

Бабочка, электрон и космический ландшафт.

Воронцов Игорь

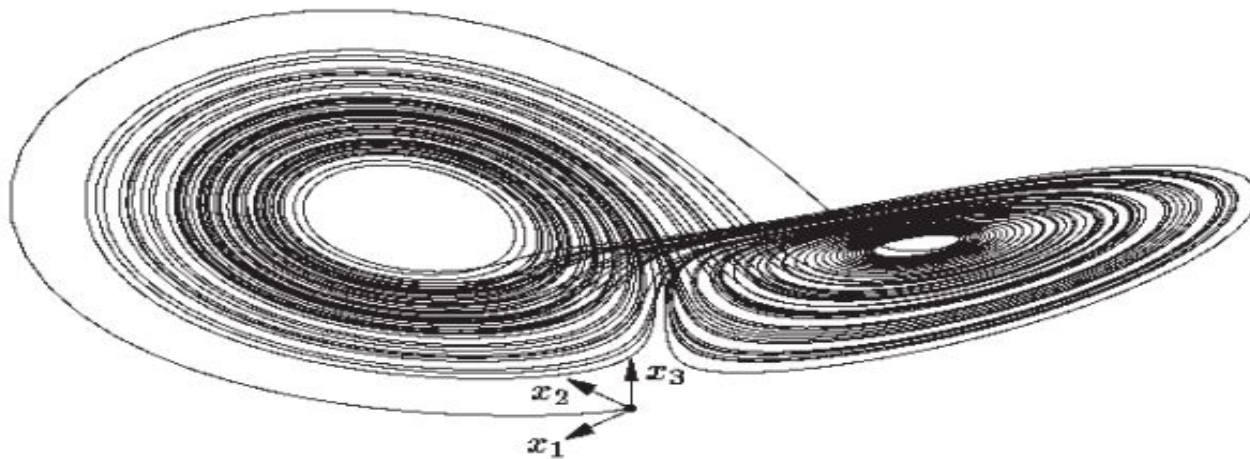
igor.vorontsov.mipt@gmail.com

Неопределенность в классической физике.

- 1) Невозможность абсолютно точных измерений;
- 2) Всё, что мы видим – прошлое;
- 3) Нельзя точно рассчитать на длительное время;
- 4) Неопределённость в теории сигналов: частота и интервал дискретизации сигнала не могут быть одновременно сколь угодно малыми;
- 5) Неточность в законах физики, константах;
- 6) Детерминизм или иллюзия детерминизма? Частота восприятия реальности определяет

Вероятностная природа классической физики.

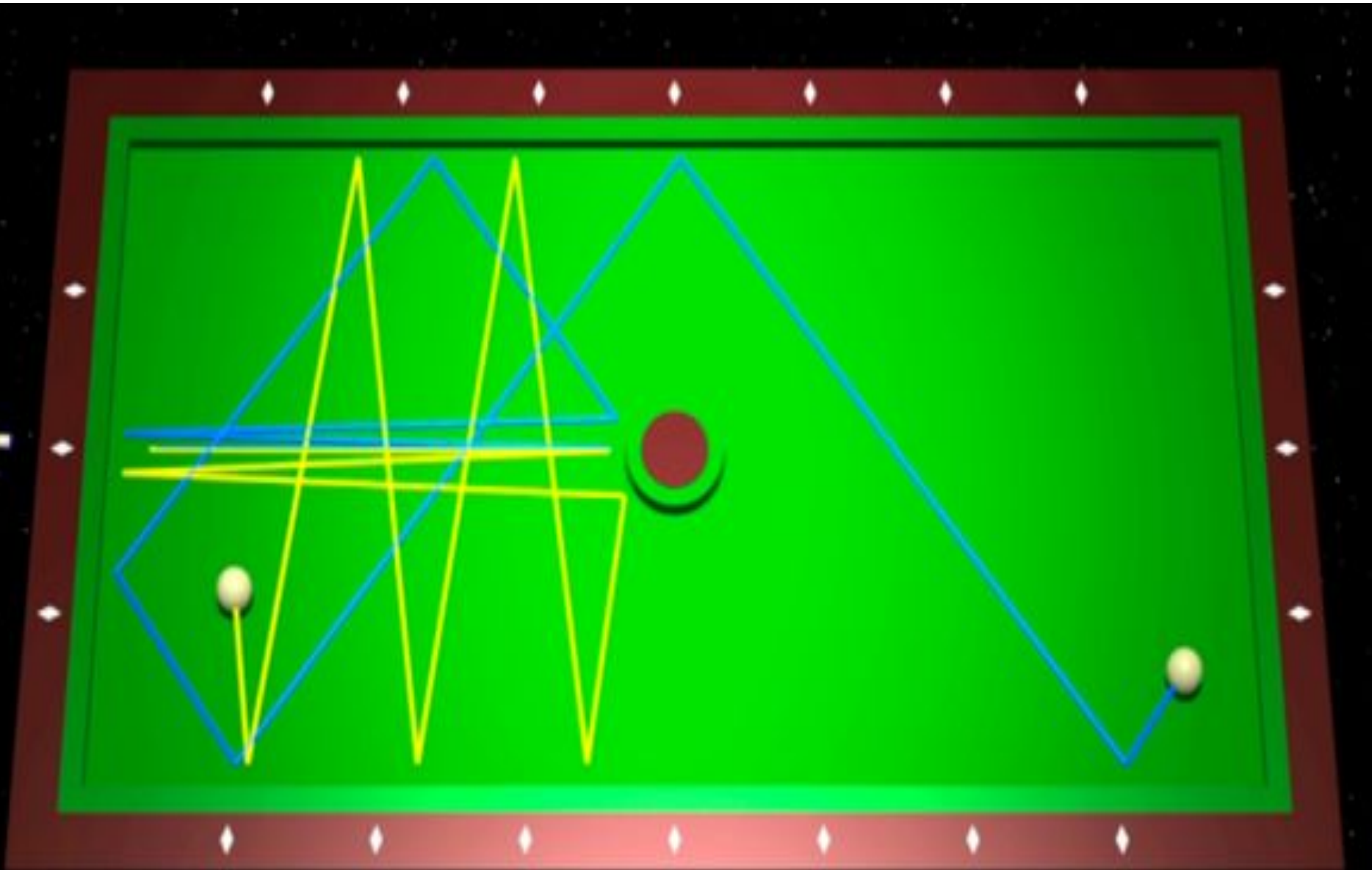
Неустойчивость уравнений классической механики работает как своеобразный микроскоп, который вытягивает на макроуровень все более и более мелкие возмущения первоначальной системы. Это приводит к тому, что классическая механика позволяет делать предсказания на сколь угодно длинные сроки только тому, кто знает начальные данные с бесконечной точностью, т. е. может оперировать с бесконечным объемом информации («Демон Лапласа»). Для вычисления погоды на два месяца вперед нужно иметь в запасе пять знаков точности. Практически это



