



Вероятность не имеет значения, когда  
событие уже произошло.

*XXXXX*

## Теория информации

# ЛЕКЦИЯ 11: ВЕРОЯТНОСТЬ И ИНФОРМАЦИЯ

2.12.2021

Обсуждали разные точки зрения:

- существуют **объективные** неопределенности квантовых процессов, поэтому в теоретической физике пришлось ввести понятие «вероятность», которая становится мерой физической возможности.
- **вероятности** м.б. связаны с недостатком знаний и, следовательно, теория вероятностей принципиально носит **субъективный** характер:
  - 0 — самая низкая из всех возможных вероятностей,
  - 1 — самая высокая, из всех возможных вероятностей
  - 1/2 есть вероятность любого события, которое может случиться а может и не случиться.

**Есть также мнение, что вероятности** характеризуют **некоторые объективные свойства «предрасположенности» объектов** к проявлению тех или иных свойств (см. Popper Karl R. A Word of Propensities: Two New Views of Causality // Bristol: Thoemmes, 1990, pp. 1-26.).

Например, **предрасположенность** (возможность) монеты выпасть «орел», «решка» - одинаковые.... Но возможности м.б. не равные, т.е. «взвешенные», Такие возможности образуют множество или «**пространство возможностей**» = **вероятностное пространство**. В этом пространстве неравных «возможностей» задается метрика и возможностям приписываются **числовые значения**, которые «измеряются» с помощью **статистических методов**

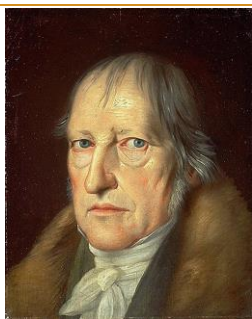
## Если встать на точку зрения «возможностей», то ...

- надо их отнести не к «событиям», а к самим объектам. Поэтому можно говорить не о «возможности» наступления события, а внутренней «предрасположенности» конкретного объекта породить статистически «устойчивые» множества «событий», при условии, что сам объект и условия его существования остаются неизменными....
- В принципе различные неравные «возможности» присущи всем «вещам» реального мира:
  - например квантовым частицам, так в электрон, «встроены» три классические степени свободы (число независимых координат, определяющих положение объекта в пространстве) + «два» возможности для ориентации спинового момента...
- Есть разные виды «возможностей»: а именно, возможности совершить действия или возможности объяснить событие. Например, если объяснять, что «волны вероятности» реальны, то слово «волна» употребляют в смысле некоторой объяснительной «возможности», также как в выражениях типа «волна болезней» и т.д.”

## Итак, «возможности» могут быть связаны с

- Объективно существующими детерминированными причинно-следственными отношениями или статистически **устойчивыми связями**
- Субъективными основаниями объяснить (понять) наблюдаемые события
  - К. Попер (объективная интерпретация вероятностных (информационных) проявлений):
    - Существуют объективные тенденции, **которые подобны «силам»**, позволяют всем возможностям в разной степени реализовать себя, так, чтобы удерживать статистические средние в устойчивом состоянии.
    - Поэтому «возможности» – суть физические реальности.. Они также реальны как **силы**, которые и есть **предрасположенности** приводить **тела в движение.....** Предрасположенность = «1» – это случай силы в действии: причина вызывает эффект. При предрасположенности меньше 1 имеет место случай вмешательства «конкурирующих сил», действующих в разных направлениях, но еще не породивших ни какого реального процесса <https://textarchive.ru/c-2379199.html>

# Критика Гегелем понятия силы в механике Ньютона



VS



- Ньютон: «... планеты движутся по очень эксцентрическим орбитам во всевозможных положениях, но столь чудесная однородность планетарной системы должна предполагать **возможность** выбора».
- Галилей: явления природного мира не должны подвергаться анализу, поскольку такие процедуры нарушают первоначальную естественную целостность явлений. Применительно к механике Ньютона это означает запрет на использование понятия силы, а необходимость различать два уровня природы – тот, в котором царствует необходимость, и тот, где **царствует случайность**, ни в каком эксперименте **отличить истинное движение от относительного невозможно**.

