



Утвердительное суждение основывается на непосредственном восприятии, а отрицательное — это всегда вывод. В реальности не может быть противоречия

*Н.А. Васильев
русский логик и поэт-символист (1880-1940)*

Теория информации

ЛЕКЦИЯ 10: МЕРЫ ИНФОРМАЦИИ

25.11.2021

Физики, изучающие квантовые явления, считают что существуют **объективные неопределенности**, поэтому физическую теорию надо ввести вероятности, а математическая вероятность становится в таком случае мерой физической возможности

Также считается, что **вероятности связаны с недостатком знаний** и, следовательно, онтологически (концептуально) теория вероятностей носит субъективный характер: 0 — самая низкая из **всех возможных вероятностей**, а 1 — самая высокая, $1/2$ есть вероятность любого события, которое может случиться с тем же успехом, что и не случиться.

Поэтому возможна **интерпретация вероятности** как «предрасположенности» или «возможности». (см. Popper Karl R. A Word of Propensities: Two New Views of Causality // Bristol: Thoemmes, 1990, pp. 1-26.). Например, возможности монеты выпасть «орел», «решка» - одинаковые.... , но возможности м.б. и «взвешенные», т.е. не равные, такие возможности образуют некое множество или «**пространство возможностей**» = **вероятностное пространство**. В этом пространстве неравным «возможностям» приписываются **числовые значения**. (Статистика – метод «измерения» возможностей)

- Встав на точку зрения «возможностей» надо их отнести к самим объектам, а не к «событиям». ...Можно говорить не о «возможности» наступления события, а внутренней «предрасположенности» объекта порождать статистически «устойчивые» «события» , если объект и релевантные условия остаются неизменными....
- Т.е. неравные «возможности» объективно присущи всем «вещам», так же как в квантовые частицы, например, электрон, «встроены» три классические степени свободы (число независимых координат, определяющих положение объекта в пространстве) + «два» возможности для ориентации спинового момента...
- Когда говорят ,что «волны вероятности» реальны, то употребляют слово волна в том же смысле, как оно употребляется в таких выражениях, как волна болезней и т.д.”

Внутренние степени свободы молекул

- Сравним две формулы:

$$p = nkT$$

и

$$p = \frac{2}{3} n \langle E_{\text{кин}} \rangle$$

уравнение состояния идеального газа

основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов

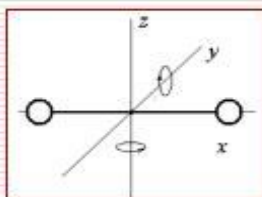
- Тогда **средняя кинетическая энергия молекул газа** равна:

$$\langle E_{\text{кин}} \rangle = \frac{3}{2} kT$$

- Вывод:** абсолютная температура T есть величина, пропорциональная средней энергии поступательного движения молекул.

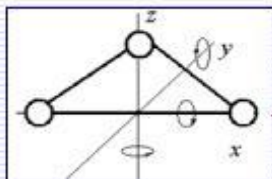
Число степеней свободы – это число независимых координат (переменных), которые полностью определяют положение системы в пространстве. Обозначают i

Молекулу одноатомного газа рассматривают как материальную точку, которой приписывают **три степени свободы** поступательного движения: $i=3$



Молекула двухатомного газа рассматривается как совокупность двух материальных точек, жестко связанных **недеформированной связью**. Эта система **кроме трёх степеней свободы** поступательного движения имеет **ещё две степени свободы** вращательного движения:

$$i=5$$



Трёхатомная молекула имеет **шесть степеней свободы**: три поступательные и три вращательные. Столько же степеней свободы будут иметь и **многоатомные молекулы** (четырёх, пяти и т.д.): $i=6$

Итак...