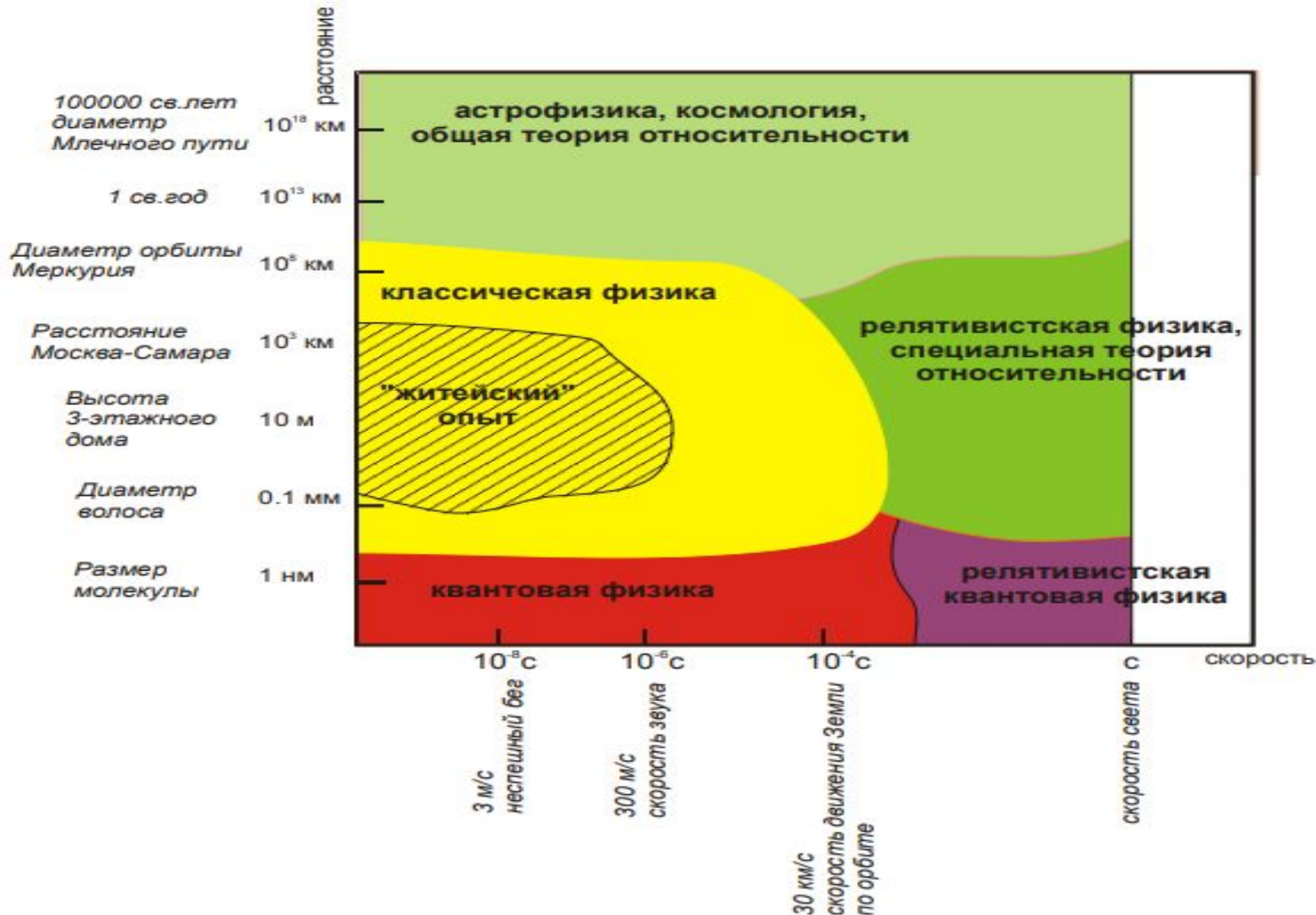
Аттрактор («бабочка») Лоренца — классический пример того, как детерминистическая динамика порождает хаос. Витки кривой проходят сколь угодно близко друг к другу, в результате чего сколь угодно малая ошибка приводит к тому, что со временем мы ошибёмся «лепестком». Первоначально аттрактор Лоренца возник при численном исследовании простейшей модели погоды.