Итак,

- Вероятностные представления как и силы входят в структуру современных научных знаний, а объяснение таких представлений базируется на понятиях множества «возможностей» и недетерминированном характере (детерминированной неопределенности) их выбора. Противоположность понятию «неопределенность» – есть «информация».
- Все то, что воспринимается и ... понимается относительно физической реальности – рассматривается как аппроксимационная (суррогатная) характеристика устранения неопределенности или **информационная модель «возможностей»**
- Причина феномена вероятности или явления случайности **обычно** лежит не в самом этом явлении, а обусловлена взаимным влиянием различных причинно-следственных факторов, а каждый из факторов событие в отдельности характеризуется простым «линейным» т.е. детерминированным причинно-следственным отношением.

# Формирование предрасположенностей и управление неопределенностью событий

- Наблюдатель объективно не создает никакой информации в смысле ее объективного (атрибутивного) существования.
  - Так три степени свободы, которые описывают, например, любой электрон в любой точке Вселенной ранее были **где-то и когда-то** встроены в саму частицу.
- Это равносильно утверждению - информация как атрибут существует и передается в разных формах:
  - элементарные частицы фермионы с ненулевой массой покоя **хранят** информацию о себе, формируя информационное содержание материи, хранящейся в Вселенной,
  - Элементарные частицы бозоны - носители взаимодействия могут **передавать** информацию только в форме сигнала
- Измерения переводят «предрасположенность» в событие и тем самым «управляют» возможностями, устраняя энтропию, которой обладает объект.

# Вопрос: сколько информационного содержания есть в наблюдаемой Вселенной?

- Применяя формулу Хокинга для энтропии черной дыры ко всей Вселенной, физики получили:

Информационное содержание Вселенной  $i = 2\pi^2 G^2 M^3 / hc^3$

Исходя из формулы энтропии  $S$  при  $T = 2,7$  информационное содержание =  **$8 \cdot 10^{88}$  бит**

**Общая информационная емкость =  $10^{99}$  бит**

Используя форму Шеннон, в которой извлеченная из наблюдения за событием информация есть функция вероятности события  $p$

$$I(p) = - \log_b p$$

где  $b$  - базовая единица информации, получим величину информационной энтропии:

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n p(i) \log_2 p(i).$$



# Теория Шеннона связывает энтропию с «предрасположенностью» объекта к изменению

- Максимальное количество вариантов, закодированных для каждого события наблюдения в случае Вселенной описывается множеством  $\{p, e^+, n^0\}$ 
  - Следствие 1. физические параметры материи содержат определенное количество информации, которое можно вычислить.
  - число Эддингтона  $N_{\text{Edd}}$  - это количество протонов (столько же и электронов) во Вселенной  $= 136 \times 2^{256}$  или примерно  $1,57 \times 10^{79}$

# Информационное описание относительно

- Итак, поэтому битовое содержание на 1 событие наблюдения  $\{p, e^+, n^0\}$  равно 1,288 бит на 1 частицу.
- Зная общее число протонов, электронов и нейтронов в видимой Вселенной теперь можно вычислить ее информационное содержание.
- Учитывая, что протон и нейтрон имеют внутреннюю структуру **из трех кварков**, из которых 232,15 кварков «+» и 108,27 кварков «-». Общее число элементарных частиц в выборке из 100 атомах равно 479,9 , а вероятностная модель  $\{0.483, 0.29, 0.225\}$
- Итого, информация закодированная на одну элементарную частицу Вселенной равна 1,509 бит.