- Тенденция статистических средних возможностей **оставаться устойчивыми**, если устойчивыми остаются условия, — одно из фундаментальных свойств Вселенной.
- К. Попер (объективная интерпретация теории вероятности): 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>

Что было на прошлой лекции

- Вероятностные представления входят в структуру современных научных знаний. Объяснение этих представлений базируется на понятии «информация».
- То, что воспринимается и понимается относительно физической реальности – рассматривается как аппроксимационная (суррогатная) информационная модель .
- Причина явления случайности лежит не в самом явлении, а в другом....и м.б. обусловлена пересечением различных причинно-следственных рядов-событий, а каждый такой ряд в отдельности характеризуется простым «линейным» причинно-следственным отношением.
- Информационные модели отражают вероятностью природу реальности (результат того, куда «перейдет» суперпозиция состояний – случаен) и открывают новые возможности для моделирования и «объяснения» реальности, которая отражается в сознании (памяти) субъекта .

Пятая форма материи Вселенной – it from bit

- <https://doi.org/10.1063/5.0064475> Оценка информации, содержащейся в видимой материи Вселенной (19 октября, 2021)
- Еще в 1929 году Сцилард проанализировал связь информации с физическими процессами, указав на то, что информация о системе определяет пути ее возможной эволюции. (см. А. Берут, А. Аракелян, А. Петросян, С. Килиберто, Р. Дилленшнайдер, Э. Лутц, "Экспериментальная проверка принципа Ландауэра, связывающего информацию и термодинамику", Nature 483,187–189 (2012).)
- Реальность как картеж сущностей «масса-энергия-информация» (см. М.М. Вopсон, «Принцип эквивалентности масса-энергия-информация», AIP Adv. 9,095206 (2019). <https://doi.org/10.1063/1.5123794>.)

Итак: во Вселенной храниться определенное количество информации, независимо от того, наблюдается ли она или нет.

Где эта информация храниться ?

Комментарий: Проводя наблюдения и выполняя измерения параметров элементарной частицы

- наблюдатель объективно не создает никакой информации.
- 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 утверждениям - информация 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

Сколько информационного содержания есть в наблюдаемой Вселенной?»

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

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

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. Если X – множество событий, доступных наблюдению, из которых можно извлечь информацию, получим выражение для информационной энтропии:

(если $H(x)=1$, то наблюдение за событием генерирует 1 бит информации)

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

Использование молярных значений массы (моль/г)

- Моль (moles от лат. счетное множество) – количество вещества, содержащее число Авогадро ($N_A = 6 \cdot 10^{23}$) структурированных элементов (атомов, молекул, ионов..). Молярная масса углерода – 12 г/моль....
- Процентное весового соотношение элементов во Вселенной для водорода и гелия составляют 75% и 23% соответственно, что позволяет вычислить общее число протонов, электронов и нейтронов для каждого вида атомов. В итоге в сумме получим вероятностные оценки: 108,27 электронов, 108,27 протонов и 15,6 нейтронов для всех видов атомов .
- Число репрезентативных атомных составляющих для материи в наблюдаемой части Вселенной - 232,14 частицы..... (p, e⁺, n⁰)
- Тогда, вероятность наблюдения (вероятностная барионная модель Вселенной {0.466, 0.466, 0.067}, где
 - $P_p = P_e = 108,27 / 232,14 = 0,466$
 - $P_{n^0} = 15,6 / 232,14 = 0,067$

Теория Шеннона связывает энтропию с информационным наполнением

- Итак, максимальное количество информации, закодированной для каждого события наблюдения, равно $I = \log_2 3 = 1,585$ бит, если все три возможные события равновероятны. В случае Вселенной это не так поэтому битовое содержание на 1 событие $\{p, e^+, n^0\}$
- Теория. Поэтому на основании этой теории количество закодированной в любом типе видимой материи информации можно измерить.
- Следствие 1. физические параметры материи содержат определенное количество информации, которое можно вычислить.
- Пример число Эддингтона N_{Edd} - это количество протонов (столько же и электронов) во Вселенной $= 136 \times 2^{256}$ или примерно $1,57 \times 10^{79}$

Теория Шеннона связывает энтропию с информационным наполнением

- Итак, максимальное количество информации, закодированной для каждого события наблюдения, равно $I = \log_2 3 = 1,585$ бит, если все три возможные события равновероятны. В случае Вселенной это не так 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 равна 1,509 бит.