Бильярд Синая.

Через несколько столкновений рассчитать



Физика 19-го века – усовершенствованный «здоровый смысл»



Открытие принципа неопределённости

В 1927-м году молодой немецкий физик Гейзенберг (ему было 26 лет на тот момент) открыл известный принцип неопределённости, который с тех пор носит его имя. В то время сложной неразрешимой проблемой, над которой бились лучшие умы того времени, был вывод формул для определения скорости и положения электрона.

В то время, когда классики физики (Бор, Эйнштейн, Планк и другие) не могли решить проблему, 26-летний гений не только смог решить её, но и с помощью открытия этого принципа создал квантовую теорию.

Гейзенберг понял, что неопределённость – это фундаментальное свойство нашего мира, на основе которого вообще существует движение и вещество.

Два синонима – немного разный смысл, но оба есть одновременно.

indeterminacy principle

uncertainty principle

Антонимом к первому – определённость (положения, скорости, времени...).

Антонимом ко второму – получение полной информации.

Гейзенберг – предложил во втором варианте.

Известно сейчас – первый более точный.

Природа света

17 век

Исаак Ньютон

корпускулярная теория

(свет – поток частиц)

Христиан Гюйгенс

волновая теория

(свет – волна)

19 век

Джеймс Кларк Максвелл – электромагнитная природа света

20 век

Макс Планк – квантовая природа света

Корпускулярная
теория света
(Ньютон)

Свет – поток частиц
(перенос вещества)

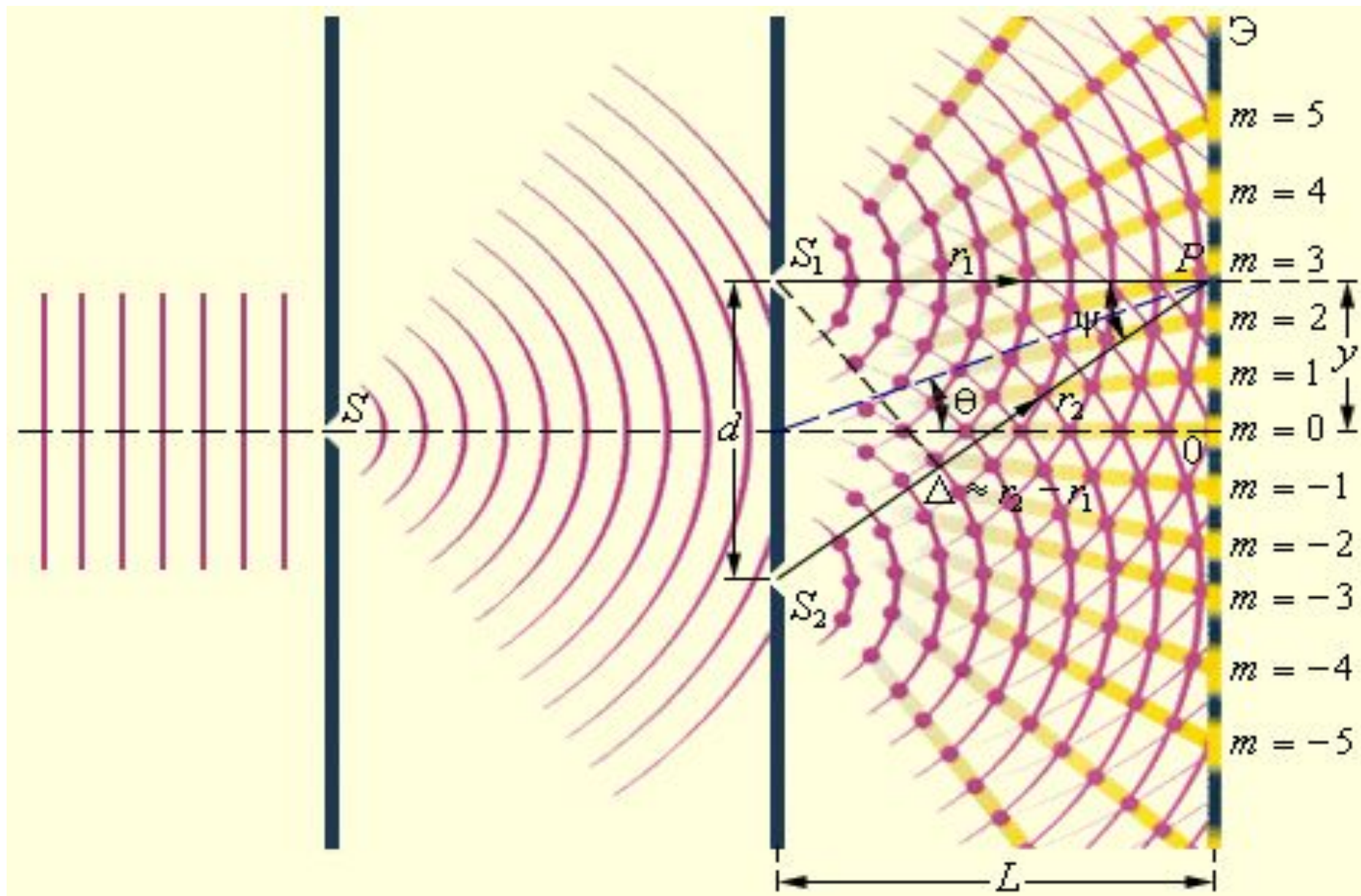
Квантовые свойства
света
(при излучении и
поглощении)