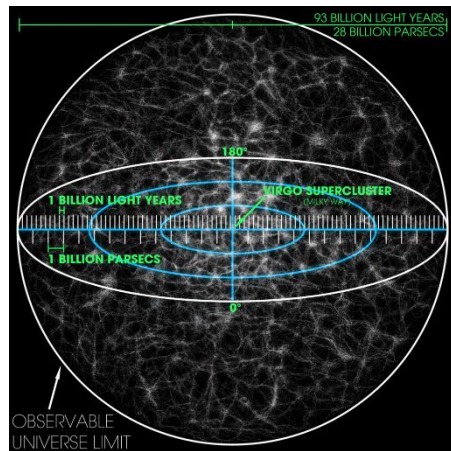
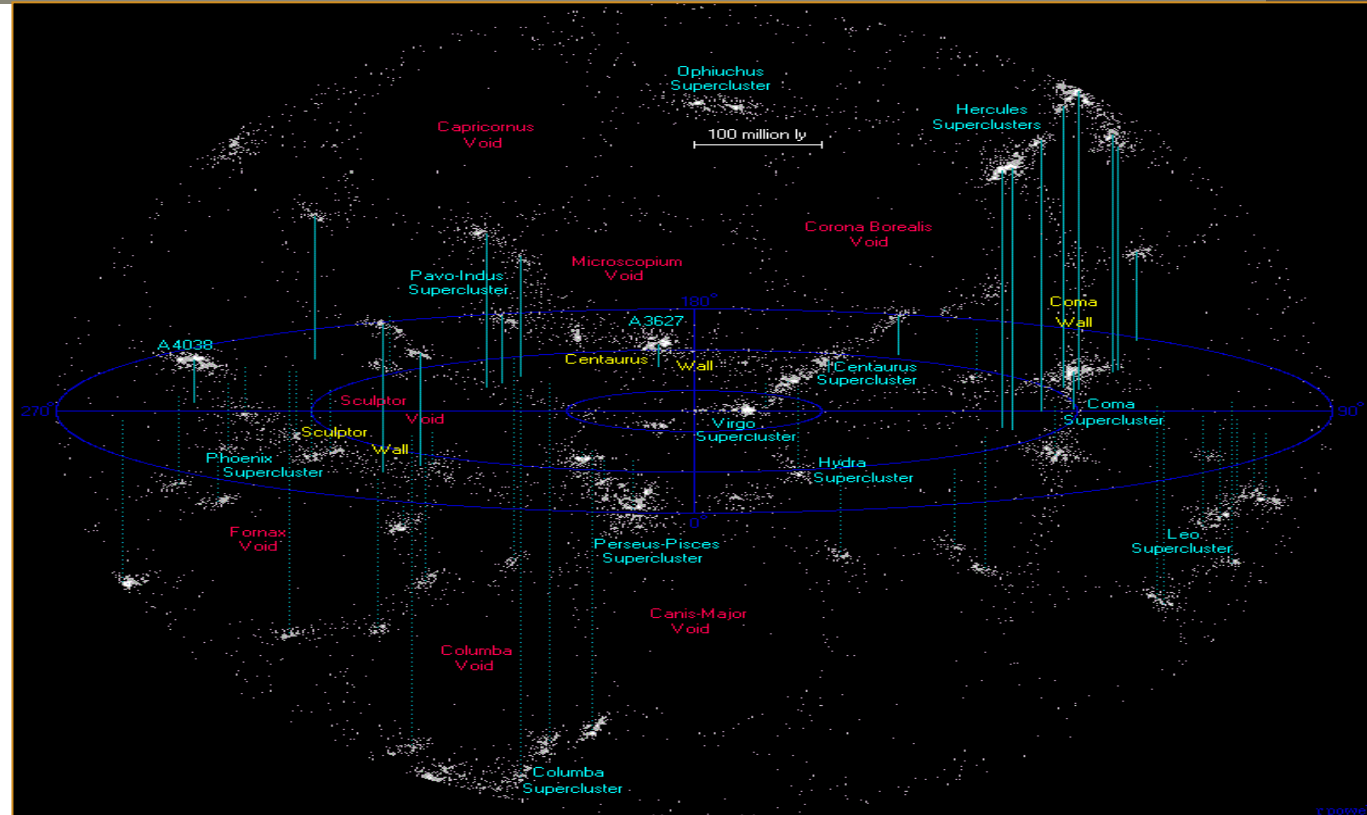
# Количественные подробности