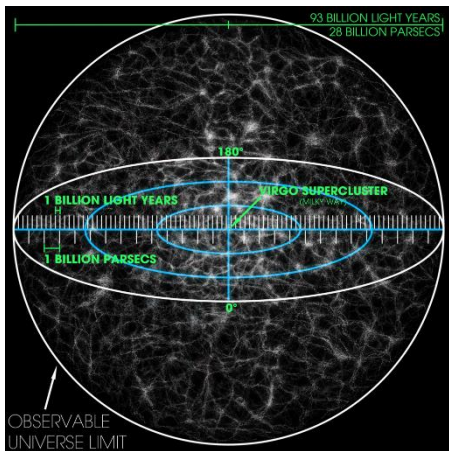
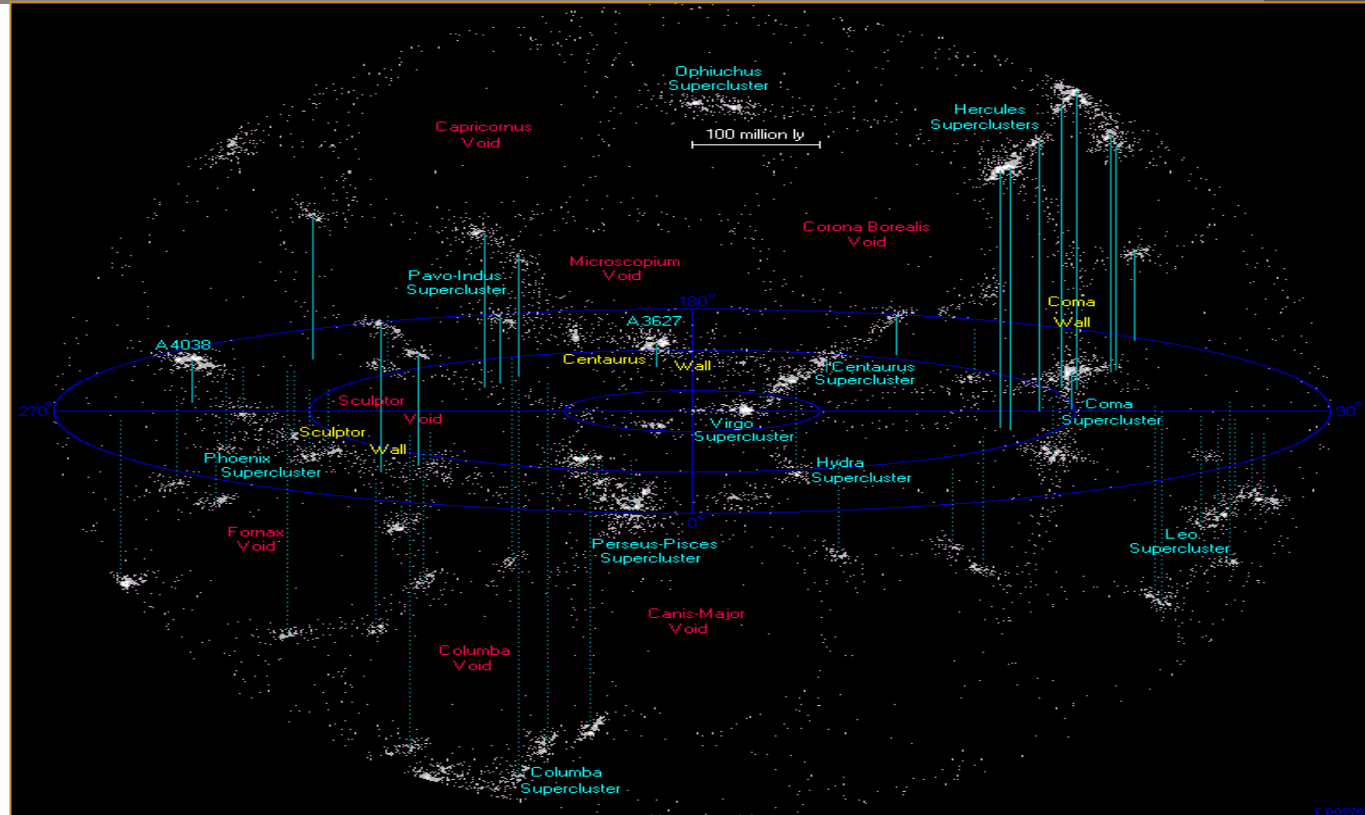
Количественные подробности