Волновая
теория света
(Гюйгенс)

Свет – волны

Электромагнитная
теория света
(Максвелл – XIX в.)

Свет – волна.

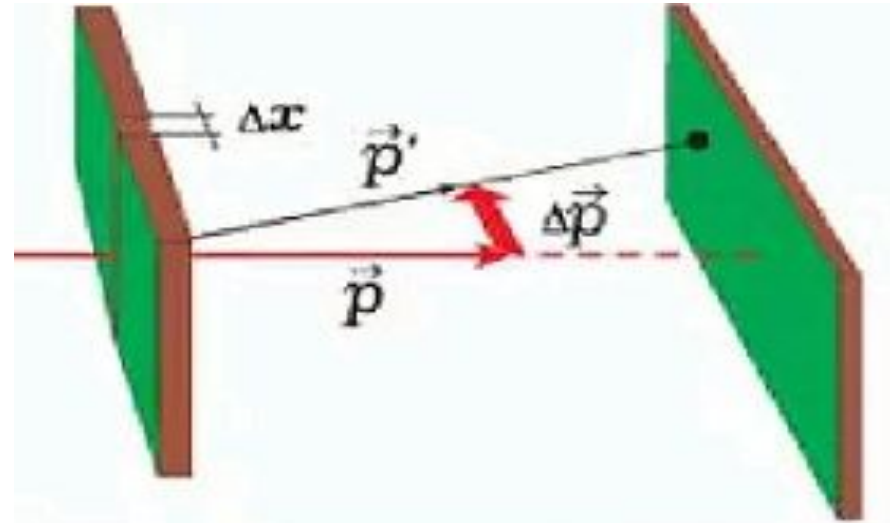


Эпикур прав, Демокрит ошибался.

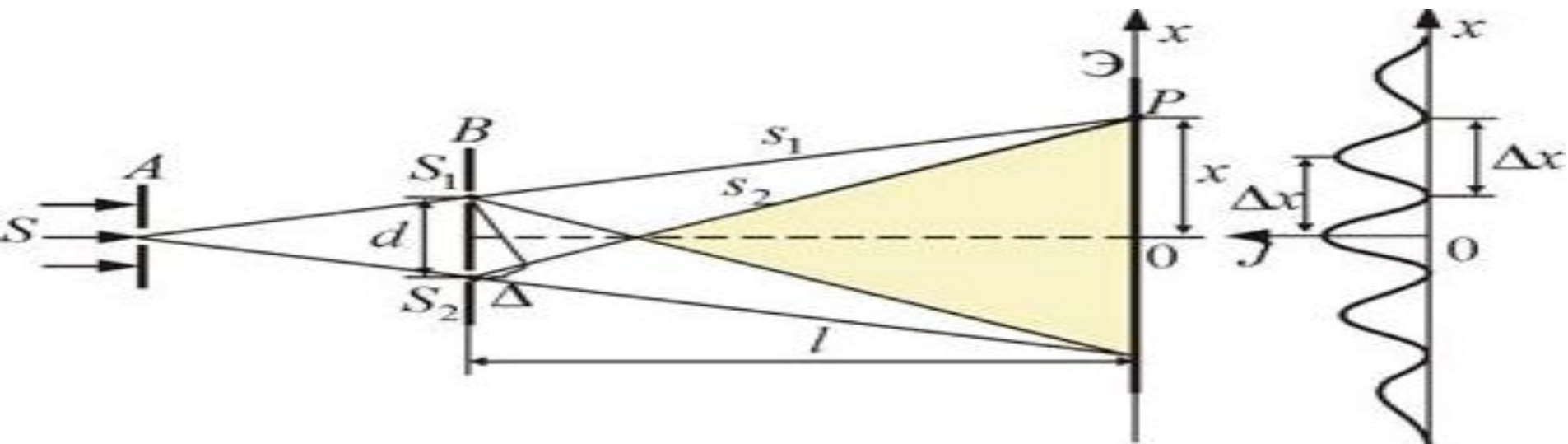
Неопределённость в координате задаёт неопределённость пути.