число Эддингтона  $N_{\text{Edd}}$  -  
 это количество протонов  
 (столько же и  
 электронов) во  
 Вселенной  $= 136 \times$   
 $2^{256}$  или примерно

$$1,57 \times 10^{79}$$

число элементарных  
 частиц  $N = 4 \times 10^{80}$   
 а информационное  
 содержание

$$N_{\text{bit}} = 1,509 \times N = 6.036 \times 10^{80} \text{ бит}$$



На основе уравнений ОТО, критическая плотность  $= 9.6 \times 10^{-27} \text{ кг/м}^3$ , а радиус наблюдаемой Вселенной  $46,5 \times 10^9$  световых лет  $= 44 \times 10^{25} \text{ м}$ . Общая масса всех барионов Вселенной с учетом вероятностной модели  $\{0.466, 0.466, 0.067\}$  эффективная масса равна для электрона  $= 1.675 \times 10^{-27} \text{ кг}$ .

# Информация как атрибут: пред аксиоматика

1. Любая физическая система, содержащая **конечный объем информации**, эффективно (за конечное время) познаваема
2. Познание системы с конечной информацией **внешним наблюдателем** возможно, но информационная энтропия (мера разнообразия) «познающего»  $R_o$  должно превосходить информационную энтропию познаваемого :  $R_s < R_o$ .
  1. Особый случай: Познание системы с конечной информацией **внутренним наблюдателем** возможно тогда и только тогда, когда его разнообразие  $R_{oi}$  превосходит разнообразие наблюдаемой части системы  $R_{os}$ :  $R_{os} < R_{oi}$ . Поскольку внутренний наблюдатель является частью системы, то его разнообразие плюс разнообразие наблюдаемой части системы не может быть больше разнообразия  $R_s$  всей системы при условии, что разнообразие аддитивно  $R_{os} + R_{oi} \leq R_s$

# Итак, суть физики - энергия или информация ?

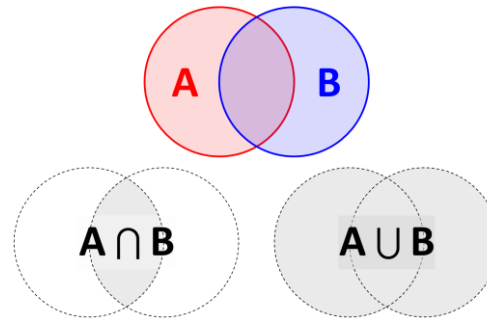
- В общей теории относительности (ОТО) сила тяготения – информационная сущность, она может быть устранима путем **выбора «правильной» системы координат.**
- Теория Ньютона в информационном смысле более последовательна – в ней пространство и время являются «сценой» для демонстрации физических явлений, причем, «сцена» от самих явлений не зависят. Поэтому «действия сил» на сцене — это предмет изучения физики, а свойства «сцены» – ее однородность и изотропность – суть аксиомы теории.

# it from bit – «природа» законов логики познания и вероятности событий

- Формальная (математическая) логика **природы** (восходит к Аристотелю, действует закон «противоречий» ( $A$  не может быть не- $A$ ) и закон исключенного третьего. Формальная логика применима к идеальным сущностям и процессам, которые определены однозначно - «логично»)
- «Новая» (мета) модальная логика понятий ( Н.А. Васильев – логика свободная от «закона противоречий», идея объективной множественности субъективных «миров»):
  - непосредственное восприятие порождает два вида суждений – утвердительное и отрицательное
  - Единичное отрицательное высказывание носит **субъективный** характер, и оно не совпадает с утверждением ложности положительного. В этом суть релевантных (модальных) логик.
  - Существование металогики - формальной логики мышления , основанной на «законе несамопротиворечия» – есть основ любых «воображаемых» логик, если ... отвлечься от всякого содержания мысли.