число Эддингтона N_{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 и познаваемость : предаксиоматика

1. Система, содержащая **конечный объем информации**, эффективно (за конечное время) познаваема
2. Познание системы с конечной информацией **внешним наблюдателем** возможно тогда и только тогда, когда его разнообразие R_o превосходит разнообразие наблюдаемой системы: $R_s < R_o$.
3. 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 усорвии, что разнообразие аддитивно $R_{os} + R_{oi} \leq R_s$

Информационная ассимптотика Вселенной

Если во Вселенной имеются два типа массы:

- квадратичной связью между информацией и массой (черные дыры), и линейной связью между информацией и массой (обычное вещество), то существует конструкция Вселенной, при которой объем информации минимален.

Вселенная массы M , состоящая из черных дыр и только из черных дыр данной массы, содержит минимально возможный объем информации $I_{\text{BC min}} = Mc^2 / (2kT \ln 2)$ бит

Уровни информационного описания

В неживой природе действует закон сохранения неопределенности (информации) = суть термодинамическое уравнение Гиббса

$$dH = TdS + VdP$$

где H — полная внутренняя энергия, доступная для преобразования



В живом организме есть три уровня информационного взаимодействия:
Первый — гуморальный, где взаимодействия реализуются на уровне молекул.
Второй — клеточный, где взаимодействие происходит между клетками — (лейкоциты, макрофаги и пр.)
Третий — нервная система, где взаимодействие происходит на уровне всего организма.

Информационное взаимодействие – это пятый вид взаимодействия в природе ?

- Взаимодействие сцепленных (запутанных) состояний физических систем можно измерять в битах.
- Закон сохранения неопределенности (информации) определяет независимость величины взаимодействия сцепленных состояний систем от их **расположения** в пространстве и от **расстояния** между ними.
- Так, квантовые биты или «Кубиты», входящие в состав квантовой вычислительной системы, можно перемещать с произвольной скоростью друг относительно друга, сохраняя величину их информационного взаимодействия.

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.

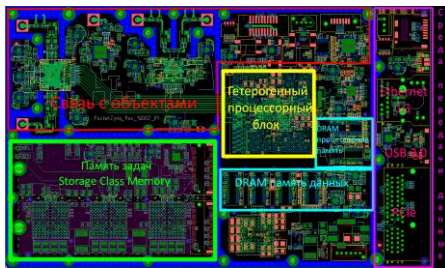
- Пространство-время четырехмерно.
- Имеет место принцип информационной эквивалентности инерциальных систем координат:
 - Неопределенность описания объекта одинакова во всех инерциальных системах координат;
 - Объем информации об объекте, получаемый при его измерениях в различных инерциальных системах координат в единицу времени, одинаков.
- Скорость физического взаимодействия конечна и одинакова:
 - при любом расположении в пространстве взаимодействующих объектов (следствие устойчивости, однородности и изотропности пространства);
 - в любой момент времени (это является следствием однородности времени);
 - во всех инерциальных системах координат (следствие принципа информационной эквивалентности инерциальных систем координат).