Связь между шириной щели и картиной интерференции – такая же, как у механических волн.

Итак, корпускулярно-волновой дуализм – можно объяснить через принцип неопределённости.



$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar, \quad \Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$$



Как двигается квантовый кот?

Неопределённость кота в положении будет расти до тех пор, пока он не туннелирует в другую комнату



Подбарьерное туннелирование.

Примеры:

сверхпроводники, туннельные диоды,
радиоактивный распад, реакции внутри
звёзд



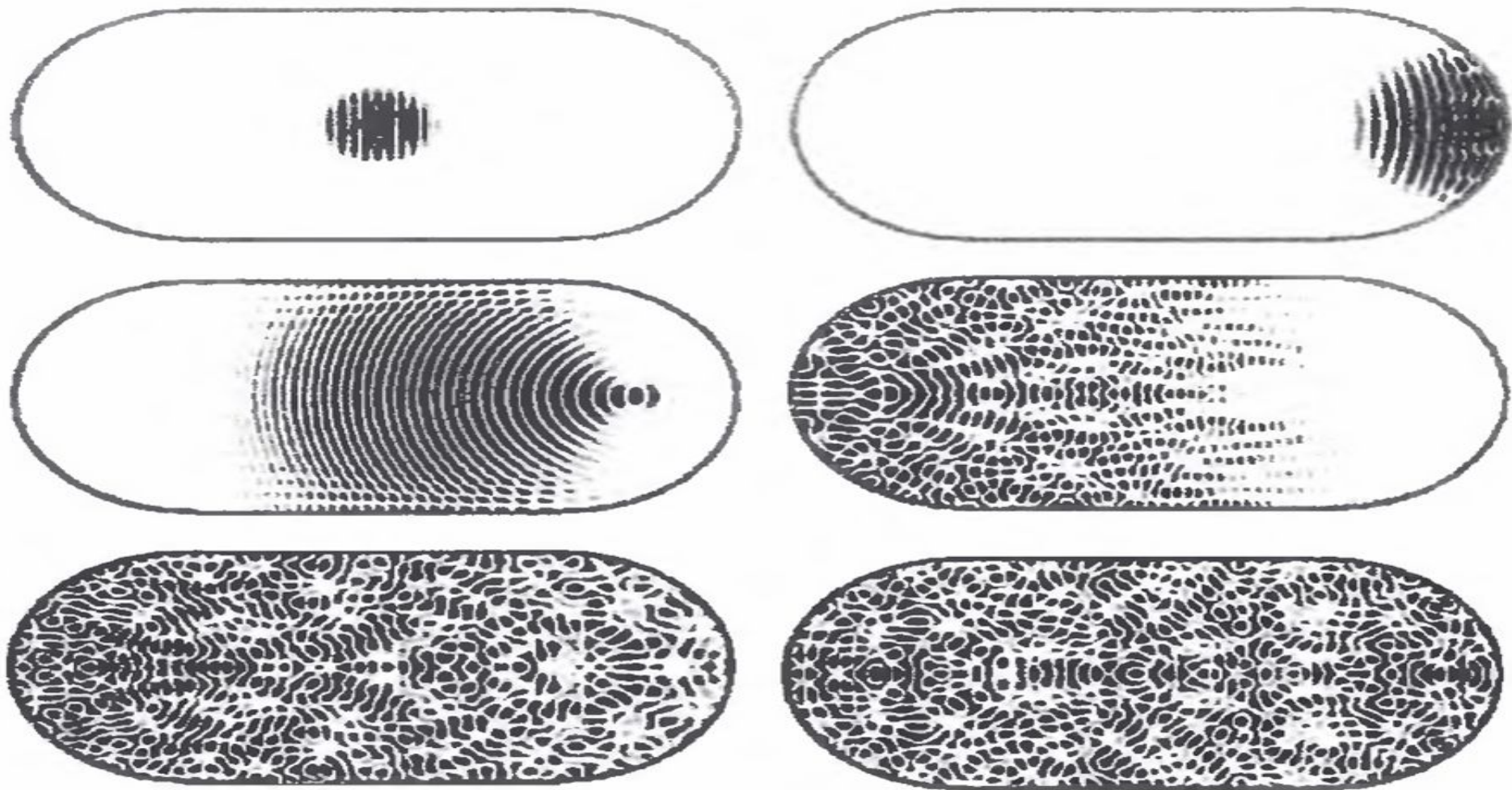
Квантовый бильярд («приключения Мистера Томпенса»)



Белый шар двигался одновременно по всем направлениям

Квантовый бильярд.

