smolin


THE
TROUBLE
WITH
PHYSICS
The Rise of String Theory, the Fall of a Science, and What Comes Next
LEE SMOLIN

А.С. Есенин-Вольпин: финитизм (ультра-интуиционизм)



На сегодняшний день нет физических применений. Математическая идеализация оказывается физически эффективной!

A. Doering. Topos theory and Çneo-realistŸ quantum theory. arXiv: 0712.4003, 2007:
We will show in detail how, given a state, truth-values are assigned to all propositions about a quantum system. This is independent of any measurement or observer. For that reason, we say that the topos approach gives a 'neo-realist' formulation of quantum theory.

Владимир Воеводский: Унивалентные Основания (2008 -)

Vladimir Voevodsky

- Cutting-edge Math so complex probability of mistake in any given proof very high
- Automated proof checking the present and future of Math
- Video:
  Univalent Foundations: New Foundations of Mathematics
  http://video.ias.edu/node/6395

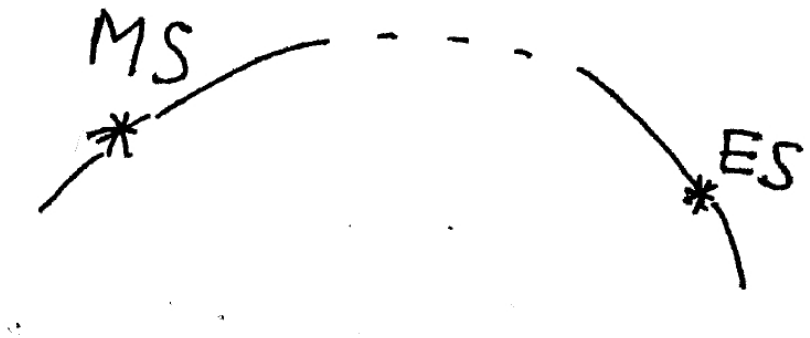
Идея:

1) Аксиоматическая теория имеет дело не только с утверждениями (пропозициями), но и с объектами других типов. Пропозиции это определенный тип объектов наряду с другими типами (конструктивная теория типов Мартина-Лефа; ср. Постулаты и Проблемы у Евклида)
2) Конструктивная теория М-Л полностью интерпретируется в геометрической *теории гомотопий*. В частности, (доказательства утверждений) тождества интерпретируются как пути и гомотопии путей (включая высшие гомотопии).

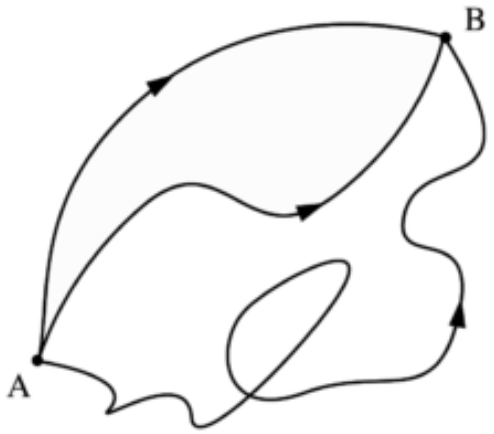
Urs Schreiber (2013):

Our task is to: refine Lawvere's synthetic approach on Hilbert's sixth problem from classical physics formalized in synthetic differential geometry axiomatized in topos theory to high energy physics formalized in higher differential geometry axiomatized in higher topos theory. Specifically, the task is to add to (univalent) homotopy type theory axioms that make the homotopy types have the interpretation of differential geometric homotopy types in a way that admits a formalization of high energy physics.