Новая иерархия «уровней и функций» перспективной вычислительной платформы

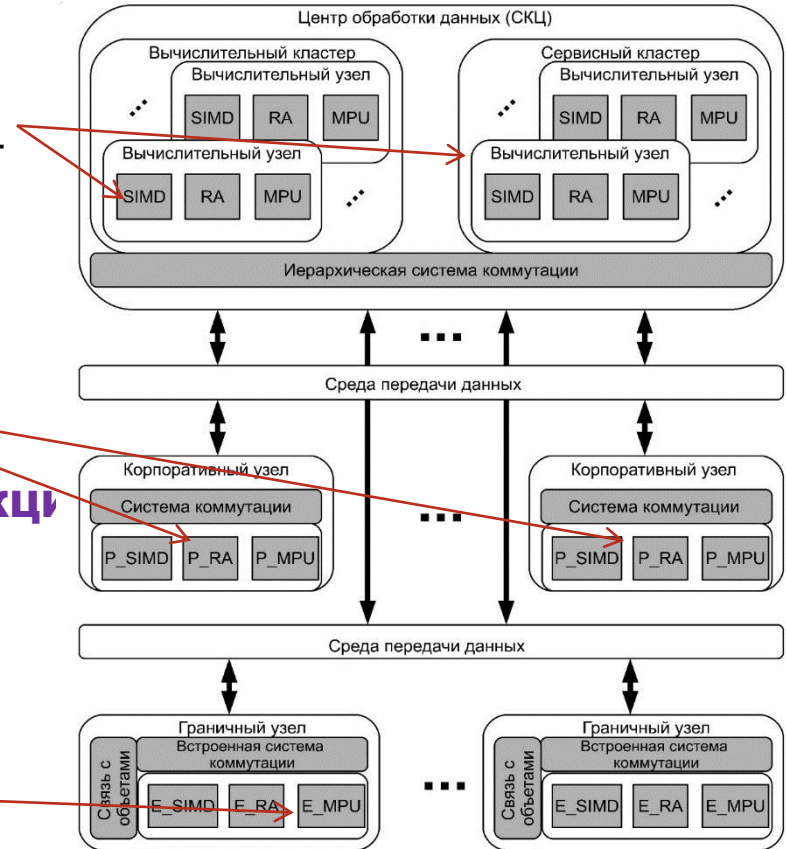
Уровень **«объяснения»** результатов ;
функция оценка параметров >4 Гфлопс/Вт



Уровень **обобщения** результатов ; функция
«машинного обучения» >10 Гфлопс/Вт



Уровень **моделирования**; функция алгоритм
вычисления , >20 Гфлопс/Вт

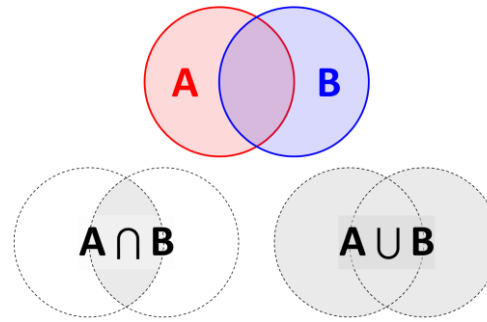


it from bit – «природа» законов логики и вероятности

- 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 (В. Н. 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 металогик - формальной логики мышления , основанной на «законе несамопротиворечия» – есть основ любых «воображаемых» логик, если ... отвлечься от всякого содержания мысли.

Информационное содержание формулы Байеса - основы металогии

В. Н.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.

Выводы из формулы Байеса: $P(A|B) = P(B|A) * P(A)/P(B)$

- Истоки 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 $P(\text{доказательство}|\text{гипотеза})$ 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 $P(\text{доказательство}|\text{гипотеза}) = 0.90$. 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 $P(\text{доказательство}|\text{гипотеза})$, чтобы ответить на вопрос : «Какова вероятность наступления событий-доказательств в том случае, где гипотеза верна?»
 - $P(\text{доказательство}|\text{гипотеза})$ легче оценить, чем $P(\text{гипотеза}|\text{доказательство})$, так как $P(\text{доказательство}|\text{гипотеза})$ – 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 $P(\text{огонь}|\text{дым})$ оценить сложнее, поскольку вызвать дым могут различные события, например, выхлопные газы). $P(\text{дым}|\text{огонь})$ оценить проще, где есть огонь, наверняка будет и дым