Этапы распространения волны в квантовом бильярде. Изначально волна сконцентрирована в импульсе круглой формы и движется слева направо, затем она расплывается и много раз переотражается от стенок. Легко рассчитать



| | Классические измерения | Квантовые изм |
|-----------------------------|--|---|
| Результат опыта. | Объективный факт. Всегда один и тот же. | Зависит от способ измерения, случаев |
| Целое и части. | Любая система делима на любые части и сводится к ним - редукционизм. | Разделение системы на части снижает точность описания. Всё материальное – состоит из единого поля. Даже – одно из состояний |
| Как оценить качество опыта? | Точность измерений, и точность воспроизведения. | Насколько больше набрана статистика результатов, усредняемость. |

Связь между

целлоделёцностями



Принцип неопределённости объясняет твёрдость тел – при сжатии уменьшается неопределённость координаты, а возросшая неопределённость импульса даёт давление. Поэтому он объясняет не только неопределённость, но и определенность.

В чём суть квантовой теории?

- 1) Неопределённость и законы сохранения.
- 2) Нелокальность и суперпозиция.
- 3) Квантовая теория – это теория превращений.
- 4) Два вида превращений: превращения в себя и в другое.
- 5) Все превращения есть комбинации рождений и уничтожений частиц (квантовая теория поля).
- 6) Вероятностная концепция причинности.
- 7) На события влияет не только действительное, но и возможное.
- 8) Неустранимость эффекта наблюдателя: *формулировки предполагают разделение мира на наблюдателя и наблюдаемое, и вам не говорят, где проходит это разделение.*

Эйнштейн не принял квантовую теорию:

«с принципиальной точки зрения желание строить теорию только на наблюдаемых величинах совершенно нелепо. Потому что в действительности всё ведь обстоит как раз наоборот. Только теория решает, что именно можно наблюдать. Видите ли наблюдение вообще говоря есть

« В действительности все не так, как на самом деле. » Станислав Ежи Лец, «Непричесанные МЫСЛИ»

Вот несколько таких общих положений, которые великолепно работали столетиями, казались настолько естественными для любой научной теории, что даже не оговаривались явно, но перестали работать в квантовой физике:

- Точечная частица находится в некоторой единственной точке пространства в любой момент времени, иначе это не точечная частица.
- Если провести над системой измерение, то мы станем лучше знать ее состояние, если мерить достаточно аккуратно.
- Измерение всегда можно провести сколь угодно аккуратно, по крайней мере в принципе можно.
- Наука объективна в том смысле, что при изучении любого объекта мы можем исключить из рассмотрения субъекта, который этот объект изучает и измеряет.
- Если измерение говорит нам «ДА» (система определенно обладает некоторым свойством), то такое же измерение над другой такой же системой в таком же состоянии тоже обязательно даст «ДА» (детерминизм).
- Для того, чтобы состояние системы изменилось, надо, чтобы что-то провзаимодействовало именно с этой системой.
- Состояния всех подсистем однозначно определяют состояние системы в целом.
- В абсолютно пустом пространстве ничего не происходит – противоречит принципу неопределённости, поэтому вакуум постоянно «кипит».

□ Милетская школа: проблема единого первоначала

- Проблема единства сущего
- Проблема первоначала (*архе*)
 - Фалес: вода как первоначало сущего
 - Анаксимандр: апейрон как первоначало сущего
 - Анаксимен: воздух как первоначало сущего

□ Гераклит: проблема изменчивости

- Мир как вечное становление (*генезис*)

□ Элейская школа: иллюзорность изменчивости

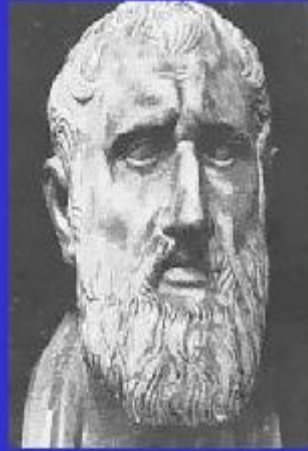
- Парменид: мир как единое, вечное и неизменное бытие
- Парадоксы Зенона: обоснование элейской онтологии
 - Апория места (немыслимость пустоты)
 - Апории множества (немыслимость множества)
 - ☞ Парадокс делимости
 - ☞ Парадокс сложения
 - ☞ Парадокс счисления
 - Апории движения (немыслимость движения)
 - ☞ «Ахилл и черепаха»
 - ☞ «Дихотомия» (деление на два)
 - ☞ «Стрела»
 - ☞ «Стадий»
- Иллюзии восприятия и мыслимая реальность

Парадоксы Зенона

Обоснование элейской онтологии

- **Апория места** (немыслимость пустоты)
- **Апории множества** (немыслимость множества)
 - ☎ Парадокс делимости
 - ☎ Парадокс сложения
 - ☎ Парадокс счисления
- **Апории движения** (немыслимость движения)
 - ☎ «Ахилл и черепаха»
 - ☎ «Дихотомия» (*деление на два*)
 - ☎ «Стрела»
 - ☎ «Стадий»