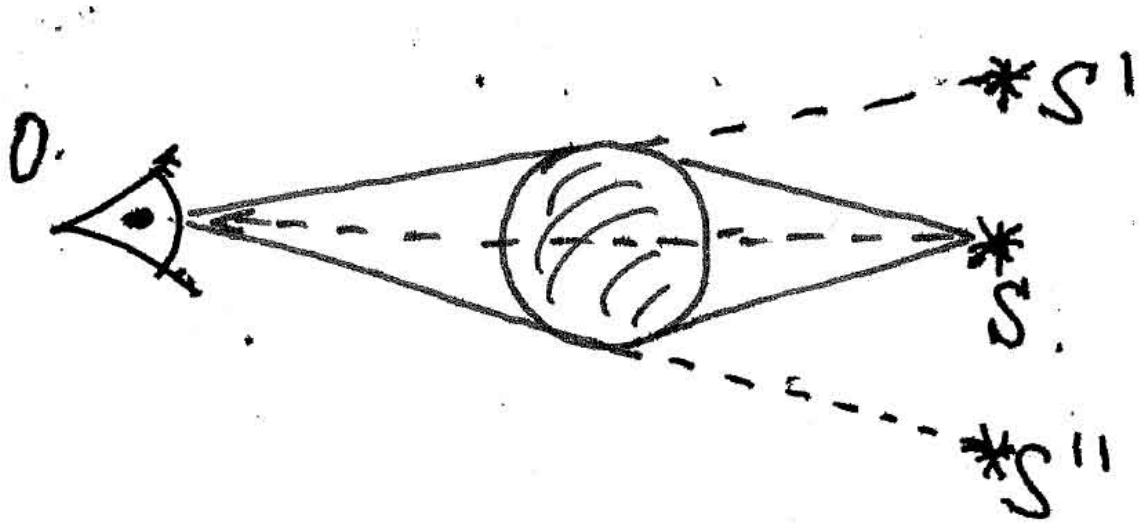
Классическая траектория



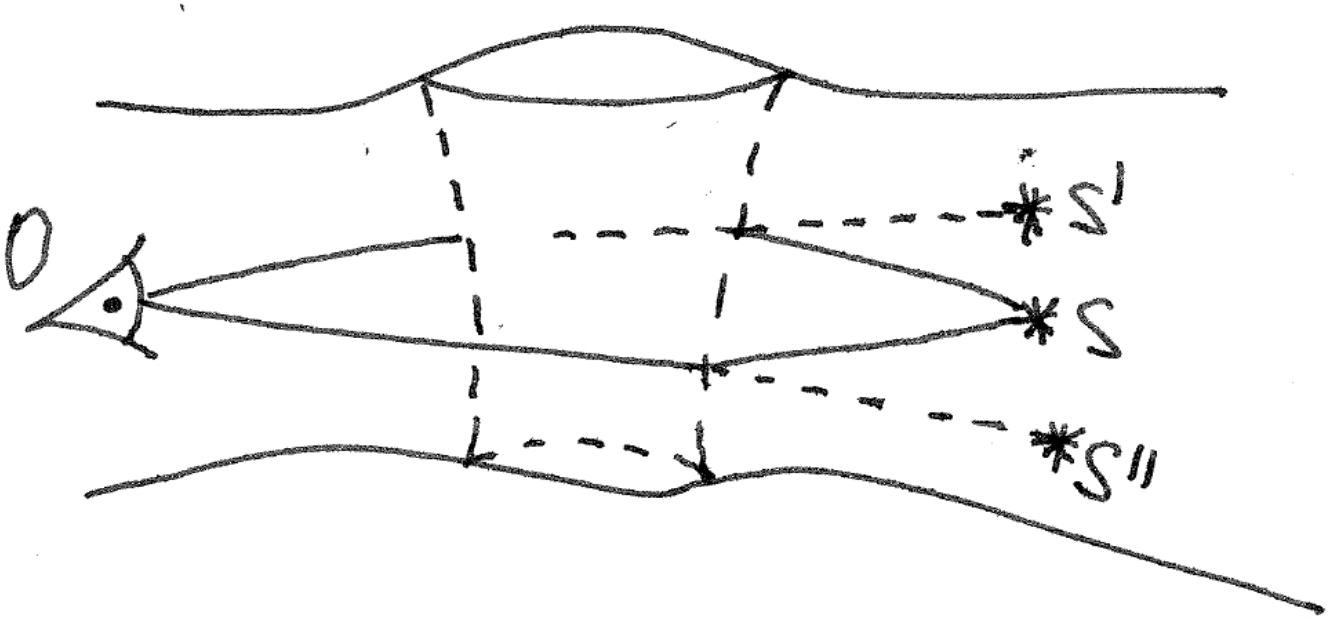
Квантовые траектории



Гравитационное лензирование вызванное массивным телом



Гравитационное лензирование вызванное кротовой норой



(Гомотопическая) геометрия это настоящий язык природы?

Сумма

Сумма

- Требование реалистичности фундаментальных научных теорий является намного более сильным, чем требование эмпирической адекватности.

Сумма

- Требование реалистичности фундаментальных научных теорий является намного более сильным, чем требование эмпирической адекватности.
- Аргументы Бора и его последователей о том, что такое требование в принципе не может быть выполнено по отношению к микромиру, не имеют заключительной силы.

Сумма

- Требование реалистичности фундаментальных научных теорий является намного более сильным, чем требование эмпирической адекватности.
- Аргументы Бора и его последователей о том, что такое требование в принципе не может быть выполнено по отношению к микромиру, не имеют заключительной силы.
- Стандартная архитектура математики 20-го века не подходит для продвижения реалистических исследовательских программ в физике и других естественных науках.

Сумма

- Требование реалистичности фундаментальных научных теорий является намного более сильным, чем требование эмпирической адекватности.
- Аргументы Бора и его последователей о том, что такое требование в принципе не может быть выполнено по отношению к микромиру, не имеют заключительной силы.
- Стандартная архитектура математики 20-го века не подходит для продвижения реалистических исследовательских программ в физике и других естественных науках.
- Отказ от всякой математической архитектуры не решает эту проблему. Конструктивные ограничения тоже не решают проблему.

Заключение

Новые основания математики такие как Унивалентные Основания позволяют смотреть на будущее реалистической физики с оптимизмом. Реализм снова стал привлекательной идеей в физике.

СПАСИБО!