# Информационное содержание формулы Байеса - основы металогии

Н.А.Васильев: Познающий субъект может мыслить иные объекты и иные законы объектов, но он не может мыслить иного познающего субъекта и иные законы мысли.



- По формуле Байеса можно более точно пересчитать вероятность правильности того или иного суждения, беря в расчет как ранее известную информацию, так и данные новых наблюдений:
  - Суть формулы вероятностная корректировка реализуемости суждений (представлений) при получении новой информации
  - Формально индексирует информативность новых данных для ранее сформированных убеждений, т.е. условные вероятности могут быть поняты как соотношения площадей.

# Информационное содержание формулы Байеса: $P(A|B) = P(B|A) * P(A)/P(B)$

- Вероятностные основы информационного описания реальности:
  - в реальном мире все «события – суть доказательства», лежащие в основе нашего опыта. Если события уже произошли, то на их основе м.б. формулируется гипотеза, которую надо проверить на опыте.
  - При этом, когда гипотеза сформулирована, то количество «событий-доказательств» уже не имеет значения. Условная вероятность учитывает только те состояния «мира», в которых произошло «событие-доказательство»:
  - $P(A|B)$  – вероятность наступления события  $A$ , при условии, что событие  $B$  уже случилось;
  - $P(B|A)$  – вероятность наступления события  $B$ , при условии, что событие  $A$  уже случилось;
  - $P(A)$  – априорная (безусловная) вероятность наступления события  $A$ ;
  - $P(B)$  – априорная (безусловная) вероятность наступления события  $B$ .



Вероятность  $P(A/B) = P(\text{доказательство} \mid \text{гипотеза})$  говорит о том, какая доля фактов (признаков, характеризующих событие) подтверждает сделанную гипотезу

- Рассмотрим пример: будем изучать «кошек» как животных, которые обладают признаком «ловкостью»; формулируем гипотезу – все животные, которые обладают «ловкостью», это «кошки». Пусть, доля кошек с признаком «ловкостью», т.е. вероятность  $P(\text{доказательство} \mid \text{гипотеза}) = 0.90$ . Очевидно, что «процент» всех животных с признаком «ловкость» меньше, чем у «кошек», например  $P(\text{доказательство}) = 0.50$ . Отношение  $0.90/0.50 = 1.8 > 1$  говорит о том, что нужно изменить априорную вероятность  $P(\text{гипотеза})$ , поскольку, новые факты ее не подтверждают.

## Информация как «причина» возникновения событий :

- итак, есть априорная **гипотеза** (Hypothesis) — о чем то, и наблюдаемые факты — **доказательства** (Evidence);
- для совершения действий (события) надо узнать, вероятность того, что гипотеза верна с учетом новых фактов. Для этого надо «все переверачивать все с ног на голову», а именно:
  - Используем значение  **$P(\text{доказательство} \mid \text{гипотеза})$** , чтобы ответить на вопрос : «Какова вероятность наступления событий-доказательств в том случае, где гипотеза верна?»
  - **$P(\text{доказательство} \mid \text{гипотеза})$**  легче оценить, чем  **$P(\text{гипотеза} \mid \text{доказательство})$** , так как  $P(\text{доказательство} \mid \text{гипотеза})$  – есть гораздо более ограниченная область суждений о «мире», а сужая область, можно упростить задачу.
- (аналогия: «огонь» –гипотеза, а наблюдение дыма – событие, доказывающее наличие огня. Вероятность  $P(\text{огонь} \mid \text{дым})$  оценить сложнее, поскольку вызвать дым могут различные события, например, выхлопные газы).  $P(\text{дым} \mid \text{огонь})$  оценить проще, где есть огонь, наверняка будет и дым