АПОРИИ ЗЕНОНА ЭЛЕЙСКОГО



- Апории против
ВОЗМОЖНОСТИ МЫСЛИТЬ
МНОЖЕСТВЕННОСТЬ

БЫТИЕ ЕДИНО

- Апории против
ВОЗМОЖНОСТИ МЫСЛИТЬ
ДВИЖЕНИЕ

**БЫТИЕ
НЕПОДВИЖНО**

Парадоксы Зенона

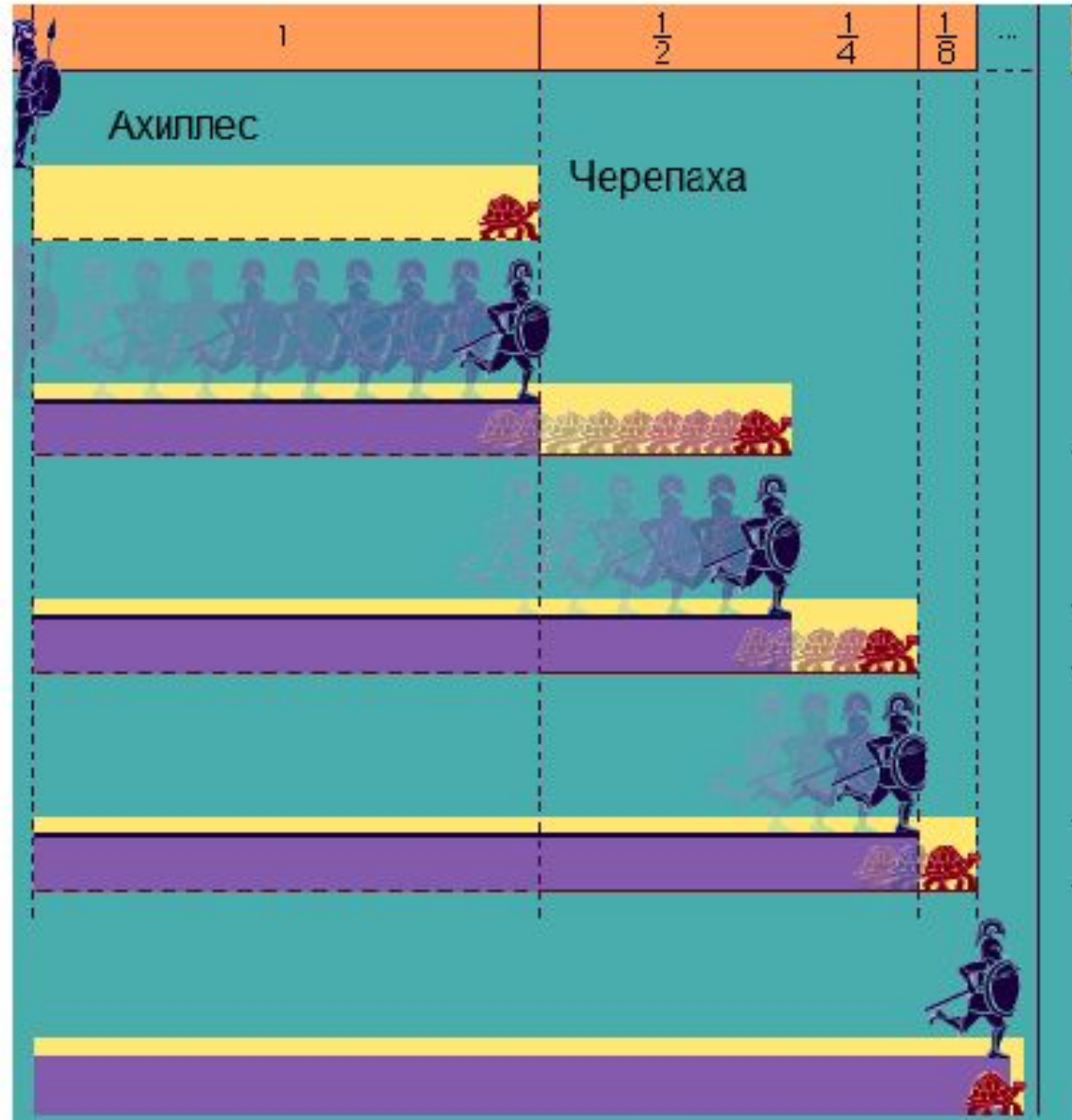
Апории движения

Первые
две апории
демонстрируют
немыслимость
движения
при допущении
бесконечной
делимости
времени и
пространства.

Две последние
апории
демонстрируют
немыслимость
движения
при допущении
предела
делимости
времени и
пространства.

Ахиллес и Черепаха.

Допустим, Ахиллес бежит в десять раз быстрее, чем черепаха, и находится позади неё на расстоянии в тысячу шагов. За то время, за которое Ахиллес пробежит это расстояние, черепаха в ту же сторону проползёт сто шагов. Когда Ахиллес пробежит сто шагов, черепаха проползёт ещё десять шагов, и так далее. Процесс будет продолжаться до бесконечности, Ахиллес так никогда и не догонит черепаху.



Решение из классической механики.

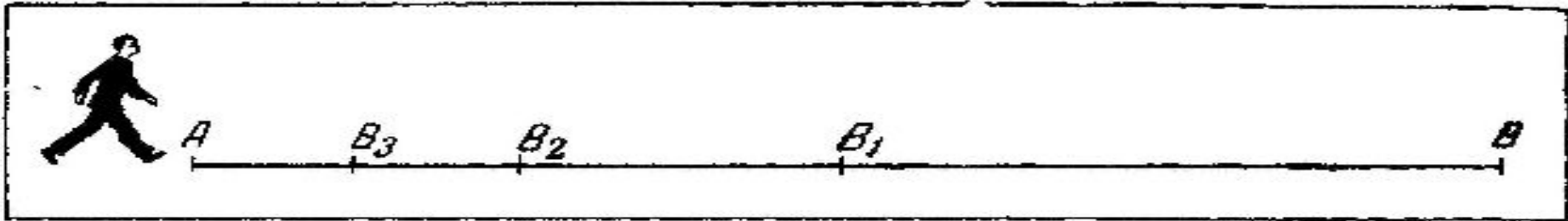


Решение из принципа неопределенности – неопределённость положения Ахиллеса станет больше расстояния до черепахи. Тогда появится большая вероятность схватить её.

«ДИХОТОМИЯ»

«Дихотомия» по-гречески обозначает «деление пополам».

Апория гласит: чтобы преодолеть путь, нужно сначала преодолеть половину пути, а чтобы преодолеть половину пути, нужно сначала преодолеть половину половины, и так до бесконечности. Поэтому движение никогда не начнётся.



В механике Ньютона – решением является непрерывность. Сумма бесконечно малых величин может быть конечна (эта идея возникла ещё у Кузанского задолго до матанализа).

В квантовой механике:

- 1) Неопределённость места не даёт возможность /2 всегда.
- 2) Невозможно определить точное время начала пути.

«Летящая стрела»

Движения не существует.

Летящая стрела неподвижна, так как в каждый момент времени она покоится, а поскольку она покоится в каждый момент времени, то она покоится всегда.



В механике Ньютона – есть понятие мгновенная скорость.

В квантовой механике:

- 1) Невозможно фиксировать точный момент времени;
- 2) Если систему измерять очень часто, она останавливается за счёт частых превращений в саму себя (квантовый эффект Зенона).

Апория «Стадий»

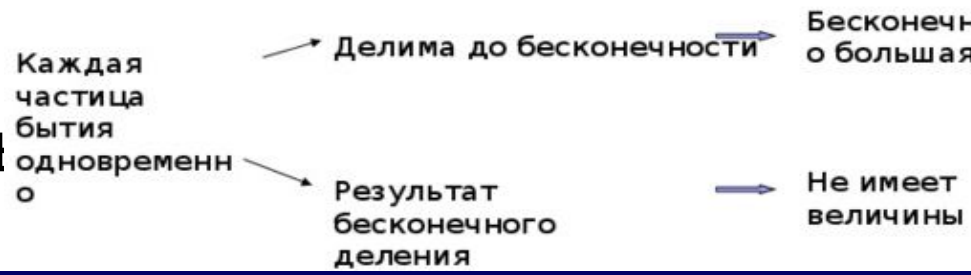
Если две колесницы движутся навстречу друг друга со скоростью, равной **минимальной единице пространства за минимальную единицу времени**, мимо третьей – неподвижной – колесницы,

то они пройдут расстояние, равное **минимальной единице пространства за минимальную единицу времени** относительно неподвижной колесницы и **за половину минимальной единицы времени** относительно друг друга.

Таким образом, получится, что минимальная, т.е. **неделимая**, единица времени **делима**, что абсурдно. (Равным образом, делимой окажется и минимальная, т.е. неделимая, единица пространства).

В классической физике:
 апория делимости – не
 противоречие, а решение!
 В квантовой – дискретности

Апория делимости



Парадоксы Зенона Апория сложения



Парадоксы Зенона Апория счисления



«Если все сделано из элементарных частиц, а элементарные частицы подчиняются законам механики, то почему всё не подчиняется этим законам?» (с) **Аарон О'Коннелл**

Квантовая машина – машина, основанная на принципах квантовой теории.

Аарон О'Коннелл – первый физик, которому удалось собрать квантовую машину (кубит соединил с макроскопическим резонатором) в 2009-м году. В 2010-м году его изобретение журналом **Science** было названо **прорывом года**, так как впервые было продемонстрировано, что макроскопические тела, видимые невооружённым глазом, могут находиться в состоянии суперпозиции. «Макрообъект способен находиться в квантовой суперпозиции, но для этого надо ему немного помочь. Приведу аналогию. Неудобно ехать в переполненном лифте. Когда я в лифте один, то могу вытворять что угодно, но когда в нем есть люди, приходится угомониться, потому что не хочу их беспокоить. Согласно квантовой механике неодушевленные предметы ведут себя подобным образом, а «попутчиками» для них являются свет, ветер, температура среды. Что бы увидеть, как кусочек металла будет подчиняться законам квантовой механики необходимо удалить всех «попутчиков»! Это нам удалось! Если кусочек металла может находиться в двух местах одновременно, как и атом, то почему не может человек?... Согласно Квантовой Механики всё взаимосвязано. Всё серьезнее. Все те связи со всеми объектами, что окружают вас, определяют то, чем вы являетесь».

Квантовая случайность определила начальные условия в большом взрыве ->

1) Законы природы, по которым мы живём, случайны: