И.М. ГУРЕВИЧ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Издание второе уточненное и дополненное

Москва. 2010

INFORMATION CHARACTERISTICS OF PHYSICAL SYSTEMS

Second issue improved and added

By Igor Gurevich

The book is devoted to the development of information methods for research of physical systems and estimations of their information characteristics. Information characteristics of physical systems are: information entropy, information divergence –characteristics of physical quantities and states of quantum systems, measurement of systems complexity, joint information entropy – characteristic of unitary transformations, information communication – characteristics of the interaction of coupled, entangled systems.

The method is developed for the estimations of information volume in simple physical systems (fundamental and elementary particles, atoms, molecules,...) and in cosmological objects (stars, black holes, galaxies, the Universe) are received. The estimation of the mass of initial Universe heterogeneity is given. The new class of objects is revealed as optimal black holes. Information content estimate of amino acids, nitrogenous warrants are given, that show the life is an effective method of creation of classical information. Informational bases of structure and cognition of physical systems and the Universe as a whole are formulated.

The book is devoted for professionals in the field of informatics, quantum mechanics and astrophysics, as well as for students, post-graduate students of corresponding specialities, which are interested in the bases of natural sciences and new ideas in informatics science.

Moscow. 2010

УДК: 683.3
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ Издание второе уточненное и дополненное./Гуревич И.М. – М., 2010. – 260 с.– ISBN 978-5-902030-93-5.

Автор: Гуревич И.М.

Редактор: доктор технических наук Ченцов В.М.

Книга посвящена разработке информационных методов исследования физических систем и получению оценок их информационных характеристик. Показано, что информационными характеристиками физических систем являются: информационная энтропия – характеристика физических величин и состояний квантовых систем, мера сложности систем, информационная дивергенция, совместная информационная энтропия – характеристика унитарных преобразований, информация связи – характеристика взаимодействия сцепленных (запутанных) систем. Разработана методика и получены оценки объема информации в «простых» физических системах (фундаментальных и элементарных частицах, атомах, молекулах,...) и в космологических объектах (звездах, черных дырах, галактиках, Вселенной). Приведена оценка массы начальных неоднородностей Вселенной. Выявлен новый класс объектов – оптимальные черные дыры. Даны оценки объема информации в аминокислотах, азотистых основаниях, показано, что жизнь – это эффективный способ формирования классической информации. Сформулированы информационные основы строения и познания физических систем и Вселенной в целом.

Книга предназначена для специалистов в области информатики, квантовой механики и астрофизики, студентов и аспирантов соответствующих специальностей, интересующихся основами естествознания и новыми идеями, объединяющими различные области знаний.

ISBN 978-5-902030-74-4

© Гуревич И.М.

1. ВВЕДЕНИЕ

Наряду с материей и энергией Вселенная содержит, включает в себя и информацию [1]. Основополагающий принцип квантовой механики [2] постулирует, что элементарная физическая система несет один бит информации. По мнению ученых [3-6], по своей физической сущности, информация - неоднородности распределения материи и энергии. Поэтому информация неразрывно связана с материей и энергией. Физическая неоднородность – это информация, информация – это физическая неоднородность. По определению автора [4, стр. 35] информация – это устойчивая определенное время неоднородность: «Под информацией мы будем понимать устойчивые определенное время неоднородности произвольной физической природы. Тем самым, буква в книге, атом, молекула, элементарная частица, звезда, чертеж, рисунок, вспаханное поле, лес и другие неоднородности содержат и несут информацию».

Универсальной мерой физической неоднородности является информационная энтропия по определению Шеннона [7] (энтропия по определению Неймана [8] не может использоваться в качестве меры неоднородности, поскольку она равна нулю для имеющего структуру чистого состояния), что приводит к необходимости использования информационных методов исследования как самой информации, так и связанных с нею материи и энергии. Использование такого подхода позволяет получить новые, порой более общие результаты, по отношению к сведениям, получаемым на основе только физических законов. В работах автора [4, 9-39] показано, что информационные законы совместно с физическими законами могут служить эффективным инструментом познания Вселенной. В настоящей редакции книги излагается информационный подход к описанию Вселенной, представлены результаты, полученные информационными методами, в том числе, основные информационные закономерности, характеристики физических систем и Вселенной в целом.

Основные физические понятия: пространство, время, частица, тело, система (объект), физическая величина (наблюдаемая), волновая функция, масса, координаты, скорость, импульс, энергия, гамильтониан, унитарный оператор, спин, температура, энтропия, давление, объем, заряд, поле, силы...

Основные информационные понятия: пространство, время, система (объект), координаты, параметры, источник, получатель, сиг-

нал, носитель сигнала, скорость передачи, распространения сигнала в пространстве, достоверность информации, надежность доставки информации, информационная энтропия, совместная информационная энтропия, информация связи, скорость источника информации, пропускная способность канала связи, бит, кубит, простота, сложность, объем информации, сжатие информации (коэффициент), операция, программа, количество операций, производительность устройства…

Взаимосвязь между физическими и информационными характеристиками систем – массой, энергией, энтропией и информацией дает возможность использовать информационные оценки и методы исследования физических характеристик систем.

По сравнению с первым, второе издание книги «Информационные характеристики физических систем» [39] содержит ряд уточнений и дополнений. В нем, в частности, представлены новые разделы: «Информационное взаимодействие – пятый вид фундаментальных взаимодействий», «Совместная энтропия матриц смешивания», «Начальные неоднородности Вселенной», «Атомы, молекулы и фундаментальные ограничения на информационные характеристики систем», в которых приведены информационные методики и даны оценки величины информационного взаимодействия физических систем, совместной энтропии матриц смешивания кварков, смешивания электрослабого взаимодействия, массы начальных неоднородностей Вселенной, следующие из характеристик атомов и молекул, фундаментальные ограничения на информационную емкость и производительность информационных систем.

Необходимо отметить быстрый рост числа ученых, явно и неявно использующих информационный подход и информационные методы в физических исследованиях [40-79]. В связи с этим в представляемое издание включены разделы «Информационные методы исследования физических систем: обзор первых результатов» и «Использование законов информатики для исследования свойств и генезиса нефти».

2. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ НА ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

На произвольных физических системах, объектах наряду с физическими характеристиками (массой, энергией, зарядом,...), определяются и информационные характеристики – информационная энтропия, информационная дивергенция, совместная информационная энтропия, информация связи. Информационная энтропия, информационная дивергенция определены на наблюдаемых и состояниях физической системы, совместная информационная энтропия определена на унитарных преобразованиях, связывающих состояния физической системы. и информация связи определена на наблюдаемых (наблюдаемой в квантовой механике называют любую физическую величину, которую можно измерить, причем результатами эксперимента обязательно должны являться действительные числа) и состояниях взаимодействующих подсистем физической системы и унитарных преобразованиях связывающих подсистемы.

Приведем примеры, показывающие как на физических системах естественным образом определяется информационная энтропия. Согласно квантовой механике система, находящаяся в чистом состоянии, описывается волновой функцией или амплитудой вероятности, квадраты модулей которых определяют вероятность реализации ее состояний, а система, находящаяся в смешанном состоянии, описывается набором волновых функций или амплитуд вероятности, заданных с определенными вероятностями.

Дискретный случай. H - гильбертово пространство, $\psi \subset H$ - вектор пространства H.

- $\left|e_i\right\rangle$ $i=1,...,n$ - система базисных ортонормированных векторов пространства H. $\left\langle e_i \middle| e_j \right\rangle = \delta_{ij}$.

$$\delta_{ij} = \begin{Bmatrix} 1, \text{ если } \mathrm{i=j} \\ 0, \text{ если } \mathrm{i \neq j} \end{Bmatrix}.$$

- Физическая система отождествляется с вектором (волновой функцией) $\psi \subset H$: $\psi = \Sigma c_i \left|e_i\right\rangle$, $\sum_i \left|c_i\right|^2 = 1$ [80-85].

- Следовательно, на физической системе $\psi = \sum c_i \left| e_i \right\rangle$ определено вероятностное пространство: множество Ω элементарных событий (исходов) составляют базисные вектора $\left| e_i \right\rangle$; вероятностная мера задается квадратами модулей коэффициентов $c_i \Rightarrow p_i = \left| c_i \right|^2$ - вероятность реализации состояния e_i при измерении физической системы в базисе $\left(e_i \right)$. $\sum p_i = \sum \left| c_i \right|^2 = 1$.
- Информационная энтропия (по Шеннону) случайной величины x, принимающей значения x_i с вероятностями p_i ($\sum p_i = 1$) по определению равна $N = -\sum p_i \log_2 p_i$ бит. Информационная энтропия характеризует неопределенность содержащуюся в случайной величине x (до измерения) и/или информацию, содержащуюся в случайной величине x (после измерения).
- Таким образом, физическая система, отождествляемая с вектором (волновой функцией) $\psi = \sum c_i \left| e_i \right\rangle$, содержит $N = -\sum p_i \log_2 p_i = \sum \left| c_i \right|^2 \log_2 \left| c_i \right|^2$ бит неопределенности (информации).

Физическая система – кубит. H_2 - двумерное гильбертово пространство векторов

$$\psi = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix}.$$

- $\left| e_1 \right\rangle, \left| e_2 \right\rangle$ - система базисных ортонормированных векторов пространства H_2. $\left\langle e_1 \middle| e_2 \right\rangle = \delta_{ij}$.

$$\delta_{ij} = \begin{Bmatrix} 1, \text{ если } i=j \\ 0, \text{ если } i \neq j \end{Bmatrix}.$$

- Физическая система (кубит) отождествляется с вектором (волновой функцией) $\psi = c_1 \left| e_1 \right\rangle + c_2 \left| e_2 \right\rangle$.

- На физической системе (кубите) $\psi = c_1 \left| e_1 \right\rangle + c_2 \left| e_2 \right\rangle$ определено вероятностное пространство: множество Ω элементарных событий (исходов) составляют базисные вектора $\left| e_1 \right\rangle, \left| e_2 \right\rangle$; вероятностная мера задается квадратами модулей коэффициентов c_1, c_2 $\Rightarrow p_1 = \left| c_1 \right|^2, p_2 = \left| c_2 \right|^2$ - вероятность реализации состояний $\left| e_1 \right\rangle, \left| e_2 \right\rangle$ при измерении физической системы в базисе $\left| e_1 \right\rangle, \left| e_2 \right\rangle$.

$p_1 + p_2 = \left| c_1 \right|^2 + \left| c_2 \right|^2 = 1$.

- Таким образом, физическая система (кубит), отождествляемая с вектором (волновой функцией) $\psi = c_1 \left| e_1 \right\rangle + c_2 \left| e_2 \right\rangle$, содержит $N = -(p_1 \log_2 p_1 + p_2 \log_2 p_2) = -(\left| c_1 \right|^2 \log_2 \left| c_1 \right|^2 +$ $+ \left| c_2 \right|^2 \log_2 \left| c_2 \right|^2)$ бит неопределенности (информации).

- При $\left| c_1 \right| = \left| c_2 \right| = \frac{1}{\sqrt{2}}$ физическая система (кубит), отождествляемая с вектором (волновой функцией) $\psi = \frac{1}{\sqrt{2}} (\left| e_1 \right\rangle + \left| e_2 \right\rangle)$, содержит 1 бит неопределенности (информации).

Непрерывный случай. H - гильбертово пространство, $\psi(q) \subset H$ - вектор пространства H, здесь q - обобщенная координата.

- Физическая система отождествляется с вектором (волновой функ-

цией) $\psi(q)$.

- Физическая система $\psi(q)$ наделена вероятностной структурой: множество Ω элементарных событий (исходов) составляют значения координаты q; вероятностная мера задается плотностью распределения (вероятности) $p(q) = \left|\psi(q)\right|^2$. $p(x_0)dx = P\left\{x_0 < x < x_0 + dx\right\}$ - вероятность реализации состояния q при измерении физической системы.

$$p(q) = \left|\psi(q)\right|^2 \int p(q)dq = \int \left|\psi(q)\right|^2 dq = 1.$$

- Информационная энтропия (по Шеннону) случайной величины q, характеризующейся плотностью распределения (вероятности) $p(q)$ ($\int p(q)dq = 1$) по определению равна $N = -\int_0^a p(q)\log_2 p(q)dq$ бит. Информационная энтропия характеризует неопределенность содержащуюся в случайной величине q (до измерения) и/или информацию, содержащуюся в случайной величине q (после измерения).

- Таким образом, физическая система, отождествляемая с вектором (волновой функцией) $\psi(q)$, несет (содержит) $N = -\int_0^a p(q)\log_2 p(q)dq$ бит неопределенности (информации).

Физическая система – частица, находящаяся в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. H - гильбертово пространство, $\psi(x) \subset H$ - вектор гильбертова пространства H, x - координата.

- Физическая система (частица, находящаяся в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками) отождествляется с вектором (волновой функцией)

$$\psi_n(x) = \begin{cases} \dfrac{\sqrt{2}}{a}\sin\dfrac{\pi n x}{a} & \text{при} \quad 0 \le x \le a \\ 0 & \text{при} \quad x<0,\ x>a. \end{cases}.$$

- Физическая система (частица, находящаяся в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками) наделена вероятностной структурой: множество Ω элементарных событий (исходов) составляют значения координаты x; вероятностная мера задается плотностью

распределения (вероятности)

$$p(x) = \left|\psi_n(x)\right|^2 .$$

$$p(x_0)dx = P\left\{x_0 < x < x_0 + dx\right\} =$$

$$= P\left\{\frac{2}{a^2}\sin^2\frac{\pi n x_0}{a} < \frac{2}{a^2}\sin^2\frac{\pi n x}{a} < \frac{2}{a^2}\sin^2\frac{\pi n(x_0 + dx)}{a}\right\} -$$

вероятность реализации состояния x_0 при измерении физической системы (частицы, находящаяся в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками).

- Для физической системы (частицы, находящейся в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками)

$$p(x) = \left|\psi_n(x)\right|^2 = \left\{\begin{array}{ll} \frac{2}{a^2}\sin^2\frac{\pi n x}{a} & \text{при} \quad 0 \le x \le a \\ 0 & \text{при } x < 0,\ x > a \end{array}\right\}$$

$$\int_0^a p(x)dx = \int_0^a \frac{2}{a^2}\sin^2\frac{\pi n x}{a}dx = 1 .$$

Таким образом, физическая система (частица, находящаяся в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками), отождествляемая с вектором (волновой функцией) $\psi_n(x) = \left\{\begin{array}{ll} \frac{\sqrt{2}}{a}\sin\frac{\pi n x}{a} & \text{при} \quad 0 \le x \le a \\ 0 & \text{при} \quad x < 0,\ x > a. \end{array}\right.$ **,** содержит

$$N = \int_0^a p(x)\ln\frac{2}{a^2}\,p(x)dx = -\int_0^a \frac{2}{a^2}\sin^2\frac{\pi n x}{a}\ln\frac{2}{a^2}\sin^2\frac{\pi n x}{a}dx = \ln\frac{2}{e}a \text{ нат}$$

неопределенности (информации).

Единицы измерения информации. Объем информации I измеряется в битах (двоичных единицах) [7, 86]. Для системы с n равновероятными состояниями объем информации, получаемой при реализации одной из альтернатив, равен логарифму числа состояний, в которых может находиться система $I = log_2\, n$. Один бит – объем информации получаемой при реализации одной из двух равноверо-

ятных альтернатив: *1 бит* = log_2 *2*. Объем информации измеряется в безразмерных величинах.

Связь информации с энтропией, энергией, массой. Связь информации с энтропией устанавливается в работах [44, 86, 19]. Определено, что физическая энтропия S пропорциональна логарифму числа микросостояний, в которых может находиться система $S = k \ln P$. $k = 1{,}38\ 10^{-16}$ эрг/К = $1{,}38\ 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана; а P – статистический вес (число микросостояний). Если система имеет 2 состояния, то энтропия системы равна $S = k \ln 2 = 1{,}38 \cdot 10^{-16} \ln 2$ эрг/К $= 1{,}38 \cdot 10^{-23} \ln 2$ Дж/К.

Объем информации в системе из двух равновероятных состояний в информационных единицах равен одному биту, а в единицах энтропии равен постоянной Больцмана, умноженной на $\ln 2$ [44]. В общем случае энтропия системы, содержащей I бит информации, равна постоянной Больцмана, умноженной на $I \ln 2$: $S = k I \ln 2$.

Энергия, требуемая для передачи, чтения, записи одного бита при температуре T, не может быть меньше величины $E_{min} = kT \ln 2$. Соответственно, учитывая формулу Эйнштейна, масса, требуемая для передачи, чтения или записи одного бита при температуре T, не может быть меньше величины $M_{min} = (kT \ln 2)/c^2$.

Микроинформация и макроинформация. Д.С. Чернавский [87], развивая и уточняя идеи Бриллюена [44], различает макроинформацию (классическую информацию) и микроинформацию. Макроинформация есть запомненный выбор одного варианта из нескольких возможных и равноправных. Микроинформация есть выбор не запоминаемый. «Микроинформация существенно отличается от макроинформации, поскольку она не имеет важного для информации свойства фиксируемости, ибо незапоминаема. Макроинформация существенно отличается от микроинформации не только качественно, но и количественно. Это ясно, если вернуться от энтропийных к обычным единицам измерения информации – битам: $I_{микро} = -(\Delta S/k) log_2 e = -1{,}44\ \Delta S/k$, где $I_{микро}$ - огромное число, ибо $k = 1{,}38\ 10^{-23}$ Дж/К ($\Delta S < 0$). $I_{макро} << -(\Delta S/k)\ log_2 e$. Вообще в реальной жизни, в частности, в биологии, всегда используется макроинформация. Любое изменение макроинформации, увеличение или уменьшение, сопровождается ростом энтропии, что естественно, поскольку эти процессы необратимы».

Приведем примеры физических систем, характеризующихся микроинформацией – не запоминаемой и не воспроизводимой ин-

формацией. Микроинформацию содержат пространственное положение частиц (атомов, молекул, ионов) в газе, жидкости, относительное пространственное положение электронов в атоме, относительное пространственное положение электронов в металлах. Важной (но не единственной) мерой микроинформации является термодинамическая энтропия.

Приведем примеры физических систем, содержащих макроинформацию (классическую информацию) – запоминаемую, воспроизводимую информацию. Макроинформацию содержат протон (в кварках и структуре), атомы (в протонах, нейтронах и электронах и структуре), молекулы (в атомах и структуре), ДНК (в молекулах и структуре), РНК (в молекулах и структуре), белки (в молекулах и структуре), твердые тела (в составляющих и структуре).

Информационные модели и информационные законы являются содержательной интерпретацией математических выражений, формул, уравнений в информационной системе понятий, дающей объяснение результатам наблюдений.

Информационные характеристики физических систем (например: объем информации в расширяющейся Вселенной, квадратичная зависимость информации в черной дыре от массы) исследуются с привлечением информационных методов. При этом используются известные, общепризнанные физические модели. Так как информационные характеристики физических систем связаны с физическими характеристиками, то при исследовании информационных характеристик одновременно исследуются физические характеристики (например: структура, излучение черной дыры, масса начальных неоднородностей Вселенной).

3. ИНФОРМАЦИОННАЯ ЭНТРОПИЯ – ХАРАКТЕРИСТИКА НАБЛЮДАЕМЫХ И СОСТОЯНИЙ КВАНТОВЫХ СИСТЕМ, МЕРА СЛОЖНОСТИ СИСТЕМ

3.1. Неопределенность и информация наблюдаемых и состояний квантовых систем

Приведем определение неопределенности, введенное автором в 1989г. в работе [4].

Внешняя неопределенность. Согласно квантовой механике для системы, находящейся в чистом состоянии (описываемой волновой функцией или амплитудой вероятности), часть параметров *«a»* задается точно, значения другой части параметров *«b»* при этом определяется функцией или плотностью распределения $P(b) = \left|\psi_a(b)\right|^2$, где $\psi_a(b)$ – волновая функция [80-85], описывающая физическую систему в *b*–представлении (волновая функция, описывающая наблюдаемую *b)*. Система, находящаяся в чистом состоянии $\psi_a(b)$, имеет неопределенность наблюдаемой *b*, равную информационной энтропии Шеннона для непрерывных случайных величин [7, 86] $N_a(b) = -\int \left|\psi_a(b)\right|^2 \log_2 \left|\psi_a(b)\right|^2 db$ бит. Как правило, внешняя неопределенность определяется на волновых функциях, зависящих от пространственно-временных координат.

Внутренняя неопределенность. Как правило, определяется на амплитудах вероятности в гильбертовых пространствах, описывающих состояние системы. Рассмотрим объект в состоянии $\left|\alpha\right\rangle$, описываемом амплитудами вероятностей $\left\langle\beta_i\middle|\alpha\right\rangle$ $\left|\alpha\right\rangle = \Sigma\left|\beta_i\right\rangle\left\langle\beta_i\middle|\alpha\right\rangle$, где величина $\left\langle\beta_i\middle|\alpha\right\rangle^2$ есть вероятность обнаружения наблюдаемой β, объекта, находящегося в состоянии $\left|\alpha\right\rangle$, в базисном состоянии $\left|\beta_i\right\rangle$, а неопределенность (информация) наблюдаемой β, объекта, находящегося в состоянии $\left|\alpha\right\rangle$ равна информационной энтропии Шеннона для

дискретных случайных величин $N = -\sum \left|\left\langle \beta_i \middle| \alpha \right\rangle\right|^2 \log_2 \left|\left\langle \beta_i \middle| \alpha \right\rangle\right|^2$ бит. Неопределенность определяется состоянием, в котором находится система и наблюдаемой, описывающей систему, причем, в общем случае, неопределенность разных наблюдаемых системы, находящейся в заданном состоянии, может быть различна. Если наблюдаемая фиксирована, то можно говорить о неопределенности состояния квантовой системы, как и в случае задания системы координат из априорных соображений.

Полная неопределенность системы равна сумме внешней и внутренней неопределенности.

Примечание 3.1. Информационная энтропия является оценкой неопределенности и информации. “Эта величина измеряет также количество неопределенности, содержащейся в этом эксперименте, т.е. количество неопределенности до бросания кости относительно того, каков будет его результат. Наконец, эта величина измеряет информацию, содержащуюся в этом эксперименте, или количество информации, получаемой в результате бросания. Тот факт, что случайность и неопределенность имеют естественную общую меру, неудивителен. Вследствие “формулы” прирост информации = устраненная неопределенность представляется разумным, что неопределенность и информация должны измеряться с помощью одной и той же функции” [88].

Примечание 3.2. В 1993г. Bennett C.H. с коллегами [62, 63] под названием «величина запутывания» ввели эту же информационную характеристику физических объектов. В отличие от энтропии, используемой в статистической физике и характеризующей неопределенность состояний, в которых может находиться физическая система, информационная энтропия характеризует неопределенность конкретного состояния, точнее говоря, неопределенность наблюдаемой системы, находящейся в некотором состоянии. Во избежание неоднозначности терминологии, для обозначения свойства «неопределенность» и его количественной меры - информационной энтропии будем использовать один термин – «неопределенность». Введенное определение неопределенности придает широко используемому в квантовой механике понятию неопределенности точный информационный смысл.

Смешанное состояние $\psi_S(x)$ определяется как смесь чистых со-

стояний $\psi_i(x)$. p_i - вероятность реализации чистого состояния $\psi_i(x)$, а неопределенность наблюдаемой в смешанном состоянии системы N_S равна сумме средней неопределенности наблюдаемой в чистых состояниях N плюс энтропия системы S (неопределенность состояний)

$$N_S = N + S.$$

Где $N = \sum_i p_i N_i$, N_i – неопределенность наблюдаемой в i-м (чистом) состоянии системы, а S – энтропия системы (неопределенность состояний системы) $S = -\sum_i p_i \ln p_i$.

3.2. Основные свойства неопределенности (информации)

1. Неопределенность N физических систем (наблюдаемых) может принимать любые значения от - ∞ до + ∞.
2. Классические объекты, приборы, обладающие точными значениями всех своих параметров, имеют неопределенность, равную - ∞ (не ноль!). Свободные частицы могут иметь пространственную неопределенность, равную + ∞.
3. Неопределенность физической системы *S*, состоящей из невзаимодействующих подсистем S_1, S_2,..., равна сумме неопределенностей этих подсистем (аддитивность):

$$N_s = N_{s1} + N_{s2} + \ldots$$

4. Неопределенность физической системы S, состоящей из взаимодействующих подсистем S_1, S_2, не превосходит суммы неопределенностей этих подсистем: $N_{s1} + N_{s2} + \ldots \geq N_s$. Можно сказать, что в системе, состоящей из взаимодействующих подсистем, образуется дефект неопределенности:

$$\Delta N_s = N_{s1} + N_{s2} + \ldots - N_s.$$

5. Если у физической системы *S*, находящейся в смешанном состоянии, число возможных состояний *M* таково, что
$\ln M >> \max N_i$, то неопределенность системы можно считать приблизительно равной энтропии системы.

3.3. Описание и измерение

Поскольку информационная энтропия служит одновременно для

оценки неопределенности и информации, то можно утверждать, что теоретический и экспериментальный способы познания имеют «одинаковую» познавательную силу, так как объемы информации, получаемые при описании (теоретических исследованиях) систем и измерениях (экспериментальных исследованиях) систем, одинаковы.

3.4. Оценка сложности систем

Оценивая сложность системы в целом, надо ее определять двумерным вектором, компонентами которого являются статическая сложность и динамическая сложность (неопределенность) $S = (I, N)$ [4, 9, 19], где I – статическая сложность системы (объем информации в системе и/или описывающей систему), N – динамическая сложность системы (неопределенность). Статической сложностью $I(K(X))$ слова X называется сложность $K\varphi(X)$ слова X по некоторой фиксированной оптимальной вычислимой функции φ [89]. Статическая сложность системы I определяется длиной самого короткого ее описания $I(X) = K(X)$.

Примеры.

1) Внешняя неопределенность частицы, находящейся в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Состояния частицы описываются волновыми функциями $\psi_n(x) = \frac{\sqrt{2}}{a}\sin\frac{\pi n x}{a}$ при 0 ≤ x ≤ a;0 при x ≤ 0, x ≥ a [80]. Неопределенность частицы равна

$$N = -\int_0^a \frac{2}{a^2}\sin^2\frac{\pi n x}{a}\cdot\ln\frac{2}{a^2}\sin^2\frac{\pi n x}{a}dx = \ln\frac{2}{e}a .$$

2) Внутренняя неопределенность электрона в магнитном поле. Волновая функция электрона равна $\left|\psi_e\right\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(\left|0\right\rangle + \left|1\right\rangle)$ [64], а его внутренняя неопределенность равна

$$N_e = -(\frac{1}{2}\log_2\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\log_2\frac{1}{2}) = 1 \text{ бит.}$$

3) Внутренняя неопределенность фотона γ и Z^0 - бозона. Фотон γ,

Z^0 - бозон выражаются через калибровочные поля $W_r^{(3)}$ и B_r .

$$\begin{aligned} Z^0 &= W_r^{(3)} \cos\theta_W + B_r \sin\theta_W \\ \gamma &= -W_r^{(3)} \sin\theta_W + B_r \cos\theta_W \end{aligned}$$

, θ_W - угол Вайнберга ($\sin^2\theta_W \approx 0,2324$) [76, с.98]. Внутренние неопределенности фотона γ и Z^0 - бозона равны

$$N_\gamma = N_{Z^0} = -(\cos^2\theta_W \log_2 \cos^2\theta_W + \sin^2\theta_W \log_2 \sin^2\theta_W) \approx 0,78 \text{ бит.}$$

4. ИНФОРМАЦИОННАЯ ДИВЕРГЕНЦИЯ – МЕРА НЕОДНОРОДНОСТИ

4.1. Определение

Наличие и свойства неоднородности, задаваемой распределением P, будем оценивать информационной дивергенцией $D(P/R)$ [90-91, 19] распределения P относительно равномерного распределения R

$$D(P/R) = -\int P(x)\cdot\log_2 \frac{P(x)}{R(x)}\cdot dx = -\int P(x)\cdot\log_2 P(x)\cdot dx + \int P(x)\cdot\log_2 R(x)\cdot dx ,$$

где $P(x)$ - распределение, характеризующее искомую неоднородность, а $R(x)$ - равномерное распределение на интервале $0 \le x \le a$

$$R(x) = \begin{Bmatrix} 0 \text{ при } -\infty < x \le 0 \\ \frac{1}{a} \text{ при } \ 0 < x \le a \\ 0 \ \text{ при } \ a < x \le \infty \end{Bmatrix} .$$

Если $P(x)$ определена на интервале $0 \le x \le a$, то информационная дивергенция равна

$$D = -\int_0^a P(x)\cdot\log_2 \frac{P(x)}{\frac{1}{a}}\cdot dx = -\int_0^a P(x)\cdot\log_2 (a\cdot P(x))dx .$$

$$D = -\int_0^a P(x)\cdot\log_2 (a\cdot P(x))dx = -\int_0^a P(x)\cdot\log_2 a\cdot dx - \int_0^a P(x)\cdot\log_2 P(x)dx =$$

$$= -\log_2 a - \int_0^a P(x)\cdot\log_2 P(x)dx = N - \log_2 a .$$

Информационная дивергенция относительно равномерного распределения отличается от неопределенности (информационной энтропии) на $-\log_2 a$.

Аналогично оценивается неоднородность информационной дивергенцией и в многомерном случае. Неоднородность, задаваемая распределением P, оценивается информационной дивергенцией

$D(P/R)$ распределения P относительно равномерного распределения R

$$D(P/R) = -\int P(x)\cdot\log_2 \frac{P(x)}{R(x)}\cdot dx = -\int P(x)\cdot\log_2 P(x)\cdot dx + \int P(x)\cdot\log_2 R(x)\cdot dx .$$

$P(x)$ ($x = x_1, x_2, x_3$) – распределение, характеризующее искомую неоднородность.

$R(x)$ ($x = x_1, x_2, x_3$) – равномерное распределение в объеме V .

.

Если $R(x)$ ($x = x_1, x_2, x_3$) – равномерное распределение в объеме V $R(x) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{V} \text{ при } x \in \mathrm{V} \\ 0 \text{ при } x \notin V \end{array} \right\}$ и $P(x)$ также определена в объеме V, то информационная дивергенция равна

$$D = -\int_{\mathrm{V}} P(x)\cdot\log_2 \frac{P(x)}{\frac{1}{\mathrm{V}}}\cdot dx = -\int_{V} P(x)\cdot\log_2 (V\cdot P(x))\cdot dx .$$

В частности, имеем:

$$D(P/R) = -\int P(x_1,x_2,x_3)\cdot\log_2 \frac{P(x_1,x_2,x_3)}{R(x_1,x_2,x_3)}\cdot dx_1 dx_2 dx_3 =$$

$$= -\int P(x_1,x_2,x_3)\cdot\log_2 P(x_1,x_2,x_3)\cdot dx_1 dx_2 dx_3 +$$

$$\int P(x_1,x_2,x_3)\cdot\log_2 R(x_1,x_2,x_3)\cdot dx_1 dx_2 dx_3 .$$

$R(x_1, x_2, x_3)$ – равномерное распределение в области $0 \le x_i \le a_i$

$$R(x_1,x_2,x_3) = \left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ при } -\infty < x_i \le 0 \\ \frac{1}{a_i} \text{ при } 0 < x_i \le a_i \\ 0 \text{ при } a_i < x_i \le \infty \end{array} \right\}.$$

Если $R(x)$ – равномерное распределение в области $0 \le x_i \le a_i$ и

$P(x_1, x_2, x_3)$ также определена в области $0 \le x_i \le a_i$, то информационная дивергенция равна

$$D = -\int_0^a P(x_1, x_2, x_3) \cdot \log_2 \frac{P(x_1, x_2, x_3)}{\frac{1}{\prod_{i=1}^{3} a_i}} \cdot dx_1 dx_2 dx_3 =$$

$$= -\int_0^a P(x_1, x_2, x_3) \cdot \log_2 (\prod_{i=1}^{3} a_i \cdot P(x_1, x_2, x_3) \cdot dx_1 dx_2 dx_3 .$$

4.2. Свойства информационной дивергенции

Утверждение 4.1. *Информационная дивергенция* $D(P(x)/R(x))$ *относительно равномерного распределения* $R(x)$ *не положительна* $D(P(x)/R(x)) \le 0$.

Утверждение 4.2. *Если распределение* $P(x)$ *равномерно –* $P(x) \equiv R(x)$, *то информационная дивергенция* $D(P(x)/R(x))$ *в координатах* x *равна нулю:* $D(P(x)/R(x)) = 0$.

При переходе от координат $x = (x_1, ..., x_n)$ к координатам $y = (y_1, ..., y_n)$

$$y_1 = y_1(x_1, ..., x_n)$$

$$.....$$

$$y_i = y_i(x_1, ..., x_n)$$

$$.....$$

$$y_n = y_n(x_1, ..., x_n)$$

$$P(y) = P(x) \cdot J \frac{(x_1, ..., x_n)}{(y_1, ..., y_n)},$$

где $J \frac{(x_1, ..., x_n)}{(y_1, ..., y_n)} = \frac{\partial(x_1, ..., x_n)}{\partial(y_1, ..., y_n)} = \left| \frac{\partial x_i}{\partial y_j} \right|$ - якобиан преобразования обратного к преобразованию $y = y(x)$ [7].

При переходе от координат $x = (x_1, ..., x_n)$ к координатам $y = (y_1, ..., y_n)$ $P(y) = P(x) \cdot J\dfrac{(x_1,...,x_n)}{(y_1,...,y_n)}$ и $R(y) = R(x) \cdot J\dfrac{(x_1,...,x_n)}{(y_1,...,y_n)}$. Следовательно, дивергенция в новых координатах равна

$$D(P(y)/R(y)) = -\int P(y)\cdot\log_2\frac{P(y)}{R(y)}\cdot dy =$$

$$= -\int P(x)J(\frac{x}{y})\log_2\frac{P(x)\cdot J(\frac{x}{y})}{R(y)\cdot J(\frac{x}{y})}\cdot dx = -\int P(x)J(\frac{x}{y})\log_2\frac{P(x)}{R(y)}\cdot dx =$$

$$-\int P(x)J(\frac{x}{y})\log_2 P(x)\cdot dx + \int P(x)J(\frac{x}{y})\log_2 R(x)\cdot dx .$$

Утверждение 4.3. *Если распределение* $P(x)$ *равномерно –* $P(x) \equiv R(x)$, y *есть функция* x – $y = y(x)$ ($y_i = y_i(x_1,...,x_n)$), *то информационная дивергенция* $D(P(y)/R(y))$ *в координатах* y *равна нулю:* $D(P(y)/R(y)) = 0$.

Утверждение 4.4. Если y есть функция x - $y = y(x)$ ($y_i = y_i(x_1,...,x_n)$), то информационная дивергенция $D(P(x)/R(x))$ распределения $P(x)$ относительно равномерного распределения $R(x)$ и информационная дивергенция $D(P(y)/R(y))$ распределения $P(y)$ относительно равномерного распределения $R(y)$ равны (не равны) нулю одновременно, т.е.

$$D(P(x)/R(x)) = 0 \Leftrightarrow D(P(y)/R(y)) = 0,$$

или

$$D(P(x)/R(x)) \neq 0 \Leftrightarrow D(P(y)/R(y)) \neq 0 .$$

Утверждение 4.5. *При изменении единицы измерения (масштаба) переменной* x *информационная дивергенция* $D(P(x)/R(x))$ *сохраняется.*

Изменение единицы измерения (масштаба) M_1 в α раз $M_2 = \alpha M_1$ приводит к изменениям координаты x_1 в $\dfrac{1}{\alpha}$ раз $x_2 = \dfrac{1}{\alpha}x_1$,

дифференциала dx_1 в $\frac{1}{\alpha}$ раз $dx_2 = \frac{1}{\alpha} dx_1$ ($J(\frac{x_1}{x_2}) = \frac{dx_1}{dx_2} = \alpha$), диапазона изменения координаты x_1 $0 \le x_1 \le a_1$. Диапазон изменения координаты x_2 равен $0 \le x_2 \le a_2 = \frac{a_1}{\alpha}$ ($\alpha = \frac{a_1}{a_2}$).

Оценим информационную дивергенцию при единице измерения M_1 в координатах x_1.

$$D(P/R_1) = -\int P(x_1)\cdot\log_2 \frac{P(x_1)}{R_1(x_1)}\cdot dx_1 =$$

$$-\int P(x_1)\cdot\log_2 P(x_1)\cdot dx_1 + \int P(x_1)\cdot\log_2 R_1(x_1)\cdot dx_1 ,$$

где $P(x_1)$ – распределение, характеризующее искомую неоднородность, а $R_1(x_1)$ – равномерное распределение на интервале $0 \le x_1 \le a_1$

$$R_1(x) = \left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ при } -\infty < x_1 \le 0 \\ \frac{1}{a_1} \text{ при } \ 0 < x_1 \le a_1 \\ 0 \text{ при } \ a_1 < x_1 \le \infty \end{array} \right\}.$$

Если $R_1(x)$ – равномерное распределение на интервале $0 \le x_1 \le a_1$ и $P(x_1)$ также определена на интервале $0 \le x_1 \le a_1$, то информационная дивергенция равна

$$D = -\int_0^{a_1} P(x_1)\cdot\log_2 \frac{P(x_1)}{\frac{1}{a_1}}\cdot dx_1 = -\int_0^{a_1} P(x_1)\cdot\log_2 (a_1 \cdot P(x_1))dx_1 .$$

Оценим информационную дивергенцию при единице измерения M_2.

$$D(P/R_2) = -\int P(x_2)\cdot\log_2 \frac{P(x_2)}{R_2(x_2)}\cdot dx_2 =$$

$$-\int P(x_2)\cdot\log_2 P(x_2)\cdot dx_2 + \int P(x_2)\cdot\log_2 R_1(x_2)\cdot dx_2 ,$$

где $P(x_2)$ – распределение, характеризующее искомую неоднородность, $R_2(x_2)$ – равномерное распределение на интервале $0 \le x_2 \le a_2$

$$R_2(x_2) = \left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ при } -\infty < x_2 \le 0 \\ \dfrac{1}{a_2} \text{ при } 0 < x_2 \le a_2 \\ 0 \text{ при } a_2 < x_2 \le \infty \end{array} \right\}.$$

При этом, если $P(x_2)$ также определена на интервале $0 \le x_2 \le a_2$, то

$$D = -\int_0^{a_2} P(x_2)\cdot\log_2 \frac{P(x_2)}{\frac{1}{a_2}}\cdot dx_2 = -\int_0^{a_2} P(x_2)\cdot\log_2(a_2\cdot P(x_2))dx_2 =$$

$$= -\int_0^{a_2} P(x_2)\cdot\log_2 P(x_2)dx_2 - \int_0^{a_2} P(x_2)\cdot\log_2 a_2 dx_2 .$$

Поскольку значение неопределенности (информации), характеризующей физическую систему при масштабе $м_2$, равно значению неопределенности (информации), характеризующей физическую систему при масштабе $м_1$ минус среднее значение логарифма якобиана [7]:

$$N_y = -\int\ldots\int p(y_1,\ldots,y_n)\ln p(y_1,\ldots,y_n)dy_1\ldots dy_n =$$

$$= N_x - \int\ldots\int p(x_1,\ldots,x_n)\ln J\left(\frac{x_1,\ldots,x_n}{y_1,\ldots,y_n}\right)dx_1\ldots dx_n \text{, то}$$

$$-\int_0^{a_2} P(x_1)\cdot\log_1 P(x_1)dx_1 - \int_0^{a_2} P(x_1)\cdot\log_2 \alpha\cdot dx_1 - \log_2 a_2 \int_0^{a_2} P(x_2)\cdot dx_2 =$$

$$= -\int_0^{a_2} P(x_1)\cdot \log_1 P(x_1)dx_1 - \int_0^{a_2} P(x_1)\cdot \log_2 \frac{a_1}{a_2}\cdot dx_1 - \log_2 a_2 \int_0^{a_2} P(x_2)\cdot dx_2 =$$

$$= -\int_0^{a_2} P(x_1)\cdot \log_1 P(x_1)dx_1 - \log_2 \frac{a_1}{a_2}\cdot \int_0^{a_2} P(x_1)\cdot dx_1 - \log_2 a_2 \int_0^{a_2} P(x_2)\cdot dx_2 =$$

$$= -\int_0^{a_2} P(x_1)\cdot \log_1 P(x_1)dx_1 - \log_2 \frac{a_1}{a_2} - \log_2 a_2 =$$

$$= -\int_0^{a_2} P(x_1)\cdot \log_1 P(x_1)dx_1 - \log_2 a_1 = -\int P(x_1)\cdot \log_2 \frac{P(x_1)}{R_1(x_1)}\cdot dx_1 = D(P/R_1)\,.$$

Таким образом, информационная дивергенция относительно равномерного распределения инвариантна к масштабу физических величин, что делает ее удобной характеристикой наблюдаемых.

5. СОВМЕСТНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ЭНТРОПИЯ – ХАРАКТЕРИСТИКА УНИТАРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

5.1. Унитарные операторы

Линейный оператор U в гильбертовом пространстве H называется *унитарным,* если сопряженный оператор U^* совпадает с обратным U^{-1}, *т.е.* $UU^* = U^*U = E$ (E - единичная матрица). Далее будут рассматриваться гильбертовы пространства H_n конечной размерности n.

Оператор U является унитарным тогда и только тогда, когда для любых двух векторов их скалярное произведение равно скалярному произведению их образов $(x,y) = \left(x, U^*Uy\right) = (Ux, Uy)$.

Важность унитарных операторов заключается в том, что они описывают в квантовой механике преобразования состояний физических систем. В частности, унитарными являются матрицы рассеяния, которые описывают процесс перехода квантовомеханических систем из одних состояний в другие при их взаимодействии (рассеянии) и базовые операторы (гейты), используемые в квантовых вычислениях. Унитарные операторы сохраняют скалярное произведение векторов в гильбертовом пространстве, норму векторов, расстояния, ортогональность, ортонормированность векторов и вероятностное представление [80-85, 92].

Рассмотрим матричное представление оператора U в заданном базисе x:

$$U = \left\| u_{ij} \right\|, \; U^{-1} = U^* = \left\| \bar{u}_{ji} \right\|, \; \bar{u}_{ji} = u_{ij}^{-1}.$$

Пусть унитарный оператор U преобразует базис

$x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_i \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix}$ в базис $y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_i \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix}$. $y = Ux = \left\| u_{ij} \right\| x$ ($y_i = \sum_{j=1}^{n} u_{ij} x_j$) или

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_i \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1j} & \dots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2j} & \dots & u_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{i1} & u_{i2} & \dots & u_{ij} & \dots & u_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{n1} & u_{n2} & \dots & u_{ni} & \dots & u_{nn} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_i \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix}.$$

Тогда унитарный оператор U^{-1} преобразует базис y в базис x

$x = U^{-1} y = \left\| \bar{u}_{ji} \right\| y$ ($x_i = \sum_{j=1}^{n} \bar{u}_{ji} y_j$) или

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_i \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{u}_{11} & \bar{u}_{21} & \dots & \bar{u}_{j1} & \dots & \bar{u}_{n1} \\ \bar{u}_{12} & \bar{u}_{22} & \dots & \bar{u}_{j2} & \dots & \bar{u}_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{u}_{1i} & \bar{u}_{2i} & \dots & \bar{u}_{ji} & \dots & \bar{u}_{ni} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{u}_{1n} & \bar{u}_{2n} & \dots & \bar{u}_{in} & \dots & \bar{u}_{nn} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_i \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix}.$$

5.2. Вероятностные характеристики унитарных матриц

Пусть $U = \left\| u_{ij} \right\|$, $i, j = 1,\dots,n$ унитарная матрица, описывающая в фиксированных координатах унитарный оператор (преобразование) $y = Ux$, $y_i = \sum_{j=1}^{n} u_{ij} x_j$. Определим на каждой i-той строке (j-том столбце) унитарной матрицы конечное вероятностное пространство [93]: множество Ω элементарных событий (исходов) составляют базисные вектора базиса x - x_j (базиса y - y_i), а вероятностная мера задается квадратами модулей элементов унитарной матрицы

$p_{ij} = \left|u_{ij}\right|^2$ (вероятностью реализации состояний x_j при измерении y_i в базисе x). При таком определении конечного вероятностного пространства для рассматриваемой унитарной матрицы $U = \left\|u_{ij}\right\|$ при измерении состояния y_i в базисе x вероятность реализации состояния x_j равна $p_{ij} = \left|u_{ij}\right|^2$,

$$\sum_{j=1}^{n} p_{ij}(U) = \sum_{j=1}^{n} \left|u_{ij}\right|^2 = 1, \qquad \sum_{i=1}^{n} p_{ij}(U) = \sum_{i=1}^{n} \left|u_{ij}\right|^2 = 1,$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} p_{ij} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \left|u_{ij}\right|^2 = n.$$

Для обратной матрицы $U^{-1} = U^* = \left\|\bar{u}_{ji}\right\|$. Соответственно, для рассматриваемой обратной унитарной матрицы при измерении состояния x_i в базисе y вероятность реализации состояния y_i равна $p_{ij}^{-1} = \left|\bar{u}_{ji}\right|^2 = \left|u_{ji}\right|^2 = p_{ji}$.

$$\sum_{j=1}^{n} \left|\bar{u}_{ji}\right|^2 = 1, \qquad \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \left|\bar{u}_{ji}\right|^2 = n.$$

Очевидно, что для матриц $P = \left\|\left|u_{ij}\right|^2\right\| = \left\|\begin{matrix} P_{1row} \\ \dots \\ P_{nrow} \end{matrix}\right\| = \left\|\begin{matrix} \left|u_{11}\right|^2 & \dots & \left|u_{1n}\right|^2 \\ \dots & \dots & \dots \\ \left|u_{n1}\right|^2 & \dots & \left|u_{nn}\right|^2 \end{matrix}\right\|$

(P_{nrow} - вектор-строка),

$P^{-1} = \left\|\left|\bar{u}_{ji}\right|^2\right\| = \left\|P_{1col}^{-1} \quad \dots \quad P_{ncol}^{-1}\right\| = \left\|\begin{matrix} \left|\bar{u}_{11}\right|^2 & \dots & \left|\bar{u}_{n1}\right|^2 \\ \dots & \dots & \dots \\ \left|\bar{u}_{1n}\right|^2 & \dots & \left|\bar{u}_{nn}\right|^2 \end{matrix}\right\|$ (P_{1col}^{-1} - вектор-столбец) столбцы P_k^{-1} матрицы P^{-1} (P_{icol}^{-1}) равны строкам P_k матрицы P (P_{irow}): $P_{icol}^{-1} = P_{irow}^{tr}$.

5.3. Неопределенность базисных векторов y_i и x_i

Так как неопределенность базисного вектора y_i ($y_i = \sum_{j=1}^{n} u_{ij} x_j$) равна

$$N(y_i) = \sum_{j=1}^{n} \left|u_{ij}\right|^2 \log_2 \left|u_{ij}\right|^2,$$

а базисного вектора x_i ($x_i = \sum_{j=1}^{n} \bar{u}_{ji} y_j$) –

$$N(x_i) = \sum_{j=1}^{n} \left|\bar{u}_{ji}\right|^2 \log_2 \left|u_{ij}\right|^2 = \sum_{j=1}^{n} \left|u_{ij}\right|^2 \log_2 \left|u_{ij}\right|^2,$$

то неопределенность базисного вектора y_i в системе координат x равна неопределенности базисного вектора x_i в системе координат y.

5.4. Совместная энтропия - информационная мера унитарных преобразований

Определим для унитарного оператора (преобразования), унитарной матрицы $U = \left\|u_{ij}\right\|$ шенноновскую матрицу $SH(U) = \left\|u_{sh\ ij}\right\| = \left\|\frac{u_{ij}}{\sqrt{n}}\right\|$, $i, j = 1,..., n$, *элементами которой являются элементы унитарной матрицы, деленные на* $\sqrt{n}$.

Определим на шенноновской матрице конечное вероятностное пространство [93]: множество Ω элементарных событий (исходов) составляют пары базисных векторов y_i, x_j базисов y и x; их вероятностная мера задается квадратами модулей элементов шенноновской матрицы $p_{ij}(SH(U)) = \frac{\left|u_{ij}\right|^2}{n}$ (вероятностью совместной реализации состояний y_i и x_j при измерении состояния y в базисе x).

$\sum\limits_{i,j=1}^{n} p_{ij}(SH(U)) = \sum\limits_{i,j=1}^{n} \left|\frac{u_{ij}}{\sqrt{n}}\right|^2 = \frac{1}{n}\sum\limits_{i,j=1}^{n} \left|u_{ij}\right|^2 = 1$. При таком определении конечного вероятностного пространства для рассматриваемой унитарной матрицы $U = \left\|u_{ij}\right\|$ при измерении состояния y в базисе x вероятность реализации состояния y_i, x_j равна $p_{ij}(SH(U)) = \frac{1}{n}\left|u_{ij}\right|^2$,

$$\sum_{i=1}^{n} p_{ij}(SH(U)) = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{n}\left|u_{ij}\right|^2 = \frac{1}{n},$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} p_{ij}(SH(U)) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \frac{1}{n}\left|u_{ij}\right|^2 = 1.$$

Таким образом, матрица совместных вероятностей $P(SH(U)) = \left\|\left|u_{sh\ ij}(U)\right|^2\right\| = \left\|\frac{\left|u_{ij}\right|^2}{n}\right\|$ определяется по шенноновской матрице однозначно. Используя матрицу совместных вероятностей, определим совместную энтропию, соответствующую унитарной матрице $U = \left\|u_{ij}\right\|$.

$$H(U) = H(P(SH(U))) = -\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \left|u_{sh\ ij}(U)\right|^2 \log_2 \left|u_{sh\ ij}(U)\right|^2 =$$

$$= -\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \frac{\left|u_{ij}\right|^2}{n} \log_2 \frac{\left|u_{ij}\right|^2}{n}.$$

Очевидно, что совместная энтропия однозначно характеризует унитарную матрицу $U = \left\|u_{ij}\right\|$.

Утверждение 5.1. *Совместная энтропия, соответствующая унитарной матрице* U *, равна средней неопределенности базисных векторов* y_i *(*x_i*) в системе координат* x *(*y*) плюс* $\log_2 n$.

$$H(U) = H(SH(U)) = H(P(SH(U))) =$$

$$-\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\left|u_{sh\,ij}(U)\right|^2\log_2\left|u_{sh\,ij}(U)\right|^2=-\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{\left|u_{ij}\right|^2}{n}\log_2\frac{\left|u_{ij}\right|^2}{n}=$$

$$=-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}(\left|u_{ij}\right|^2(\log_2\left|u_{ij}\right|^2+\log_2\frac{1}{n})=$$

$$-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\sum_{j=1}^{n}\left|u_{ij}\right|^2(\log_2\left|u_{ij}\right|^2)-(\frac{1}{n}\log_2\frac{1}{n})\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\left|u_{ij}\right|^2=$$

$$=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}N_i+\log_2 n=\overline{N}_i+\log_2 n=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}N_j+\log_2 n=\overline{N}_j+\log_2 n\,.$$

Утверждение 5.2. *Совместная энтропия, соответствующая унитарной матрице* U*, не может быть меньше* $\log_2 n$ *и не может быть больше* $2\log_2 n$*:* $\log_2 n\le H(U)\le 2\log_2 n$.

Данное утверждение следует из утверждения 5.1 и оценок неопределенности базисных векторов y_i в системе координат x связанных единичной матрицей (неопределенность равна нулю) и матрицей равновероятных переходов (неопределенность равна $\log_2 n$).

Примеры.

1. Единичная матрица $U=E=\begin{Vmatrix}1 & 0 & \dots & 0\\ 0 & 1 & \dots & 0\\ \dots & \dots & \dots & \dots\\ 0 & 0 & \dots & 1\end{Vmatrix}$, а соответствующая ей шенноновская матрица

$$SH(E)=\begin{Vmatrix}\frac{1}{\sqrt{n}} & 0 & \dots & 0\\ 0 & \frac{1}{\sqrt{n}} & \dots & 0\\ \dots & \dots & \dots & \dots\\ 0 & 0 & \dots & \frac{1}{\sqrt{n}}\end{Vmatrix}.$$

Тогда матрица совместных вероятностей $P(SH(E)) = \begin{Vmatrix} \frac{1}{n} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{n} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{1}{n} \end{Vmatrix}$,

а совместная энтропия, характеризующая единичную матрицу, равна минимально возможной

$$H(E) = H(P(SH(E))) = -\sum_{i=1}^{n} p_{ii} \log_2 p_{ii} = -n\frac{1}{n}\log_2 \frac{1}{n} = \log_2 n .$$

2. Пусть $U_S = \left\| u_{kj} \right\| = \left\| s_{kj} e^{i\alpha_{kj}} \right\|$, где s_{kj} – единичные элементы матрицы перестановок $\mathrm{S} = \left\| s_{kj} \right\|$ и α_{kj} – вещественные числа $k, j = 1,\dots,n$.

$$\mathrm{U_S} = \begin{pmatrix} 0 & e^{i\,\mathrm{u_{1k}}} & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & e^{i\,\mathrm{u_{pq}}} & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & e^{i\,\alpha_{\mathrm{nd}}} & 0 \end{pmatrix},$$

а соответствующая ей шенноновская матрица

$$\mathrm{SH(U_S)} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{e^{i\,\mathrm{u_{1k}}}}{\sqrt{n}} & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \frac{e^{i\,\mathrm{u_{pq}}}}{\sqrt{n}} & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \frac{e^{i\,\alpha_{\mathrm{nd}}}}{\sqrt{n}} & 0 \end{pmatrix}.$$

Тогда матрица совместных вероятностей

$$P(SH(U_S)) = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{n} & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \frac{1}{n} & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{n} & 0 \end{pmatrix},$$ а совместная энтропия, характеризующая матрицу перестановок $U_S = \left\| u_{kj} \right\| = \left\| s_{kj} e^{i\alpha_{kj}} \right\|$, равна минимально возможной

$$H(U_S) = H(P(SH(U_S))) = -\sum_{i,j=1}^{n} p_{ij} \log_2 p_{ij} =$$

$$= -n \frac{1}{n} \log_2 \frac{1}{n} = \log_2 n.$$

3. Пусть матрица $U = \begin{Vmatrix} \frac{1}{\sqrt{n}} & \frac{1}{\sqrt{n}} & \dots & \frac{1}{\sqrt{n}} \\ \frac{1}{\sqrt{n}} & \frac{1}{\sqrt{n}} & \dots & \frac{1}{\sqrt{n}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{\sqrt{n}} & \frac{1}{\sqrt{n}} & \dots & \frac{1}{\sqrt{n}} \end{Vmatrix}$, а соответствующая ей шенноновская матрица

$$SH(U) = \begin{Vmatrix} \frac{1}{n} & \frac{1}{n} & \dots & \frac{1}{n} \\ \frac{1}{n} & \frac{1}{n} & \dots & \frac{1}{n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{n} & \frac{1}{n} & \dots & \frac{1}{n} \end{Vmatrix}.$$

Тогда матрица совместных вероятностей

$P(SH(U)) = \begin{Vmatrix} \frac{1}{n^2} & \frac{1}{n^2} & \cdots & \frac{1}{n^2} \\ \frac{1}{n^2} & \frac{1}{n^2} & \cdots & \frac{1}{n^2} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \frac{1}{n^2} & \frac{1}{n^2} & \cdots & \frac{1}{n^2} \end{Vmatrix}$, а совместная энтропия, характеризующая матрицу U, равна максимально возможной

$$H(U) = H(SH(U))) = -\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} p_{ij} \log_2 p_{ij} = -n^2 \frac{1}{n^2} \log_2 \frac{1}{n^2} = 2 \log_2 n .$$

6. ИНФОРМАЦИЯ СВЯЗИ – ХАРАКТЕРИСТИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЦЕПЛЕННЫХ (ЗАПУТАННЫХ) СИСТЕМ

Информация связи I_{xy} случайных величин x и y равна [7, 86] $I_{xy} = N_x + N_y - N_{xy}$, где N_x, N_y – неопределенности (информационные энтропии) случайных величин x, y; N_{xy} – совместная неопределенность (информационная энтропия) случайных величин (x, y). Информацию связи можно рассматривать как меру сцепленности (запутанности) физических систем.

Оценим информацию связи сцепленного (запутанного) состояния двух кубитов (кубит это квантовая система, имеющая два состояния). Волновая функция (амплитуда вероятности) кубита, в общем случае, имеет вид: $\left|\Psi\right\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(a\left|0\right\rangle + b\left|1\right\rangle)$. Волновая функция (амплитуда вероятности) системы сцепленного (запутанного) состояния двух кубитов с максимальной информационной связью имеет вид:

$$\left|\Psi_{12}\right\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(\left|0_1\right\rangle\left|1_2\right\rangle \pm \left|1_1\right\rangle\left|0_2\right\rangle).$$

Для сцепленного состояния с максимальной информационной связью состояние кубита 2 полностью определено, если известно состояние кубита 1 и состояние кубита 1 полностью определено, если известно состояние кубита 2, а совместные вероятности равны [15]

$$P(\left|0_1\right\rangle\left|1_2\right\rangle) = P(\left|1_1\right\rangle\left|0_2\right\rangle) = P(\left|0_1\right\rangle) = P(\left|1_1\right\rangle) = P(\left|0_2\right\rangle) = P(\left|1_2\right\rangle) = \frac{1}{2}.$$

Матрица совместных вероятностей

$$\mathrm{P_{сов}} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & 0 \end{pmatrix},$$

а совместная неопределенность (совместная информационная энтропия) состояний кубита 1 и кубита 2 равна $N(1,2) = 1$.

Неопределенность (информационная энтропия) кубита 1

равна $N(1) = 1$.

Неопределенность (информационная энтропия) кубита 2 равна $N(2) = 1$.

Информация связи кубитов 1 и 2 равна $I_{12} = 1$.

7. ЗАКОНЫ ИНФОРМАТИКИ – ИНФОРМАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

7.1. Законы информатики более общие, чем физические законы

Физические исследования проводятся около трех тысяч лет и для описания разнообразных природных явлений и процессов накоплен значительный объем физических понятий и методов.

«Слово физика означает науку о природе. Общепринято определение современной физики как науки о формах материи (их иногда называют «первичными», «общими»), которые входят в состав любых сложных материальных систем, о взаимодействии этих форм материи и их движении. Физика изучает частицы и поля, связывающие частицы. К наиболее общим физическим теориям принадлежат теория относительности, квантовая механика, теория поля, статистическая физика. Поскольку формы материи, движения и взаимодействия, составляющие предмет физики, встречаются в любых материальных системах, то физика является основой естествознания. Специфические закономерности конкретных классов и типов материальных образований, изучаемые химией, биологией, геологией и др. естественными науками, возникают как специфически усложненные виды взаимодействия форм материи, изучаемых физикой. Физические методы широко применяются при изучении любых сложных материальных систем и их поведения в различных условиях. Физика тесно связана с математикой. Физика является наиболее широкой теоретической основой техники» [94]. Такова общепринятая точка зрения.

По мнению автора, существуют законы более общие, чем физические – законы информатики [4, 9, 19], определяющие, ограничивающие физические явления и процессы, законы, предшествующие физическим законам.

«...Тенденция к оперированию информационными категориями прослеживается у большинства физиков и философов, обсуждающих проблемы причинности и однонаправленности времени, статической необратимости и теории измерений, а сами термины «информация» и «количество информации» широко употреблялись в естественных науках и обыденной жизни до их строгого определения К. Шенноном

и Н. Винером. Наряду с проникновением физических методов в теорию связи существует и обратный процесс – привлечение информационных понятий для решения некоторых узловых вопросов теоретической физики. Этот процесс особенно ощутим в статистической физике… Кроме того, по существу теоретико-информационный характер носит и обсуждение целого ряда вопросов теоретической физики, связанных с принципом причинности. Достаточно отметить, что понятие «сигнал» употребляется при выводе законов преобразования в специальной теории относительности, при обсуждении аномальной дисперсии в макроскопической электродинамике и многих других задачах» [95].

М. Нильсен и И. Чанг в 2000-2001 гг. в [96] также отмечают взаимное проникновение физических и информационных идей: «Квантовые вычисления и квантовая информация научили нас думать о вычислениях физически, и мы открыли, что этот подход открывает много новых возможностей в области связи и обработки информации ... Мы полагаем, что точно также, как мы научились думать о вычислениях физически, мы можем научиться думать о физике в терминах вычислений. Физика традиционно является дисциплиной, где основное внимание сосредоточено на понимании «элементарных» объектов и простых систем, однако многие интересные аспекты Природы проявляются лишь с ростом размеров и сложности. Такие явления отчасти исследуются в химии и инженерных науках, но всякий раз довольно специфическим образом. Квантовые вычисления и квантовая информация предоставляют новые инструменты, позволяющие перебрасывать мост от простого к сложному: в сфере вычислений и алгоритмов есть систематические средства для построения и изучения таких систем. Применение идей из этих областей уже начинает приводить к выработке новых взглядов на физику. Мы надеемся, что в последующие годы этот подход будет успешно применяться во всех ее разделах».

Важно привести еще один аргумент в пользу первичности информационного подхода. Поскольку неоднородности должны существовать во Вселенных с любыми физическими законами, то подход, базирующийся на информационных оценках неоднородностей любой природы и соответствующие закономерности, распространяется на все возможные Вселенные [19].

Объединение физических и информационных методов позволяет получать новые нетривиальные результаты. Примером служит созда-

ваемая в настоящее время с использованием физических и информационных подходов теория квантовых вычислений [62-65, 96]. В частности, квантовая телепортация и квантовая криптография основаны на совместном использовании идей квантовой механики и классических каналов связи. «Все больше теоретиков считают, что ключевой идеей, ведущей к «великому объединению» гравитации и квантовой теории, может стать переформулирование взглядов на природу не в терминах материи и энергии, а в терминах информации» [97]. В разделе 16 показана взаимосвязь между законами информатики и физическими законами, свойствами Вселенной.

Вместе с тем, следует помнить: "Очень редко, - писал Шеннон, - удается открыть одновременно несколько тайн природы одним и тем же ключом. Здание нашего несколько искусственно созданного благополучия слишком легко может рухнуть, как только в один прекрасный день окажется, что при помощи нескольких магических слов, таких как информация, энтропия, избыточность,... нельзя решить всех нерешенных проблем" [87].

Информатика и физика, только вместе, только объединенные в единое целое, позволят раскрыть все тайны природы.

7.2. Законы информатики

Закон простоты сложных систем

Реализуется, выживает, отбирается тот вариант сложной системы, который обладает наименьшей сложностью.

Закон простоты сложных систем реализуется природой в ряде конструктивных принципов:

- «бритва Оккама»;
- иерархического модульного построения сложных систем;
- симметрии;
- симморфоза (равнопрочности, однородности);
- устойчивости;
- полевого взаимодействия (взаимодействия через носитель или взаимодействия через состояние пространства-времени, например, кривизну пространства-времени);
- экстремальной неопределенности (функции распределения

характеристик, параметров, имеющих неопределенные значения, имеют экстремальную неопределенность).

Важной реализацией закона простоты сложных систем является:

Закон сохранения неопределенности (информации)

Неопределенность (информация) изолированной (замкнутой) системы сохраняется при физически реализуемых преобразованиях и только при физически реализуемых преобразованиях.

Закон конечности информационных характеристик сложных систем

Все виды взаимодействия между системами, их частями и элементами имеют конечную скорость распространения. Ограничена также скорость изменения состояний элементов системы.

- В любой системе координат информация о событии всегда конечна.
- Длительность сигнала ΔT всегда больше нуля ($\Delta T > 0$).
- Информация о координатах физических систем в нашем мире ограничена 333 битами.

Закон необходимого разнообразия Эшби

Для эффективного функционирования системы разнообразие управляющего органа должно быть не менее разнообразия объекта управления.

Отметим, что неопределенность (информация) является основной из характеристик разнообразия системы.

Закон необходимого разнообразия Эшби также реализуется в ряде конкретных принципов:

- теоремы Шеннона,
- теорема Котельникова,
- теорема Холево,
- теорема Брюллиена,
- теорема Марголиса–Левитина.

Теорема Геделя о неполноте

В достаточно богатых теориях (включающих арифметику) всегда существуют недоказуемые истинные выражения.

Характер изменения, эволюции сложных систем определяют:

Закон роста сложности систем

В ходе эволюции системы ее неопределенность (информация в ней) растет.

Закон Онсагера максимизации убывания энтропии

Если число всевозможных форм реализации процесса, не единственно, то реализуется та форма, при которой энтропия системы растет наиболее медленно. Иначе говоря, реализуется та форма, при которой максимизируется убывание энтропии или рост информации, содержащейся в системе [115].

Принцип ле Шателье

Внешнее воздействие, выводящее систему из равновесия, вызывает в ней процессы, стремящиеся ослабить результаты этого воздействия.

7.3. Основополагающие информационные принципы квантовой механики

1. Законы информатики позволяют сформулировать основополагающие информационные принципы квантовой механики, уточняющие и развивающие основополагающий принцип для квантовой механики А. Цайлингера [2].
2. Наше физическое описание мира представлено суждениями (утверждениями). Любой физический объект может быть описан рядом истинных суждений. Полное описание объекта вообще - очень длин-

ный список суждений.

3. Важнейшими суждениями являются физические законы, выявляющие регулярность и общность взаимосвязей между суждениями, прошлыми и будущими наблюдениями.

4. Физические системы, объекты, наблюдаемые описываются волновой функцией или амплитудой вероятности, содержащими в качестве параметров и переменных общепринятые физические характеристики.

5. Квадрат модуля волновой функции или амплитуды вероятности интерпретируется как плотность вероятности или вероятность.

6. Физические системы, объекты, наблюдаемые описываются информационной характеристикой – неопределенностью (информацией). Мерой неопределенности (информациия) является информационная энтропия Шеннона, определяемой как функционал на волновой функции или амплитуде вероятности.

7. Унитарные преобразования описываются информационной характеристикой – совместной энтропией.

8. Взаимодействие (запутанность, сцепленность) физических систем, объектов, описывается информационной характеристикой – информацией связи.

9. Теоретический (описание) и экпериментальный (измерение) способы познания имеют одинаковую познавательную силу – объемы информации, получаемые при теоретических и экпериментальных исследованиях, одинаковы.

10. Неопределенность описания наблюдаемых, определяемых коммутирующими операторами, одинакова. Объем информации, получаемой при измерении наблюдаемых, определяемых коммутирующими операторами, одинаков.

11. Справедлив закон сохранения неопределенности (информации). Неопределенность (информация) изолированной (замкнутой) системы сохраняется при физически реализуемых преобразованиях и только при физически реализуемых преобразованиях. Из закона сохранения неопределенности следует, что если система из n кубитов находится в состоянии ψ, то при изменении координат отдельных кубитов, подмножеств кубитов, подсистем, сцепленного состояния в целом, неопределенности сцепленных состояний сохраняются. При изменении ориентации в пространстве отдельных кубитов, подмножеств кубитов, сцепленного состояния в целом, неопределенности сцепленных состояний также сохраняются. Кубиты, входящие в со-

став сцепленного состояния, можно перемещать с произвольной скоростью друг относительно друга, не меняя неопределенность.

12. Взаимосвязь между прошлым и будущим физической системы определяется уравнением Шредингера. Начальное состояние $\psi(\quad, t_i)$ во время t_i представляет всю информацию, полученную более ранним наблюдением любых характеристик нашей экспериментальной установки. Используя уравнение Шредингера, мы можем получить конечное состояние $\psi(\quad, t_f)$ в некоторое будущее время t_f. Это состояние - только способ представить результаты всех возможных будущих наблюдений. Вообще говоря, эти результаты являются вероятностными.

13. Результаты произвольного физического преобразования, взаимодействия удовлетворяют закону сохранения неопределенности (информации) и физическим законам.

14. Возможна следующая интерпретация квантовой механики на базе приведенных информационных соотношений. Процесс познания (описание и измерение) осуществляется через гипотетический информационный канал – «канал познания природы». Ограниченная пропускная способность «канала познания природы» определяет невозможность «точного» (в классическом смысле) описания и измерения квантовых объектов. Увеличивая точность (уменьшая неопределенность) описания/измерения одной из величин, наблюдатель вынужден уменьшать точность измерения (увеличивать неопределенность) описания/измерения другой.

15. Перечислим постулаты аналогичные постулатам Бора, справедливые для всех физических систем.

Первый постулат: в физической системе S существуют некоторые стационарные состояния $i = 1, 2, \ldots$, описываемые волновыми функциями ψ_i, не изменяющиеся во времени без внешних воздействий. В этих состояниях физическая система содержит определенную информацию $I_i(\varphi_i)$ и имеет определенную энергию $E_i(\varphi_i)$, и не излучает, и не поглощает информацию и энергию.

Второй постулат (закон сохранения неопределенности (информации)): при переходе физической системы из стационарного состояния, описываемого волновой функцией ψ_i, $i = 1, 2, \ldots$, в стационарное состояние, описываемое волновой функцией

ψ_j, $j \neq i = 1, 2, \ldots$, физической системой испускается или поглощается несколько физических объектов, описываемых волновыми функциями φ_{ij}^k, содержащих суммарную информацию $\sum_k I_{ij}^k(\varphi_{ij}^k)$, равную разности информации системы S $I_i(\varphi_i) - I_j(\varphi_j)$ в начальном i и конечном j состояниях

$$I_i(\varphi_i) - I_j(\varphi_j) = \sum_k I_{ij}^k(\varphi_{ij}^k).$$

Третий постулат (закон сохранения энергии): при переходе физической системы из стационарного состояния, описываемого волновой функцией ψ_i, $i = 1, 2, \ldots$ в стационарное состояние, описываемое волновой функцией ψ_j, $j \neq i = 1, 2, \ldots$, физической системой испускается или поглощается несколько физических объектов, описываемых волновыми функциями φ_{ij}^k, содержащих суммарную энергию $\sum_k E_{ij}^k(\varphi_{ij}^k)$), равную разности энергий системы S $E_i(\varphi_i) - E_j(\varphi_j)$ в начальном i и конечном j состояниях, $\sum_k E_{ij}^k(\varphi_{ij}^k) = E_i(\varphi_i) - E_j(\varphi_j)$.

В общем случае, характеристики испускаемых или поглощаемых физических объектов и $I_{ij}(\varphi_{ij})$, $E_{ij}(\varphi_{ij})$ и сведения об их волновых функциях φ_{ij}^k определяются из системы уравнений $\sum_k I_{ij}^k(\varphi_{ij}^k) = I_i(\varphi_i) - I_j(\varphi_j)$, $\sum_k E_{ij}^k(\varphi_{ij}^k) = E_i(\varphi_i) - E_j(\varphi_j)$.

Таким образом, в общем случае, ограничения на переход системы из одного состояния в другое накладывают и закон сохранения неопределенности (информации) и закон сохранения энергии.

Почему же физики «обходятся» законом сохранения энергии? Возможно два объяснения:

1) в рассматриваемых системах объем информации пропорционален энергии и, поэтому, оба ограничения идентичны;

2) использование только закона сохранения энергии дает результаты, но это – приближенные результаты.

Рассмотрим важные частные случаи.

Распад частицы. Частица находится в начальном состоянии, описываемом волновой функцией ψ_0. В этом состоянии физическая сис-

тема содержит определенную информацию $I_0(\varphi_0)$ и обладает определенной энергией $E_0(\varphi_0)$. В момент времени t частица самопроизвольно распадается. Образуется несколько новых частиц, описываемых волновыми функциями φ_k, $k = 1, 2,..., n$. Характеристики образовавшихся частиц $I_i(\varphi_k)$, $E_i(\varphi_k)$ и сведения об их волновых функциях φ_k определяются из системы уравнений $\sum_k I_i(\varphi_k) = I_0(\varphi_0)$, $\sum_k E_i(\varphi_k) = E_0(\varphi_0)$.

Взаимодействие частиц. Система из n_0 частиц находится в начальном состоянии, описываемом n_0 волновыми функциями ψ_i $i = 1,..., n_0$.

В этих состояниях частицы содержат определенную информацию $I_i(\psi_i)$ и обладают определенной энергией $E_i(\psi_i)$. В момент времени t частицы взаимодействуют и образуется n новых частиц, описываемых волновыми функциями φ_k, $k = 1, 2,..., n$. Характеристики образовавшихся частиц $I_k(\varphi_k)$, $E_k(\varphi_k)$ и сведения об их волновых функциях φ_k определяются из системы уравнений $\sum_k I_k(\varphi_k) = \sum_i I_i(\psi_i)$, $\sum_k E_k(\varphi_k) = \sum_i E_i(\varphi_i)$.

7.4. Физические законы сохранения как следствие законов информатики

Вывод из законов сохранения неопределенности и простоты сложных систем физических законов сохранения основывается на теореме Нетер [94], которая формулируется следующим образом:

Для физической системы, уравнения движения которой имеют форму дифференциальных уравнений и могут быть получены из вариационного принципа, каждому однопараметрическому непрерывному преобразованию, оставляющему вариационный функционал инвариантным, соответствует один дифференциальный закон сохранения. Используя теорему Нетер, можно показать, что из закона сохранения неопределенности и закона простоты сложных систем следуют законы сохранения энергии, импульса, момента импульса.

8. ОЦЕНКИ ОБЪЕМА ИНФОРМАЦИИ В ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

8.1. Бозе-частицы и ферми-частицы как физические носители информации

Информация есть устойчивая определенное время неоднородность [4]. Под устойчивостью неоднородности будем понимать ее способность находиться в определенных состояниях в течение времени, сравнимом с рассматриваемым периодом (при нашем анализе – с возрастом Вселенной). Устойчивость неоднородности – это невозможность самопроизвольного ее распада или самопроизвольного перехода в другие состояния. Примером неустойчивых неоднородностей являются флуктуации. Исходя из приведенного определения, проанализируем, какие физические объекты и в какой степени могут являться носителями информации. Рассмотрим элементарные частицы [98-99]. Какие частицы могут использоваться природой для хранения и/или передачи информации?

Отличительными признаками, нарушающими однородность, выделяющими физические объекты, являются:

- тип частицы (системы частиц);
- состояние частицы (системы частиц);
- количество частиц в определенном состоянии.

Как уже отмечалось, устойчивость частицы (системы частиц) определяется временем ее существования и способностью находиться в определенных состояниях.

Бесконечным временем существования обладают стабильные частицы: ферми-частицы с ненулевой массой покоя со спином ½ (протон, электрон, нейтрино) и бозе-частицы с нулевой массой покоя (фотон со спином 1, гравитон со спином 2). Существует предположение, что протон – нестабильная частица с периодом полураспада в миллиарды лет, что не нарушает, однако, наших требований к носителю информации.

Ферми-частицы (ферми-системы, фермионы) имеют стационарные состояния, вероятность самопроизвольного перехода между которыми равна нулю.

Бозе-частицы (бозе-системы, бозоны) имеют свойство накапливаться в одном состоянии.

Бозе-частицы как носители информации. Поскольку каждая из бозе-частиц системы n частиц находится в одном и том же состоянии ψ, то эти частицы неразличимы. При этом кодировка информации возможна состоянием, в котором находятся бозе-частицы.

В тоже время кодировка информации количеством бозе-частиц невозможна, поскольку любое состояние, содержащее определенное количество бозе-частиц, неустойчиво. Существует ненулевая вероятность самопроизвольного перехода в состояние с большим (меньшим) числом частиц.

Ферми-частицы как носители информации. Ферми-частицы не могут находиться в одинаковых состояниях и система, включающая n ферми-частиц, может находиться в n различных состояниях. При этом стационарные состояния систем ферми-частиц устойчивы. Вероятность самопроизвольного перехода в другое состояние равна нулю.

Следовательно, кодировка информации состояниями, в которых находятся ферми-частицы возможна. Также возможна кодировка информации числом ферми-частиц. Отметим, что кодировка информации состояниями ферми-частиц существенно более эффективна, чем кодировка их числом.

Физические носители информации должны выполнять две функции: хранение и передачи информации.

При этом, хранение информации целесообразно осуществлять на объектах, которые могут находиться в состоянии покоя и имеют много состояний, а передачу информации – объектами, которые имеют много состояний, но могут не находиться в состоянии покоя.

Таким образом, хранение и передачу информации целесообразно осуществлять разными типами частиц.

Для хранения информации целесообразно использовать ферми-частицы, а для передачи информации – бозе-частицы. Дело в том, что при взаимодействии ферми-частиц и бозе-частиц, как различимых частиц, действует классическая логика. Складываются вероятности, а не амплитуды вероятностей. Следовательно, при использовании ферми-частиц (для хранения информации) и бозе-частиц (для передачи информации) процесс передачи информации нечувствителен к фазе амплитуды бозе-частицы. Принимающая частица воспринимает только состояние бозе-частицы. Это существенно повышает устойчивость передачи информации.

Информационная емкость системы из *n* различимых частиц (фермионов) и *n* неразличимых частиц (бозонов). Оценка информационной емкости системы из *n* различимых частиц (фермионов) и *n* неразличимых частиц (бозонов) методами алгебраической теории информации [100] показывает, что совокупность из *n* бозонов, находящихся в одном состоянии, имеет значение 0-информации (алгебраическая оценка объема информации, в пределе равная шенноновской) равное нулю. Совокупность из *n* фермионов, находящихся в разных состояниях, имеет значение 0-информации, равное *n ln n.*

8.2. Объем информации в сцепленных (запутанных) физических системах

Оценим объем информации в системе, состоящей из n кубитов. Вначале рассмотрим системы с равновероятными базисными состояниями [19, 15].

1. Предположим, что в системе содержится n не взаимодействующих кубитов, а кубит описывается волновой функцией $\psi = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$, где $|0\rangle, |1\rangle$ - базисные состояния кубита. При измерениях кубита будут получены базисные состояния $|0\rangle$, $|1\rangle$ с равными вероятностями $\frac{1}{2}$. Неопределенность (информация) кубита в состоянии ψ равна 1 биту: $N_1 = I_1 = -(\frac{1}{2}\log_2\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\log_2\frac{1}{2}) = 1.$ *Следовательно, в системе из n не взаимодействующих кубитов с равновероятными базисными состояниями, объем информации пропорционален числу кубитов и равен n бит.*

Эта оценка определяет минимальный объем информации в системе из n кубитов с равновероятными базисными состояниями. Она же объясняет линейную зависимость объема информации от массы или количества частиц (элементарных систем) в обычном веществе. Из нее же следует основной принцип квантовой механики А. Цайлингера [2]: «Мы, таким образом, предлагаем следующий принцип квантования информации: элементарная система переносит (содержит) 1 бит информации».

2. Предположим, что в системе содержится n попарно взаимодейст-

вующих кубитов с равновероятными базисными состояниями, и система может быть описана следующей волновой функцией:

$$\psi_n = \frac{1}{\sqrt{2}}(\left|0_1\right\rangle\left|0_2\right\rangle...\left|0_n\right\rangle + \left|1_1\right\rangle\left|1_2\right\rangle...\left|1_n\right\rangle).$$

Волновая функция каждого кубита $\psi_i = \frac{1}{\sqrt{2}}(\left|0_i\right\rangle + \left|1_i\right\rangle)$ ($\left|0_i\right\rangle, \left|1_i\right\rangle$ - базисные состояния i-го кубита), а неопределенность (информационная энтропия) совместного распределения состояний кубита i и кубита j равна $N_{ij} = -(\frac{1}{2}\log\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\log\frac{1}{2}) = 1$. Информация связи [7, 86] кубитов i и j равна $I_{ij} = N_i + N_j - N_{ij} = 1 + 1 - 1 = 1$, а объем информации связи в системе из n попарно взаимодействующих кубитов с равновероятными базисными состояниями равен $I_n = \frac{n \cdot (n-1)}{2}$ бит. Объем информации в системе из n попарно взаимодействующих кубитов включающий n бит информации, содержащейся в кубитах, и $\frac{n \cdot (n-1)}{2}$ бит информации связи между кубитами равен $I_n = n + \frac{n \cdot (n-1)}{2} = \frac{n \cdot (n+1)}{2}$ бит [19].

При $n >> 1$ объем информации в системе из попарно взаимодействующих кубитов пропорционален квадрату количества взаимодействующих кубитов $I_n \approx \frac{n^2}{2}$. Точность оценки обратно пропорциональна количеству кубитов в системе и при $n \geq 100$ не менее 1%. Эта оценка определяет максимальный объем информации в системе из n кубитов с равновероятными состояниями.

В системе, содержащей n попарно взаимодействующих кубитов с равновероятными базисными состояниями, объем информации пропорционален квадрату числа кубитов и равен $I_n = \frac{n \cdot (n+1)}{2}$ бит.

Данная оценка объясняет квадратичную зависимость объема информации от массы в черной дыре.

3. В общем случае, объем информации I_n в системе, состоящей из n кубитов с равновероятными базисными состояниями

$$n \le I_n \le \frac{n \cdot (n+1)}{2}.$$

4. Система, состоящая из n кубитов с равновероятными базисными состояниями, содержит информации больше на n бит, чем система, состоящая из $n-1$ кубита:

$$I_n - I_{n-1} = \frac{n \cdot (n+1)}{2} - \frac{(n-1) \cdot n}{2} = n.$$

5. Рассмотрим случай, когда в системе из n кубитов выделяются $\frac{n}{k}$ групп по k кубитов и каждый из k кубитов взаимодействует только с кубитами своей группы (считаем, что $\frac{n}{k}$ - целое число). Тогда объем информации I_k в группе, состоящей из k попарно взаимодействующих кубитов с равновероятными базисными состояниями, равен $\frac{k \cdot (k+1)}{2}$ бит. Следовательно, в рассматриваемой системе из n кубитов содержится

$$I_{n/k} = \frac{n}{k} \frac{k \cdot (k+1)}{2} = \frac{n \cdot (k+1)}{2} \text{ бит.}$$

Это объясняет линейную зависимость объема информации от массы в составных частицах обычного вещества (например, в элементарных частицах - мезонах, барионах, а также атомах).

При $k = 1$ система содержит минимальный объем информации:

$$I_{n/1} = n \frac{1 \cdot (1+1)}{2} = n.$$

При $k = n$ система содержит максимальный объем информации:

$$I_{n/n} = \frac{n}{n} \frac{n \cdot (n+1)}{2} = \frac{n \cdot (n+1)}{2}.$$

6. Если рассматривать системы из n кубитов с произвольными вероятностями реализации базисных состояний $|0\rangle$, $|1\rangle$, то кубит описывается волновой функцией $\psi = a|0\rangle + b|1\rangle$ и при измерениях ку-

бита будут получены с вероятностями $|a|^2$, $|b|^2$ состояния $|0\rangle$, $|1\rangle$. Неопределенность (информация) кубита в состоянии ψ равна $N_1 = I_1 = -(|a|^2 \log_2 |a|^2 + |b|^2 \log_2 |b|^2)$.

В общем случае, объем информации I_n в системе, состоящей из n кубит:

$$0 \le I_n \le \frac{n \cdot (n+1)}{2}.$$

8.3. Объем информации в физических объектах (фундаментальных и составных элементарных частицах, атомах, молекулах, газе, …)

Методика иерархической оценки объема информации в физических объектах. Методика оценки объема информации в физических объектах иерархической структуры заключается в следующем. Сначала оценивается объем информации в объектах нижнего уровня (лептонах и кварках). Согласно основному принципу квантовой механики Цайлингера считаем, что в объектах нижнего уровня – фундаментальных частицах содержится 1 бит информации. Далее оценивается объем неопределенности (информации) в объектах второго уровня, который равен сумме объемов информации объектов нижнего уровня плюс объем информации, заключенной в структуре объекта второго уровня иерархии (мезоны, барионы). Объем информации в структуре объекта второго уровня оценивается по волновой функции объекта второго уровня и/или по графу, отображающему его структуру. Затем оценивается объем информации в объектах следующего уровня, который равен сумме объемов информации, входящих в его состав объектов предыдущих уровней, плюс объем информации, заключенной в структуре объекта последующего уровня иерархии (атомы). Объем информации в структуре объекта третьего уровня оценивается по волновой функции объекта третьего уровня. И так далее: молекулы, твердые тела, звезды, галактики, Вселенная. Аминокислоты, азотистые основания, клетки, организмы, популяции, общества, цивилизации. В ряде случаев, необходимо учитывать пространственную неопределенность (информацию).

Приведем оценки объемов информации в фундаментальных и элементарных частицах, атомах, молекулах, газе, плазме, жидкости,

твердом теле.

Объем информации в фундаментальных частицах. Волновые функции $W^{\pm}$ - бозонов: $W^{\pm} = \frac{W_r^{(1)} \mp W_r^{(2)}}{\sqrt{2}}$ [76]. Объем информации в структуре $W^{\pm}$ - бозонов 1 бит.

Волновая функция фотона с круговой поляризацией $\psi_\gamma = \frac{|x\rangle + i|y\rangle}{\sqrt{2}}$ [84]. Объем информации в структуре такого фотона равен 1 бит.

Пусть волновая функция фотона γ выражается через калибровочные поля $W_r^{(3)}$ и B_r $\gamma = -W_r^{(3)} \sin\theta_W + B_r \cos\theta_W$, θ_W - угол Вайнберга ($\sin^2\theta_W \approx 0,2324$) [76, с.98]. Объем информации в таком фотоне γ равен

$$N_\gamma = -(\cos^2\theta_W \log_2 \cos^2\theta_W + \sin^2\theta_W \log_2 \sin^2\theta_W) \approx 0,78 \text{ бит.}$$

Будем считать, что волновые функции лептонов и кварков имеют простейший вид: $\varphi = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$. Объем информации в структуре лептонов и кварков – 1 бит.

Объем информации в составных элементарных частицах.

1. Объем информации в мезонах. Волновые функции мезонов приведены в [101, 102].

Псевдоскалярные мезоны (спины кварка и антикварка антипараллельны):

Волновая функция пиона π^+: $\varphi(\pi^+) = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[|\bar{n}\uparrow\rangle|p\downarrow\rangle - |\bar{n}\downarrow\rangle|p\uparrow\rangle\right]$.

Объем информации в структуре пиона π^+ – 1 бит, а объем информации в пионе π^+ – 3 бита.

Волновая функция пиона π^0:

$$\varphi(\pi^0) = \frac{1}{2}\left[|\bar{p}\uparrow\rangle|p\downarrow\rangle - |\bar{p}\downarrow\rangle|p\uparrow\rangle - |\bar{n}\uparrow\rangle|n\downarrow\rangle + |\bar{n}\downarrow\rangle|n\uparrow\rangle\right].$$

Объем информации в структуре пиона π^0 – 2 бита, а объем информации в пионе π^0 – 4 бита.

Векторные мезоны (спины кварка и антикварка параллельны).

Волновые функции мезонов:

$$\varphi\left(\rho^{+}, s_z = 0\right) = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[\left|\bar{n}\uparrow\right\rangle\left|p\downarrow\right\rangle + \left|\bar{n}\downarrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle\right],$$

$$\varphi\left(\omega, s_z = +1\right) = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[\left|\bar{p}\uparrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle + \left|\bar{n}\uparrow\right\rangle\left|n\uparrow\right\rangle\right],$$

$$\varphi\left(\omega, s_z = 0\right) = \frac{1}{2}\left[\left|\bar{p}\uparrow\right\rangle\left|p\downarrow\right\rangle + \left|\bar{p}\downarrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle + \left|\bar{n}\uparrow\right\rangle\left|n\downarrow\right\rangle + \left|\bar{n}\downarrow\right\rangle\left|n\uparrow\right\rangle\right].$$

Объем информации в структуре мезонов $\rho^{+}, s_z = 0$, $\omega(s_z = +1)$ – 1 бит, а объем информации в мезонах $\rho^{+}, s_z = 0$, $\omega(s_z = +1)$ – 3 бита. Объем информации в структуре мезона $\omega(s_z = 0)$ – 2 бита, а объем информации в мезоне $\omega(s_z = 0)$ – 4 бита.

2. Объем информации в барионах.

Волновые функции барионов [101, 102]:

$$\varphi\left(\Delta^{+}, s_z = \frac{3}{2}\right) = \frac{1}{\sqrt{3}}\left[\left|p\uparrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle\left|n\uparrow\right\rangle + \left|p\uparrow\right\rangle\left|n\uparrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle + \left|n\uparrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle\right]$$

$$\varphi\left(\Delta^{+}, s_z = \frac{1}{2}\right) = \frac{1}{3}\left[\left|p\uparrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle\left|n\downarrow\right\rangle + \left|p\uparrow\right\rangle\left|n\downarrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle + \left|n\downarrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle\right] +$$
$$+ \left|p\downarrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle\left|n\uparrow\right\rangle + \left|p\downarrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle\left|n\uparrow\right\rangle + \left|p\uparrow\right\rangle\left|n\uparrow\right\rangle\left|p\downarrow\right\rangle +$$
$$+ \left|p\downarrow\right\rangle\left|n\uparrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle + \left|n\uparrow\right\rangle\left|p\downarrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle + \left|n\uparrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle\left|p\downarrow\right\rangle.$$

Объем информации в структуре $\varphi\left(\Delta^{+}, s_z = \frac{3}{2}\right)$ равен 3,17 бита, а полный объем информации в $\varphi\left(\Delta^{+}, s_z = \frac{3}{2}\right)$ равен 6,17 бит.

Волновая функция протона со спином «вверх» [101]:

$$\varphi\left(P, s_z = \frac{1}{2}\right) = \frac{1}{\sqrt{18}}(2\left|p\uparrow\right\rangle\left|n\downarrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle + 2\left|p\uparrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle\left|n\downarrow\right\rangle + 2\left|n\downarrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle -$$
$$- \left|p\uparrow\right\rangle\left|p\downarrow\right\rangle\left|n\uparrow\right\rangle - \left|p\uparrow\right\rangle\left|n\uparrow\right\rangle\left|p\downarrow\right\rangle - \left|p\downarrow\right\rangle\left|n\uparrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle -$$
$$\left|n\uparrow\right\rangle\left|p\downarrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle - \left|n\uparrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle\left|p\downarrow\right\rangle - \left|p\downarrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle\left|n\uparrow\right\rangle).$$

Волновая функция нейтрона со спином «вверх» [101]:

$$\varphi\left(N, s_z = \frac{1}{2}\right) = \frac{1}{\sqrt{18}}(-2\left|n\uparrow\right\rangle\left|p\downarrow\right\rangle\left|n\uparrow\right\rangle - 2\left|n\uparrow\right\rangle\left|n\uparrow\right\rangle\left|p\downarrow\right\rangle - 2\left|p\downarrow\right\rangle\left|n\uparrow\right\rangle\left|n\uparrow\right\rangle +$$

$$+\left|p\uparrow\right\rangle\left|n\downarrow\right\rangle\left|n\uparrow\right\rangle-\left|n\uparrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle\left|n\downarrow\right\rangle+\left|n\downarrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle\left|n\uparrow\right\rangle+$$
$$+\left|n\uparrow\right\rangle\left|n\downarrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle+\left|p\uparrow\right\rangle\left|n\uparrow\right\rangle\left|n\downarrow\right\rangle+\left|n\downarrow\right\rangle\left|n\uparrow\right\rangle\left|p\uparrow\right\rangle)\,.$$

Объем информации в структуре протона и нейтрона равен 2,837 бита. Полная неопределенность (объем информации) в протоне и нейтроне содержится в структуре протона (нейрона) и в кварках (по 1 биту в каждом) и равна 5,837 бит.

Примечание 8.1. Дополнительная неопределенность в нейтроне определяется конечным временем его жизни. Пусть $F(t)=\exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$ - функция распределения этого времени. $\tau \propto 10^3$ с – среднее время жизни нейтрона. Тогда дополнительная неопределенность нейтрона равна $\log_2 e\cdot\frac{\tau}{\tau_M}$, где τ_M – масштаб времени.

Объем информации в элементарных частицах с учетом цветов кварков. Цвет каждого кварка имеет 3 возможных значения, обычно это красный (к), зеленый (з) и синий (с), а волновая функция бозона ψ представляется как произведение антисимметричной цветовой функции и симметричной пространственной-спиновой-ароматовой.

$$\psi = \psi_{\text{антисим}}(\text{цвет})\cdot\psi_{\text{сим}}(\text{простр., спин, аромат}).$$

Волновая функция, описывающая цветовую структуру мезонов, имеет вид [102-104]:

$$\psi_{мез}=\frac{1}{\sqrt{3}}(K_{q1}\cdot\overline{K}_{\overline{q}1}+З_{q2}\cdot\overline{З}_{\overline{q}2}+C_{q3}\cdot\overline{C}_{\overline{q}3})$$

где $к_{q1}$ - красное состояние, $з_{q2}$ - зеленое состояние, а $с_{q3}$ - синее состояние.

Соответственно, волновая функция, описывающая цветовую структуру барионов, имеет вид [102-104]:

$$\psi_{бар}=\frac{1}{\sqrt{6}}(K_{q1}\cdot З_{q2}\cdot C_{q3}-K_{q1}\cdot C_{q2}\cdot З_{q3}+C_{q1}\cdot K_{q2}\cdot З_{q3}-$$
$$-C_{q1}\cdot З_{q2}\cdot K_{q3}+З_{q1}\cdot C_{q2}\cdot K_{q3}-З_{q1}\cdot K_{q2}\cdot C_{q3})\,.$$

Очевидно, что цвет добавляет информацию: для мезонов - $\log_2 3 = 1{,}584962501 \approx 1{,}585$ бит; для барионов – $\log_2 6 \approx 2{,}585$ бит.

Уточним оценки объемов информации в элементарных частицах с учетом цветов кварков.

- Объем информации в структуре пиона π^+ – 1 бит, в кварках – 2 бита, цветовой информации – 1,585 бит. Полный объем информации в пионе π^+ – 4,585 бита.
- Объем информации в структуре пиона π^0 – 2 бита, в кварках – 2 бита, цветовой информации – 1,585 бит. Полный объем информации в пионе π^0 – 5,585 бита.

Объем информации в структуре мезонов ρ^+, $\omega(s_z = +1)$ – 1 бит, в кварках – 2 бита, цветовой информации – 1,585 бит. Полный объем информации в мезонах ρ^+, $\omega(s_z = +1)$ – 4,585 бита.

Объем информации в структуре мезона $\omega(s_z = 0)$ – 2 бита, в кварках – 2 бита, цветовой информации – 1,585 бит. Объем информации в мезоне $\omega(s_z = 0)$ – 5,585 бит.

Объем информации в структуре $\varphi\left(\Delta^+, s_z = \frac{3}{2}\right)$ – 3,17 бита, в кварках – 3 бита, цветовой информации - 2,585 бит. Полная неопределенность (объем информации) в структуре $\varphi\left(\Delta^+, s_z = \frac{3}{2}\right)$ – 8,755 бит.

Объем информации в структуре протона и нейтрона равна 2,837 бит. Если учесть неопределенность ориентации спина, то следует добавить 1 бит – 3,837 бит. Объем информации в кварках (по 1 биту в каждом) – 3 бита, цветовой информации – 2,585 бит. Следовательно, полный объем информации в протоне и нейтроне содержится в структуре протона (нейтрона), в кварках и в цвете и равен 9,422 бит.

Объем информации в атомах. Объем информации в атоме обычного вещества I_{at} равен сумме объема информации в протонах $N_p I_p$, нейтронах $N_n I_n$, электронах $N_e I_e$ и информации в структуре атома $I_{str\ at}$

$$I_{at} = N_p I_p + N_n I_n + N_e I_e + I_{str\ at}.$$

Здесь N_p - количество протонов в атоме (заряд, порядковый номер атома);

I_p - объем информации в протоне;

N_n - количество нейтронов в атоме;

I_n - объем информации в нейтроне;

N_e - количество электронов в атоме $N_e = N_p$;

I_e - объем информации в электроне.

Масса атома M_{at} примерно равна

$$M_{at} = N_p m_p + N_n m_n + N_e m_e \approx (N_p + N_n) m_p ,$$

где m_p, m_n, m_e - массы протона, нейтрона, электрона, а объем информации на единицу массы атома равен

$$I_{at/m} = \frac{I_{at}}{M_{at}} = \frac{N_p I_p + N_n I_n + N_e I_e + I_{str\,at}}{N_p m_p + N_n m_n + N_e m_e}$$

Объем информации в структуре атома водорода равен 1 биту.
Объем информации в структуре атома (без учета структуры ядра) равен числу орбиталей и числу пар электронов, умноженному на 1 бит.

Для атома водорода легко оценить объем информации в структуре атома по его волновой функции. Волновые функции, описывающие состояния водорода в нулевом магнитном поле, соответствующие разным энергетическим уровням ($|I\rangle, |II\rangle, |III\rangle$ – уровни с одинаковой максимальной энергией, $|IV\rangle$ - основной уровень с минимальной энергией) имеют вид [84]:

$$\left.\begin{array}{c} |I\rangle = |\uparrow\uparrow\rangle \\ |II\rangle = \dfrac{|\uparrow\downarrow\rangle + |\downarrow\uparrow\rangle}{2} \\ |III\rangle = |\downarrow\downarrow\rangle \end{array}\right\} \text{ спин 1.}$$

$$|IV\rangle = \frac{|\uparrow\downarrow\rangle - |\downarrow\uparrow\rangle}{2} \text{ спин 0.}$$

В состоянии $|\uparrow\downarrow\rangle$ первый знак означает направление спина электрона, второй –протона (спин электрона направлен вверх, спин про-

тона направлен вниз).

В структуре состояний $\left|I\right\rangle$, $\left|III\right\rangle$ объем информации – 0 бит, а как показано ранее, в структуре состояний $\left|II\right\rangle$, $\left|IV\right\rangle$ – 1 бит.

Таким образом, атом водорода в основном состоянии ($\left|IV\right\rangle$) содержит 11,422 бит (1 бит в структуре атома, 9,422 бит в протоне и 1 бит в электроне).

Для оценки объемов информации, соответствующих структуре остальных атомов, необходимо знать их волновые функции.

В таблице 8.1 дана оценка объема информации в атомах (водород-азот) без учета структуры ядер атомов.

Объем информации в атоме примерно равен $I_{at} \approx (N_p + N_n) \cdot 10{,}422$ (при учете объема информации в составных частях атома: протонах, нейтронах, электронах). Поскольку масса атома примерно равна $M_{at} \approx (N_p + N_n) m_p$, то $\frac{M_{at}}{m_p} \approx (N_p + N_n)$ и объем информации в атоме примерно равен $I_{at} \approx \frac{10{,}422}{m_p} \cdot M_{at}$, что справедливо для всех атомов.

Объем информации в атомах (протонах, нейтронах и электронах) представлен в таблице 8.2. Характеристики элементов взяты из таблицы Менделеева, приведенной в [105].

Таблица 8.1

Оценка объема информации в атомах (водород-азот) без учета структуры ядер атомов

Заряд (атомный номер)	Масса	Число протонов	Число нейтронов	Число электронов	Число орбиталей	Число пар электронов на одних орбиталях с разными спинам
1	2	3	4	5	5	7
1	1,0079	1	0	1	1	0
2	4,0026	2	2	2	1	1
3	6,941	3	3	3	2	1

4	9,0121	4	5	4	2	2
5	10,811	5	5	5	3	2
6	12,011	6	6	6	3	3

(Таблица 8.1. Продолжение столбцов)

Объем информации связи "ядро-орбиталь" (бит)	Объем информации в спинах пары электронов орбитали (бит)	Объем информации в атоме (бит)	Объем информации в частицах атома (бит)	Объем информации в структуре атома (бит)
8	9	10	11	12
1	1	11,422	10,422	1
1	1	41,688	39,688	4
1	1	62,532	56,532	6
1	1	92,798	84,798	8
1	1	104,22	94,22	10
1	1	125,064	113,064	12

Таблица 8.2

Оценка объема информации в атомах

Обозначение элемента, порядковый номер	Название элемента	Заряд (атомный номер) - число протонов, электронов	Масса	Число нейтронов	Объем информации в атомах (в неориентированных протонах, нейтронах и электронах с учетом цвета кварков) (в битах)

1	2	3	4	5	6
H 1	Водород	1	1,00794	0	10,422
He 2	Гелий	2	4,0026	2	39,688
Li 3	Литий	3	6,941	3	56,532
Be 4	Бериллий	4	9,01218	5	84,798
B 5	Бор	5	10,811	5	94,22
C 6	Углерод	6	12,011	5	113,064
N 7	Азот	7	14,0067	7	138,908
O 8	Кислород	8	15,9994	7	149,33
F 9	Фтор	9	18,9984	8	169,174
Ne 10	Неон	10	20,179	10	198,44
Na 11	Натрий	11	22,9897	11	218,284
Mg 12	Магний	12	24,305	12	238,128
Al 13	Алюминий	13	26,9815	13	257,972
Si 14	Кремний	14	28,0855	14	277,816
P 15	Фосфор	15	30,9737	15	297,66
S 16	Сера	16	32,066	16	317,504
Cl 17	Хлор	17	35,453	18	346,77
Ar 18	Аргон	18	39,948	21	385,458
K 19	Калий	19	39,0983	20	386,458
Ca 20	Кальций	20	40,078	20	396,88
Sc 21	Скандий	21	44,9559	23	435,568
Ti 22	Титан	22	47,88	25	464,834
V 23	Ванадий	23	50,9415	27	494,1
Cr 24	Хром	24	51,9961	27	504,522
Mn 25	Марганец	25	54,938	29	533,788
Fe 26	Железо	26	55,847	29	544,21
Co 27	Кобальт	27	58,9332	31	573,476
Ni 28	Никель	28	58,69	30	574,476

1	2	3	4	5	6
Cu 29	Медь	29	63,546	34	622,586
Zn 30	Цинк	30	65,39	35	642,43
Ga 31	Галлий	31	69,723	38	681,118
Ge 32	Германий	32	72,59	40	710,384
As 33	Мышьяк	33	74,9216	41	730,228
Se 34	Селен	34	78,96	44	768,916
Br 35	Бром	35	79,904	44	779,338
Kr 36	Криптон	36	83,8	47	818,026
Rb 37	Рубидий	37	85,4678	48	837,87
Sr 38	Стронций	38	87,62	49	857,714
Y 39	Иттрий	39	88,9059	49	868,136
Zr 40	Цирконий	40	91,224	51	897,402
Nb 41	Ниобий	41	92,9064	51	907,824
Mo 42	Молибден	42	95,94	53	937,09
Tc 43	Технеций	43	97,9072	54	956,934
Ru 44	Рутений	44	101,07	57	995,622
Rh 45	Родий	45	102,905	57	1006,044
Pd 46	Палладий	46	106,42	60	1044,732
Ag 47	Серебро	47	107,868	60	1055,154
Cd 48	Кадмий	48	112,41	64	1103,264
In 49	Индий	49	114,82	65	1123,108
Sn 50	Олово	50	118,71	68	1161,796
Sb 51	Сурьма	51	121,75	70	1191,062
Te 52	Теллур	52	127,6	75	1248,594
I 53	Иод	53	126,904	73	1240,172
Xe 54	Ксенон	54	131,29	77	1288,282
Cs 55	Цезий	55	132,905	77	1298,704
Ba 56	Барий	56	137,33	81	1346,814

1	2	3	4	5	6
La* 57	Лантан	57	138,905	81	1357,236
Ce 58	Церий	58	140,12	82	1377,08
Pr 59	Празеодим	59	140,9	81	1378,08
Nd 60	Неодим	60	144,24	84	1416,768
Pm 61	Прометий	61	147	86	1446,034
Sm 62	Самарий	62	150,35	88	1475,3
Eu 63	Европий	63	151,96	88	1485,722
Gd 64	Гадолиний	64	157,25	93	1543,254
Tb 65	Тербий	65	158,92	93	1553,676
Dy 66	Диспрозий	66	162,5	96	1592,364
Ho 67	Гольмий	67	164,93	97	1612,208
Er 68	Эрбий	68	167,26	99	1641,474
Tm 69	Тулий	69	168,93	99	1651,896
Yb 70	Иттербий	70	173,04	103	1700,006
Lu 71	Лютеций	71	174,97	103	1710,428
Hf 72	Гафний	72	178,49	106	1749,116
Ta 73	Тантал	73	180,947	107	1768,96
W 74	Вольфрам	74	183,85	109	1798,226
Re 75	Ренетий	75	186,207	111	1827,492
Os 76	Осмий	76	190,2	114	1866,18
Ir 77	Иридий	77	192,22	115	1886,024
Pt 78	Платина	78	195,08	117	1915,29
Au 79	Золото	79	196,966	117	1925,712
Hg 80	Ртуть	80	200,59	120	1964,4
Ti 81	Таллий	81	204,383	123	2003,088
Pb 82	Свинец	82	207,2	125	2032,354
Bi 83	Висмут	83	208,982	125	2042,776
Po 84	Полоний	84	209,987	125	2053,198

1	2	3	4	5	6
At 85	Астат	85	222,017	137	2176,684
Rn 86	Радон	86	131,29	145	2262,482
Fr 87	Франций	87	223,019	136	2188,106
Ra 88	Барий	88	226,025	138	2217,372
Ac** 89	Актиний	89	227,027	138	2227,794
Th 90	Торий	90	232,03	142	2275,904
Pa 91	Протактиний	91	231,03	140	2267,482
U 92	Уран	92	238,02	146	2334,436
Np 93	Нептуний	93	37,04	144	2326,014
Pu 94	Плутоний	94	244,06	150	2392,968
Am 95	Америций	95	243,06	148	2384,546
Cm 96	Кюрий	96	247,07	151	2423,234
Bk 97	Берклий	97	247,07	150	2424,234
Cf 98	Калифорний	98	251,07	153	2462,922
Es 99	Эйнштейний	99	252,08	153	2473,344
Fm 100	Фермий	100	257,09	157	2521,454
Md 101	Менделеевий	101	258,09	157	2531,876
No 102	Нобелий	102	259,1	157	2542,298
Lr 103	Лоуренсий	103	260,1	157	2552,72
Rf 104	Резерфордий	104	261	157	2563,142
Db 105	Дубний	105	262	157	2573,564
Sg106	Сиборговий	106	263	157	2583,986
Bh 107	Борий	107	262	157	2594,408
Hs 108	Хассий	108	265	157	2604,83
Mt 109	Мейтнерий	109	266	157	2615,252
Uun 110	Ун-ун-нулий	110	271	161	2663,362

Заметим, что в среднем в атомах на 1 бит информации используется $\approx 1{,}69 \cdot 10^{-28}$ кг массы вещества (например: в атоме водорода $\approx 1{,}6 \cdot 10^{-28}$ кг, в атоме лития $\approx 1{,}93 \cdot 10^{-28}$ кг, а средне-квадратичное отклонение равно $\approx 7{,}86 \cdot 10^{-30}$, что не превосходит 5% от среднего значения). Это примерно в $\approx 6 \cdot 10^{11}$ раз больше минимальной массы, необходимой для формирования 1 бита микроинформации при температуре 2,7К, равной $m_{\min} = \frac{kT}{c^2} \ln 2 = \frac{2{,}7k}{c^2} \ln 2 \approx 10^{-40}$ кг.

При уточнении физических моделей фундаментальных частиц оценки объемов информации в элементарных частицах и атомах также должны быть уточнены.

Объем информации в смеси атомов. Поскольку объем информации в атоме (без учета информации в его структуре) примерно равен $I_{at} \approx \frac{10{,}422}{m_p} \cdot M_{at}$, то объем информации в единице массы атома i типа (без учета информации в его структуре) равен $I_{at/m} \approx \frac{10{,}422}{m_p}$.

Объем информации в единице массы смеси атомов i типов также равен $I_{at/m} \approx 10{,}422 / m_p$.

Объем информации в молекулах. Объем информации в молекуле I_{ml} равен сумме объема информации в атомах $N_i I_{at\,i}$ и информации в структуре молекулы

$$I_{str\,ml}: \; I_{ml} = \sum N_i I_{at\,i} + I_{str\,ml},$$

где N_{iat} – количество атомов типа i в молекуле, I_{iat} – объем информации в атоме типа i.

Используем следующую оценку объема информации в структуре графа, соответствующей структуре молекулы

$$I_{граф} = \sum n_i \log_2 v_i .$$

Здесь n_i – число вершин графа степени v_i.

Масса молекулы равна $M_{ml} = \sum N_{iat} m_{iat}$, где m_{iat} – масса атомов типа i.

Объем информации на единицу массы молекулы равен

$$I_{ml/m} = \frac{I_{ml}}{M_{ml}} = \frac{\sum N_i I_{at\,i} + I_{str\,ml}}{\sum N_{iat} m_{iat}}$$

1. Оценка объема информации в структуре молекулы метана CH_4, представленной на рис. 8.1.

Объем информации в структуре графа примерно равен

$I_{граф} \approx \sum n_i \log_2 v_i$, где n_i – число вершин графа степени v_i.

Степени вершин графа, описывающего структуру молекулы метана, равны единице для вершин, соответствующих атомам водорода, и 4 для вершины, соответствующей атому углерода.

Для метана четыре вершины имеют степень 1 и одна – степень 4. Следовательно, объем информации в структуре молекулы метана равен 2 битам.

2. Оценка объема информации в структуре молекулы бутана C_4H_{10} (CH_3–CH_2–CH_2–CH_3), представленной на рис. 8.2.

Для бутана десять вершин графа имеют степень 1 и четыре – степень 4. Следовательно, объем информации в структуре молекулы бутана равен 8 битам. На единицу массы бутан содержит меньше информации, чем метан.

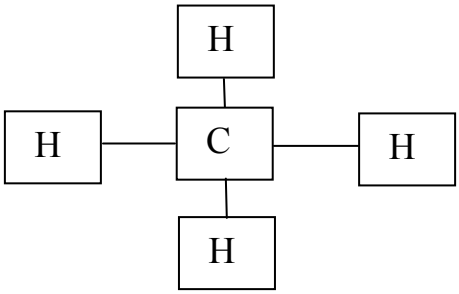


Рис. 8.1. Структура молекулы метана

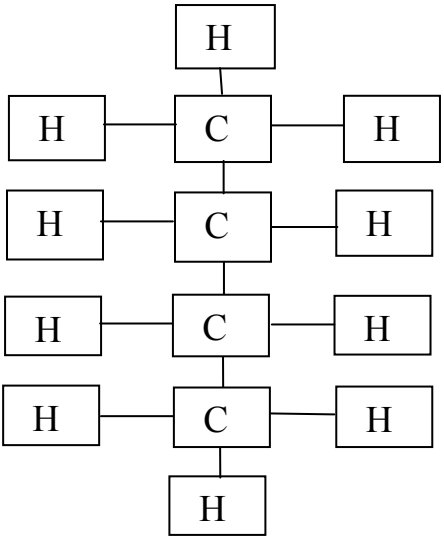


Рис. 8.2. Структура молекулы бутана

Объем информации в смеси молекул. Поскольку объем информации в молекуле равен

$$I_{ml} = \Sigma \; N_i I_{at\,i} + I_{str\,ml},$$

то объем информации в единице массы молекулы j типа равен

$$I^j{}_{ml/m} = \frac{I^j{}_{ml}}{M^j{}_{ml}},$$

а объем информации в единице массы смеси молекул j типов:

$$\Sigma\, p_j I^j{}_{ml/m} = \Sigma\, p_j \frac{I^j{}_{ml}}{M^j{}_{ml}},$$

где p_j - доля молекул j-го типа, $\Sigma \; p_j = 1$.

Объем информации в газе. Объем информации в газе общей

массы M, занимающем объем V и состоящем из молекул массы m объема v, равен объему информации в молекулах газа плюс суммарная пространственная неопределенность молекул газа или количеству молекул в газе $n = \frac{M}{m}$, умноженному на объем информации в молекуле I_m плюс $I_{пр} = \log_2\left(\frac{V}{v}\right)$, т.е.

$$I_г = \frac{M}{m}(I_m + \log_2\left(\frac{V}{v}\right)).$$

Объем информации в плазме. Объем информации в одноэлектронной плазме общей массы M, образованной из молекул газа массы m объема v и занимающем объем V, равен объему информации в ионах и электронах плазмы плюс суммарная пространственная неопределенность всех ионов и электронов плазмы или количеству молекул в газе $n = \frac{M}{m}$, умноженному на объем информации в молекуле I_m плюс $I_{пр} = 2\log_2\left(\frac{V}{v}\right)$, т.е.

$$I_{пл} = \frac{M}{m}(I_m + 2\log_2\left(\frac{V}{v}\right)).$$

Объем информации в жидкости. Объем информации в жидкости общей массы M, состоящей из молекул массы m объема v и занимающей объем V, равен объему информации в молекулах жидкости плюс суммарная пространственная неопределенность молекул жидкости или количеству молекул в жидкости $n = \frac{M}{m}$, умноженному на объем информации в молекуле I_m плюс $I_{пр} = \log_2\left(\frac{V}{v}\right)$, т.е.

$$I_{ж} = \frac{M}{m}(I_m + \log_2\left(\frac{V}{v}\right)).$$

Примечание 8.2. Необходимо иметь в виду, что не всегда необходимо учитывать полный объем информации в жидкости, включающий информацию в молекулах и пространственную неопределенность, информацию о положении молекул, не всегда необходимо

учитывать. При сравнении разных типов молекул, прежде всего необходимо учитывать информацию, содержащуюся в молекулах, а при сравнении характеристик и анализе свойств жидкости не нужно учитывать пространственную неопределенность ее молекул (она не влияет на характеристики и свойства жидкости).

Объем информации в твердом теле. Объем информации в твердом теле общей массы M, состоящем из молекул массы m, равен объему информации в молекулах твердого тела плюс объем информации в структуре твердого тела или количеству молекул в твердом теле $n = \frac{M}{m}$, умноженному на объем информации в молекуле I_m плюс объем информации в структуре графа твердого тела $I_{граф\,\text{тт}} \approx \sum n_i \log_2 v_i$, где n_i – число вершин графа степени v_i. В случае кристалла $v_i = v$ и $I_{граф\,\text{кр}} \approx n \log_2 v$.

Следовательно, объем информации в кристалле равен

$$I_{кр} \approx \frac{M}{m}(I_m + \log_2 v).$$

Сравним объем информации в кристалле алмаза и кристалле графита. Кристалл алмаза состоит из кубических элементарных ячеек и описывается двумя параметрами $a = b = c;\ \alpha = \beta = \gamma = 90^{\circ}$, а кристалл графита состоит из ромбических $a \neq b \neq c;\ \alpha = \beta = \gamma = 90^{\circ}$ или гексагональных $a = b \neq c;\ \alpha = \beta = 90^{\circ};\ \gamma = 120^{\circ}$ элементарных ячеек и описывается четырьмя параметрами. Следовательно, объем информации в структуре алмаза на одну ячейку меньше, чем в структуре графита, примерно на 1,58 – 1,0 = 0,58 бит.

Столь небольшая разница в объеме информации в алмазе и графите дает колоссальную разницу в физических характеристиках алмаза и графита.

Примечание 8.3. Данные свойства кристалла следуют из закона простоты сложных систем: более простой вариант системы из атомов углерода (кристалл из атомов углерода – алмаз) обладают лучшими характеристиками, чем другой более сложный вариант системы (кристалл из атомов углерода – графит).

9. ОЦЕНКА ОБЪЕМА ИНФОРМАЦИИ В КОСМОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

9.1. Классификация и изучение массы (энергии) на основе информационных характеристик

В настоящее время ведутся исследования природы и свойств темной материи и темной энергии, определяющих большую часть массы Вселенной. В работе Н.С. Кардашева [106] приведены сведения о распределении масс во Вселенной и используемых методах исследований.

Об информационных характеристиках материи и энергии. Как уже отмечалось, информация, в общем случае, – это устойчивая определенное время неоднородность, мерой которой является информационная энтропия Шеннона [7]. Примерами подобных неоднородностей материи являются структурные элементы Вселенной: кварки, лептоны, элементарные частицы, ядра, атомы, молекулы, жидкости, кристаллы, звезды, галактики и их скопления, нейтринные «блины», электромагнитное поле и т.п. Неустойчивые неоднородности, в частности, случайные флуктуации, не формируют информацию. Расширяясь, Вселенная формирует информацию в силу закона сохранения неопределенности [4, 9, 19].

Объем информации в черной дыре. В черной дыре массы $M_{ЧД}$ содержится количество энтропии $S_{ЧД}$, равное $S_{ЧД} = \frac{2\pi \cdot k \cdot G}{\hbar \cdot c} M_{ЧД}{}^2$ [58, стр. 278, 111]. Следовательно, в черной дыре массы $M_{ЧД}$ содержится информация объема $I_{ЧД} = \frac{2\pi \cdot G}{\hbar \cdot c} M_{ЧД}{}^2$ нат или $I_{ЧД} = \frac{2\pi \cdot G}{\hbar \cdot c \cdot \ln 2} M_{ЧД}{}^2$ бит, т.е. объем информации, содержащейся в черной дыре, пропорционален квадрату ее массы.

Объем информации в обычном веществе. Для оценки объема информации в обычном веществе используем сведения, приведенные в [44, 64, 86]. Так как на один бит требуется энергия, равная $E_{1\,\text{бит Ов}} = kT \ln 2$, и масса, равная $m_{1\,\text{бит Ов}} = \frac{E_{1\,\text{бит Ов}}}{c^2} = \frac{kT \ln 2}{c^2}$, то в обычном веществе массы $M_{Ов}$ содержится количество бит $I_{Ов}$ рав-

ное

$$I_{Ов} = \frac{M_{Ов}}{m_{1\,\text{бит Ов}}} = \frac{c^2}{k \cdot T \cdot \ln 2} M_{Ов},$$

т.е. объем информации в обычном веществе пропорционален его массе.

Объем информации в темной материи. К сожалению, пока не существует общепризнанной модели, описывающей степень неоднородности темной материи, поэтому привести выражение взаимосвязи между объемом информации $I_{TM} = f(M)$ в темной материи и ее массой пока невозможно. Из того, что масса темной материи значительно больше массы обычного вещества, а существенных неоднородностей темной материи не наблюдается, можно утверждать, что $f(M) << \kappa \cdot M$. Если темную материю составляют частицы аналогичные обыкновенному веществу, то $\kappa_{TM} \cdot M << \kappa_{Ов} \cdot M$ или $\kappa_{TM} << \kappa_{Ов}$.

Объем информации в темной энергии. Считаем, что темная энергия (вакуум) распределена равномерно:

$P(x) = \begin{Bmatrix} 0 \text{ при } -\infty < x \le 0 \\ \frac{1}{\text{a}} \text{ при } \ 0 < x \le a \\ 0 \text{ при } \ a < x \le \infty \end{Bmatrix}$, тогда объем информации, сосредоточенной в темной энергии, равен нулю $I = 0$.

Примечание 9.1. Оценка информационной дивергенции, пропорциональность энтропии и информации обосновывают утверждение А.Д. Сахарова «Нулевую энтропию имеет, по определению, вакуум» [107].

Черные дыры, нейтронные звезды (белые карлики), обычное вещество, темная материя и темная энергия с информационной точки зрения представляют собой значительно различающиеся объекты. Поскольку масса эквивалентна энергии, то можно утверждать, что имеется несколько типов массы (энергии):

- масса (энергия) черной дыры, порождающая неоднородности (информацию) в объеме, пропорциональном квадрату массы (энергии);
- масса (энергия) нейтронной звезды (белого карлика), порождающая неоднородности (информацию) в объеме, пропорциональном массе (энергии) плюс логарифм массы (энергии);

- масса (энергия) обычного вещества, порождающая неоднородности (информацию) в объеме, пропорциональном массе (энергии);
- масса (энергия) темной материи, порождающая неоднородности (информацию) в объеме, существенно меньшем, чем обычное вещество;
- масса (энергия) темной энергии, не порождающая неоднородности.

Связь между массой (энергией) и информацией позволяет получать новые сведения о Вселенной, ее развитии.

9.2. Информационная модель черной дыры

Как уже отмечалось, в черной дыре массы $M_{Чд}$ содержится количество информации $I_{Чд} = \frac{2\pi \cdot G}{\hbar \cdot c} M_{Чд}^2$ нат, или $I_{Чд} = \frac{2\pi \cdot G}{\hbar \cdot c \cdot \ln 2} M_{Чд}^2$ бит. Объем информации, содержащейся в черной дыре, пропорционален квадрату ее массы. Как это объяснить?

Предположим, что в черной дыре содержится n попарно взаимодействующих частиц (кубитов). Тогда квадратичную зависимость объема информации в черной дыре от ее массы можно объяснить тем, что каждое взаимодействие несет 1 бит информации.

Каждый кубит имеет волновую функцию $\psi_i = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0_i\rangle + |1_i\rangle)$, где ($|0_i\rangle, |1_i\rangle$ - базисные состояния i-го кубита). Информация связи каждой пары взаимодействующих кубитов i, j равна одному биту. Объем информации связи в черной дыре, описываемой волновой функцией

$$\psi_n = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0_1\rangle|0_2\rangle...|0_n\rangle + |1_1\rangle|1_2\rangle...|1_n\rangle),$$

содержащей n частиц, равен $I_n = \frac{n \cdot (n-1)}{2}$ бит. Очевидно, что при $n >> 1$ объем информации в черной дыре пропорционален квадрату массы черной дыры $I_n \approx \frac{n^2}{2}$. Черная дыра, состоящая из n частиц, содержит информации на n бит больше, чем черная дыра, состоящая из $n-1$ частицы:

$$I_n - I_{n-1} = \frac{n\cdot(n+1)}{2} - \frac{(n-1)\cdot n}{2} = n\,.$$

Из сопоставления оценок квадратов массы черной дыры: $M^2_{Чд} = \frac{\hbar\cdot c\cdot \ln 2}{2\pi\cdot G}\cdot I_{Чд}$ (из космологической формулы [58, 106]) и $M^2_{Чд} = n^2\cdot m_0^2$ (где n – число частиц массы m_0, составляющих черную дыру) следует, что $M^2_{Чд} = n^2\cdot m_0^2 = \frac{\hbar\cdot c\cdot \ln 2}{2\pi\cdot G}\cdot I_{Чд}$, а т.к. $I_{Чд} \approx \frac{n^2}{2}$, то $n^2\cdot m_0^2 = \frac{\hbar\cdot c\cdot \ln 2}{2\pi\cdot G}\cdot\frac{n^2}{2}$ или $m_0^2 = \frac{1}{4\pi}\cdot\frac{\hbar\cdot c\cdot \ln 2}{G}$.

В результате получаем следующую оценку массы частиц, входящих в состав черных дыр: $m_0 = \frac{\sqrt{\ln 2}}{2\sqrt{\pi}}\sqrt{\frac{\hbar\cdot c}{G}} = \frac{\sqrt{\ln 2}}{2\sqrt{\pi}}\sqrt{\frac{h\cdot c}{2\pi\cdot G}}$, которая по порядку величины совпадает с планковской массой

$$m_{Пл} = \sqrt{\frac{\hbar\cdot c}{G}} \approx 2{,}17\cdot 10^{-5}\ \text{г:}\ m_0 = \frac{\sqrt{\ln 2}}{2\sqrt{\pi}}\,m_{Пл} \approx 0{,}23\sqrt{\frac{\hbar\cdot c}{G}} = 5{,}09\cdot 10^{-6}\ \text{г.}$$

Следовательно, черная дыра представляет собой совокупность частиц (черных частиц), каждая из которых имеет массу, равную 0,23 планковской массы, и информационно взаимодействует со всеми остальными черными частицами, входящими в состав черной дыры [19].

9.3. Об образовании и слиянии черных дыр

Физике черных дыр посвящается все возрастающее количество исследований, например, см. [109]. Следует выделить работу [108] и ее последующие издания. В них, в том числе, рассматриваются вопросы образования, развития и слияния черных дыр. Используется математический аппарат общей теории относительности и квантовой механики (квантовой гравитации). Развиваемый автором информационный подход дает возможность «посмотреть на черные дыры с другой стороны» и получить о них сведения, дополняющие известные результаты, полученные в настоящее время физическими методами. А именно: оценки необходимого для образования черных дыр количества элементарных частиц и квантов излучения, оценки масс черных дыр, формируемых при взрывах сверхновых, оценки массы

черных дыр, формируемых путем слияния нескольких черных дыр в присутствии обычного вещества и т.д.

Информационные ограничения на образование и увеличение массы черных дыр. Информационные ограничения на образование черных дыр и увеличение их массы определяются законом сохранения неопределенности (информации) [4, 9, 19]. Предположим, что во Вселенной имеется k_i черных дыр ($\sum k_i = K$) массы $M_i = n_i m_0$. Объем информации в i-той черной дыре равен $I_{Чд\,i} = \frac{n_i(n_i+1)}{2} \approx \frac{n_i^2}{2}$ бит, а суммарный объем информации в черных дырах равен

$$I_{Чд} = \sum_{i=1}^{k} I_{Чд\,i} = \sum_{i=1}^{k} \frac{n_i(n_i+1)}{2} \approx \sum_{i=1}^{k} \frac{n_i^2}{2}.$$

Кроме того, предположим, что во Вселенной имеется N частиц обычного вещества, каждая из которых содержит m бит информации. Объем информации в обычном веществе равен $I_{Ов} = Nm$. Суммарный объем информации во Вселенной (обычном веществе и в черных дырах) равен

$$I = I_{Ов} + I_{Чд} = Nm + \sum_{i=1}^{k} I_{Чд\,i} = N + \sum_{i=1}^{k} \frac{n_i(n_i+1)}{2} \approx N + \sum_{i=1}^{k} \frac{n_i^2}{2}.$$

Из закона сохранения неопределенности (информации) следует, что объем информации в рассматриваемой изолированной системе при произвольных внутренних превращениях не может измениться.

Излучение и поглощение обычного вещества черной дырой. Предположим, что в начальный момент времени черная дыра состоит из n черных частиц, имеет массу $M_n = n \cdot m_0$ и содержит $I_n = \frac{n \cdot (n+1)}{2}$ бит информации. Масса черной дыры изменяется (увеличивается или уменьшается) черными частицами (квантами) $\Delta M = m_0$. Так как каждая черная частица имеет субпланковскую массу m_0, то изменение энергии черной дыры при этом равно $\Delta E = m_0 c^2$. При излучении одной черной частицы масса черной дыры становится равной $M_n = (n-1) \cdot m_0$. При этом, в ней останется объем информации,

равный $I_{n-1} = \frac{(n-1)\cdot n}{2}$ бит, а изменение (потеря) информации в черной дыре составляет n бит.

Для дальнейших оценок процессов поглощения и излучениия используем законы сохранения неопределенности (информации) и энергии. В соответствии с законом сохранения неопределенности (информации) изменение в системе «черная дыра массы $M_n = n \cdot m_0$ – внешняя среда» при излучении одной черной частицы должно компенсироваться появлением n частиц, содержащих 1 бит каждая: $I_n - I_{n-1} = n$ бит. Будем считать, что появилось n фотонов, частотой ν и энергией $h\nu$.

В силу закона сохранения энергии $n \cdot h\nu = m_0 c^2$ и $\nu = \frac{m_0 c^2}{n \cdot h}$.

Так как $n = \frac{M}{m_0}$, то $\nu = \frac{m_0^2 c^2}{M \cdot h}$. Поскольку $m_0 = \frac{\sqrt{\ln 2}}{2\sqrt{\pi}}\sqrt{\frac{\hbar \cdot c}{G}}$, то частота излученного фотона равна $\nu = \frac{m_0^2 c^2}{M \cdot h} = \frac{\ln 2}{8\pi^2}\frac{c^3}{M \cdot G}$. В численных значениях $\nu = \frac{1}{n} \cdot \frac{\sqrt{\ln 2}}{4\pi\sqrt{\pi}}\sqrt{\frac{c^5}{\hbar \cdot G}} = \frac{0{,}69 \cdot 10^{42}}{n}$ 1/с,

а так как $t_{Пл} = \sqrt{\frac{\hbar \cdot G}{c^5}} \approx 5{,}41 \cdot 10^{-44}$ с, то $\nu = \frac{1}{n} \cdot \frac{\sqrt{\ln 2}}{4\pi\sqrt{\pi} \cdot t_{Пл}}$.

Обозначим $\nu_0 = \frac{\sqrt{\ln 2}}{4\pi\sqrt{\pi}}\frac{1}{t_{Пл}} = \frac{\sqrt{\ln 2}}{4\pi\sqrt{\pi}}\sqrt{\frac{c^5}{\hbar \cdot G}} \approx 0{,}68 \cdot 10^{42}$ 1/с. Тогда $\nu = \frac{\nu_0}{n}$.

В случае черной дыры, содержащей одну черную частицу, частота излучения максимальна и обратно пропорциональна планковской единице времени.

Примечание 9.2. В общем случае должно появиться n фотонов, имеющих частоты ν_i, с суммарной информацией, равной n бит, и суммарной энергией $h\sum_{i=1}^{n}\nu_i = m_0 c^2$.

Примечание 9.3. В общем случае должно появиться k частиц, с суммарной информацией, равной n бит и суммарной энергией $m_0 c^2$.

Аналогичные зависимости справедливы при поглощении фотонов черными дырами.

В соответствии с законом сохранения неопределенности (информации) изменение в системе «черная дыра массы $M_{n-1} = (n-1)\cdot m_0$ – внешняя среда» при увеличении массы черной дыры на массу одной черной частицы должно быть обусловлено поглощением n частиц, содержащих 1 бит каждая: $I_n - I_{n-1} = n$ бит. Будем считать, что поглотилось n фотонов частотой ν и энергией $h\nu$. В силу закона сохранения энергии $n \cdot h\nu = m_0 c^2$.Частота каждого поглощенного фотона должна быть равна

$$\nu = \frac{1}{n} \cdot \frac{\sqrt{\ln 2}}{4\pi\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{c^5}{\hbar \cdot G}} = \frac{0{,}69 \cdot 10^{42}}{n} \text{ 1/c.}$$

В случае черной дыры, содержащей одну черную частицу, частота поглощения максимальна и обратно пропорциональна планковской единице времени.

Имея оценки распределения черных дыр по массам, можно вычислить интенсивности суммарного распределения излучения черных дыр по частотам и сравнить их с экспериментальными результатами. Из полученного выражения для частоты излучения следует оценка температуры излучения черной дыры.

Вычислим температуру излучения черной дыры. Температура теплового излучения абсолютно черного тела связана со средней энергией излучения $h\nu = 2{,}7kT$ [127], или $T = \dfrac{h\nu}{2{,}7k}$. Поскольку

$$\nu = \frac{m_0^2 c^2}{M \cdot h} = \frac{\ln 2}{8\pi^2} \frac{c^3}{M \cdot G}, \text{ то } T = \frac{h\upsilon}{2{,}7k} = \frac{h}{2{,}7k} \frac{\ln 2}{8\pi^2} \frac{c^3}{M \cdot G} = \frac{\ln 2 \cdot \hbar \cdot c^3}{4\pi \cdot 2{,}7 \cdot k \cdot M \cdot G}.$$

Полученную оценку зависимости температуры излучения от массы черной дыры можно назвать информационной зависимостью,

совпадающей с точностью до множителя $\frac{2\ln 2}{2{,}7} \approx 0{,}51$ с оценкой Хокинга $T_H = \frac{\hbar \cdot c^3}{8\pi \cdot k \cdot G \cdot M}$, приведенной в [110].

9.4. Информационные ограничения на образование и развитие (изменение) черных дыр

Оценки объема информации в космологических объектах необходимы для формирования ограничений на их возникновение, развитие и взаимопревращения. Эти оценки базируются на основном принципе квантовой механики Цайлингера «элементарная система содержит один бит информации». Элементарными системами являются фундаментальные частицы (кварки, лептоны, фотоны).

Предположим, что из обычного вещества (излучения) образуется черная дыра массой $M_n = n \cdot m_0$, содержащая $I = \frac{n(n+1)}{2}$ бит информации, что определяет необходимость для ее образования $\frac{n(n+1)}{2}$ частиц обычного вещества (квантов излучения), каждая из которых содержит 1 бит.

Для образования черной дыры массы M кг, необходимо сформировать $n = \frac{M}{m_0}$ субпланковских частиц и использовать $\frac{n(n+1)}{2} = \frac{\frac{M}{m_0}\left(\frac{M}{m_0}+1\right)}{2} \approx \frac{M^2}{2m_0^2}$ квантов излучения.

Заметим, что для образования черной дыры солнечной массы $\approx 2 \cdot 10^{30}$ кг необходимо сформировать $n = \frac{M_c}{m_0} = \frac{2 \cdot 10^{33}}{5 \cdot 10^{-6}} = 4 \cdot 10^{38}$ субпланковских частиц и использовать $\frac{n(n+1)}{2} \approx 8 \cdot 10^{76}$ квантов излучения.

Известно, что при взрыве сверхновой энергия излучения составляет $\approx 10^{50}$ эрг (максимально) 10^{54} эрг [111, 112] и если считать, что в среднем частота излучения 10^{18} гц, то при взрыве сверхновой порождается $N = \frac{10^{50}(10^{54})}{10^{-27}10^{18}} = 10^{59}(10^{63})$ квантов излучения. Если предположить, что $\approx 100\%$ квантов излучения идет на образование черной дыры, то ее масса будет примерно равна $M \approx \sqrt{2N}m_0 = 4{,}47 \cdot 10^{29} \cdot 5 \cdot 10^{-6} \approx 2{,}3 \cdot 10^{24}$ г.

В таблице 9.1 приведены массы черных дыр, содержащих разные объемы информации.

Таблица 9.1

Характеристики черных дыр

Число поглощенных квантов излучения (объем поглощенной информации)	Число субпланковских частиц в сформировавшейся черной дыре	Масса сформировавшейся черной дыры (кг)	Примечание
1	2	3	4
1	1	5,1E-09*	Характеристики минимальной черной дыры.
1E+10	141421	0,00072	
1E+20	14142135623	71,9835	
1E+30	1,41421E+15	7198347	
1,59E+38	1,7832E+19	9,12E+10	Характеристики оптимальной черной дыры в системе «протоны – черная дыра» (см. раздел 11).
1E+40	1,4142E+20	7,2E+11	
1E+50	1,4142E+25	7,2E+16	
1E+59	1,4721E+29	2,28E+21	Характеристики черной дыры, получаемой при взрыве сверхновой с излучением 10^{50} эрг.
1E+60	1,4142E+30	7,2E+21	

1	2	3	4
1,26E+62	1,5874E+31	9,09E+22	Характеристики оптимальной черной дыры в системе «излучение – черная дыра» (см. раздел 11).
1E+63	4,4721E+31	2,28E+23	Характеристики черной дыры, получаемой при взрыве сверхновой с излучением 10^{54} эрг.
1E+70	1,4142E+35	7,2E+26	
7,72E+76	3,9292E+38	2E+30	Характеристики черной дыры солнечной массы.
1E+80	1,4142E+40	7,2E+31	
1E+90	1,4142E+45	7,2E+36	
7,72E+94	3,9292E+47	2E+39	Характеристики черной дыры массы 10^6 солнечных.
1E+100	1,4142E+50	7,2E+41	
1E+110	1,4142E+55	7,2E+46	
7,72E+100	3,9292E+50	2E+45	Характеристики черной дыры массы 10^9 солнечных.
1E+120	1,4142E+60	7,2E+51	Характеристики максимальной черной дыры.

*В настоящей таблице и далее для обозначения степени наряду с обычным представлением $a10^n$ используется Exel-представление aE+n.

Из таблицы 9.1 следует, что:

- Масса черной дыры, сформировавшейся при взрыве сверхновой звезды, близка к массе оптимальной черной дыры [19], (раздел 14 настоящей книги). Можно предположить, что при взрывах сверхновых формируются черные дыры такой массы, при которой объем информации в системе «черная дыра – обычное вещество (излучение)» близок к минимальному.
- Для образования черных дыр в миллион солнечных масс требуется объем информации, превосходящий объем информации во Вселенной (10^{90} бит) [4, 58, 74].
- Для образования черных дыр солнечной массы требуется объем информации порядка 10^{76} бит.

Из этого следует, что локально (в зоне образования черной дыры) должны реализовываться интенсивные физические процессы формирования излучения, например, взрывы сверхновых и ускорение движения релятивистских частиц.

9.5. Объем информации в нейтронных звездах и белых карликах

При оценке объема информации в нейтронной звезде следует учитывать объем информации в структуре звезды и в нейтронах. У нейтронного ферми-газа при его полном вырождении заполнены все нижние энергетические уровни вплоть до уровня Ферми, а все последующие уровни пусты. При повышении изменение распределения нейтронов по уровням незначительно: малая доля нейтронов, находящихся на уровнях, близких к уровню Ферми, переходит на пустые уровни с большей энергией, освобождая уровни, с которых был совершен переход.

Объем информации в структуре вырожденного ферми-газа равен $N\log_2(N)$ бит, где N – количество заполненных энергетических уровней (число нейтронов). В нейронной звезде N=(M/m), где M – масса нейтронной звезды, m – масса нейтрона, а объем информации в нейтроне равен примерно 9,422 бит.

Объем информации в нейтронах звезды равен 9,422N, а суммарный объем информации в нейтронной звезде (без учета информации в никеле и железе коры) равен примерно
$9{,}422(M/m) + (M/m)\log_2(M/m)$ бит, т.е. объем информации пропорционален массе, умноженной на логарифм двоичный массы. Аналогичным образом оценивается объем информации в белых карликах. Для сравнения: объем информации в обычном веществе (не взаимодействующих частицах, газе) пропорционален массе, объем информации в черной дыре пропорционален квадрату массы.

Масса нейтрона $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг. Число нейтронов в звезде массы, равной 1,0 (1,4) массы Солнца (M_{sun}), равно $\approx 1,20 \cdot 10^{57}$ ($\approx 1{,}68 \cdot 10^{57}$). Следовательно, в нейтронной звезде 1,0 (1,4) массы Солнца содержится $\approx 2,38 \cdot 10^{59}$ ($\approx 3,35 \cdot 10^{59}$) бит, т.е. в структуре нейтронной звезды содержится информации на порядок больше $\approx 2,27 \cdot 10^{59}$ ($\approx 3{,}19 \cdot 10^{59}$), чем в нейтронах $\approx 1{,}13 \cdot 10^{58}$ ($\approx 9,7 \cdot 10^{57}$).

Наиболее распространены белые карлики, состоящие из углерода и кислорода с гелиево-водородной оболочкой [113]. У белых карликов массой *0.6* M_{sun} *- 1.44* M_{sun}, радиуса порядка земного радиуса, поверхностная температура может быть относительно высока (от 100000 К до 200000 К). Главная черта строения - это ядро, гравитационное равновесие в котором поддерживается вырожденным электронным газом, свойства которого не допускают никаких дальнейших изменений его структуры. Давление вырожденного газа уравновешивает силы гравитации (при заданной массе), а потеря тепла от невырожденной компоненты вещества не меняет этого давления и сами потери относительно невелики.

Для оценки объема информации в белом карлике солнечной массы предположим, что в нем содержится примерно одинаковое количество атомов углерода и кислорода, т.е. полное число атомов в белом карлике солнечной массы равно

$$n_{Уг+К} = \frac{M_C}{(m_{Уг} + m_K)/2} \approx \frac{2 \cdot 10^{30}}{13 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}} \approx 8,55 \cdot 10^{55}.$$

Количество электронов в белом карлике солнечной массы равно $n_e \approx 5,99 \cdot 10^{56}$. Следовательно, в его структуре содержится $\approx 1,13 \cdot 10^{59}$ бит, а в атомах углерода и кислорода содержится $\approx 1,11 \cdot 10^{58}$ бит и, поэтому, в нем всего $\approx 1,24 \cdot 10^{59}$ бит.

Солнце в основном состоит из водорода (~74% от массы) и гелия (~25% от массы). Число атомов водорода $n_в$ в Солнце равно

$$n_в = \frac{M_C}{m_n} = \frac{2 \cdot 0,74 \cdot 10^{30}}{1,66 \cdot 10^{-27}} \approx 0,9 \cdot 10^{57}.$$

В атоме водорода содержится 11,422 бита. Объем информации в системе, состоящей из $n_в$ атомов водорода, равен 11,422 $n_в$ бит. Следовательно, в водороде Солнца содержится $I_B \approx 11,422 \cdot 0,9 \cdot 10^{57} \approx 10^{58}$ бит. В атоме гелия (два протона, два нейтрона, два электрона) содержится примерно 40 бит информации, а в гелии Солнца содержится

$$40n_г = 40 \cdot \frac{0,25 \cdot M_c}{m_n} = \frac{10 \cdot 2 \cdot 10^{30}}{4 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}} = \frac{5 \cdot 10^{30}}{1,66 \cdot 10^{-27}} \approx 3 \cdot 10^{57} \text{ бит.}$$

Всего в Солнце содержится $\approx 1,3 \cdot 10^{58}$ бит информации.

В нашей Галактике насчитывается свыше 10^{11} звезд, а во Вселенной 10^{11} галактик. Следовательно, в нашей галактике в звездах содержится около 10^{69} бит, а во Вселенной в звездах около 10^{80} бит информации.

9.6. Информационные ограничения на излучение и поглощение обычного вещества нейтронной звездой

Предположим, что в начальный момент времени нейтронная звезда состоит из n нейтронов, имеет массу $M_n = n \cdot m_n$ (m_n - масса нейтрона) и содержит $I_n = n \log_2 n + 9,422 \cdot n$ бит информации. Масса нейтронной звезды изменяется (увеличивается или уменьшается) нейтронами (квантами), т.е. $\Delta M = m_n$, а так как каждый нейтрон имеет массу m_n, то изменение энергии нейтронной звезды при этом равно $\Delta E = m_n c^2$. При излучении одного нейтрона масса нейтронной звезды становится равной $M_{n-1} = (n-1) \cdot m_n$ и в ней остается объем информации, равный $I_n = (n-1)\log_2(n-1) + 9,422 \cdot (n-1)$ бит. Изменение информации в нейтронной звезде

$$\Delta I_n = I_n - I_{n-1} = n \log_2 n + 9,422 \cdot n - (n-1)\log_2(n-1) - 9,422 \cdot (n-1) =$$

$$= \log_2 n + (n-1)(\log_2 n - \log_2(n-1)) + 9,422 =$$

$$= \log_2 n + (n-1)(\log_2(1 + 1/(n-1)) + 9,422 \approx \log_2 n + 9,422 \text{ (бит).}$$

Для дальнейших оценок используем закон сохранения неопределенности (информации) и закон сохранения энергии. В соответствии с законом сохранения неопределенности (информации) изменение в системе «нейтронная звезда массы $M_n = n \cdot m_n$ – внешняя среда» излучение одного нейтрона должно компенсироваться появлением

$\log_2 n + 9{,}422$ частиц, содержащих 1 бит каждая, всего $I_n - I_{n-1} = \log_2 n + 9{,}422$ бит. Будем считать, что появилось $\log_2 n + 9{,}422$ фотонов частотой ν и энергией $h\nu$.

В силу закона сохранения энергии $(\log_2 n + 9,422) \cdot h\nu = m_n c^2$ и

$$\nu = \frac{m_n c^2}{(\log_2 n + 9,422) \cdot h}.$$

Вычислим температуру излучения нейтронной звезды (информационный спектр)

$$T = \frac{h\upsilon}{k} = \frac{h}{k}\frac{m_n c^2}{(\log_2 n+9{,}422)\cdot h} = \frac{m_n c^2}{(\log_2 n+9{,}422)\cdot k} = \frac{m_n c^2}{(\log_2 \frac{M}{m_n}+9{,}422)\cdot k}.$$

Зависимость температуры излучения нейтронной звезды от ее массы (числа нейтронов в звезде) приведена в таблице 9.2.

Отметим, что приводимая оценка не учитывает наличие в нейтронных звездах других элементов, уменьшающих температуру излучения.

Таблица 9.2

Зависимость температуры излучения нейтронной звезды от массы звезды

Масса нейтронной звезды (кг)	1,67E-17	1,67E-07	1,67E+03	1,67E+13	1,67E+23	2,00E+30
Число нейтронов в звезде	1 E+10	1 E+20	E+30	10E+40	E+50	1,2 E+57
Число образующихся фотонов $\log_2 n + 6{,}8$	40,02	73,23	106,45	139,67	172,89	196,41
Температура излучения	2,55E+11	1,44E+11	9,98E+11	7,65E+10	6,21E+10	5,47E+10

Примечание 9.4. В общем случае должно появиться $\log_2 n + 9{,}422$ фотонов, частот ν_i и суммарной энергией $h \sum_{i=1}^{\log_2 n+9{,}422} \nu_i = m_n c^2$.

Примечание 9.5. В общем случае должно появиться k частиц с суммарной информацией, равной $\log_2 n + 9{,}422$ бит и суммарной энергией $m_n c^2$.

Аналогичные зависимости справедливы и при поглощении фотонов нейтронными звездами.

В соответствии с законом сохранения неопределенности (информации) изменение в системе «нейтронная звезда массы $M_{n-1} = (n-1) \cdot m_n$ – внешняя среда» при увеличении массы нейтронной звезды на массу одного нейтрона должно быть обусловлено поглощением $\log_2 n + 9{,}422$ частиц, содержащих 1 бит каждая: $I_{n+1} - I_n = \log_2 n + 9{,}422$ бит. Будем считать, что поглотилось $\log_2 n + 9{,}422$ фотонов частотой ν и энергией $h\nu$. В силу закона сохранения энергии $(\log_2 n + 6{,}8) \cdot h\nu = m_n c^2$. Частота каждого поглощенного фотона должна быть равна

$$\nu = \frac{m_n c^2}{(\log_2 n + 9{,}422) \cdot h} \text{ 1/с.}$$

Более сложные зависимости температуры излучения (информационный спектр) справедливы для белых карликов. Большая сложность моделей объясняется большей сложностью белых карликов по сравнению с нейтронными звездами и особенно с черными дырами.

9.7. Связь между дифференциальной информационной емкостью частотой и температурой излучения материи

Зависимость информации в материи от массы. Как показано ранее, существует несколько типов материи с разной зависимостью объема информации (информационной емкости) от массы, в том числе:

- линейная для обычного вещества $I \propto M$,

- квадратичная для черных дыр $I \propto M^2$,
- линейно-логарифмическая для нейтронных звезд и белых карликов $I \propto M \log_2 M$).

В общем случае зависимость объема информации (информационной емкости) материи от массы имеет вид

$$I = f(M) \text{ бит.}$$

Дифференциальная информационная емкость материи. Изменение объема информации dI в материи при изменение ее массы dM определяется дифференциалом функции $I = f(M)$

$$dI = \frac{df(M)}{dM} dM = f'(M) dM \ .$$

Производная объема информации по массе $\frac{dI}{dM} = \frac{df(M)}{dM} = f'(M)$ $\left[\frac{\text{бит}}{\text{кг}}\right]$ характеризует дифференциальную информационную емкость (дифинформёмкость) материи – изменение массы материи на единицу $dM = 1$ изменяет объем информации в материи на $dI = f'(M)$.

Примечание 9.6. Обратим внимание на следующую аналогию: теплоемкостью C тела называется отношение изменения количества теплоты dQ к вызванному этим изменению температуры dT : $\frac{dQ}{dT} = C$ или $dQ = CdT$. При $dT = 1$ изменение количества теплоты равно теплоемкости $dQ = C$.

Примечание 9.7. Информационная емкость запоминающего устройства это объем данных, которые могут храниться в запоминающем устройстве.

Для обычного вещества $I = \beta M$, $f'(M) = \beta$. Дифференциальная информационная емкость обычного вещества не зависит от его массы. Для обычного вещества, содержащего в атоме, молекуле $I_{ат,мол}$ бит информации, на 1 бит информации необходима масса $\beta = \frac{\mathrm{I}_{\text{ат, мол}}}{m_{ат,мол}}$. Поэтому $I = \frac{\mathrm{I}_{\text{ат, мол}}}{m_{ат,мол}} M$, $f'(M) = \frac{\mathrm{I}_{\text{ат, мол}}}{m_{ат,мол}}$.

Дифференциальная информационная емкость атомов разных элементов и соответственно молекул примерно одинакова.

Для черных дыр: $I = \alpha M^2$, $f'(M) = 2\alpha M$. Дифференциальная информационная емкость черной дыры прямо пропорциональна ее массе.

Для нейтронных звезд, состоящих в основном из нейтронов (объем информации в нейтроне равен 9,422 бит): $I = (M/m)(9{,}422 + \log_2(M/m))$, где m – масса нейтрона. Оценим дифференциальную информационную емкость нейтронной звезды

$$f'(M) = ((M/m)(9{,}422 + \log_2(M/m)))' =$$

$$((1/m)(9{,}422 + \log_2(M/m)) + ((M/m)(\frac{1/m}{\ln 2(M/m)}) =$$

$$= 9{,}422/m + \frac{1}{m}\log_2 e + \frac{1}{m}\log_2 M/m$$

$$= \frac{9{,}422 + \log_2 e + \log_2 M/m}{m}.$$

Дифференциальная информационная емкость нейтронной звезды примерно пропорциональна логарифму числа нейтронов, логарифму массы звезды.

Для белых карликов, состоящих в основном из элементов с порядковым номером z (числом электронов z) Объем информации в атоме рассматриваемого элемента равен I_z бит. Такие белые карлики содержат объем информации $I_{wd\ z} = I_z M/m_z + zM/m_z \log_2 zM/m_z$, где m_z – масса рассматриваемого элемента.

Оценим информационную емкость белого карлика, состоящего из элементов с порядковым номером z.

$$f'(M) = I_z/m_z + z/m_z \log_2 zM/m_z + zM/m_z \frac{z/m_z \log_2 e}{zM/m_z} =$$

$$= I_z/m_z + z/m_z \log_2 zM/m_z + z/m_z \log_2 e =$$

$$= \frac{1}{m_z}(I_z + z\log_2 e + z\log_2 zM/m_z).$$

Белые карлики, состоящие в основном из гелия (объем информации в атоме гелия равен 39,688 бит), содержат объем информации

$$I_{wd\,2} = I_2 M / m_2 + 2M / m_2 \log_2 2M / m_2 =$$

$= 39{,}688M / 4m_{a.e.} + 2M / 4m_{a.e.} \log_2 2M / 4m_{a.e.}$, где m_2 – масса атома гелия, $m_{a.e.}$ - атомная единица массы. Дифференциальная информационная емкость белого карлика, состоящего из гелия равна

$$f_2'(M) = \frac{1}{m_2}(I_2 + 2\log_2 e + 2\log_2 2M / m_2) =$$

$$\frac{1}{4m_{a.e.}}(39{,}688 + 2\log_2 e + 2\log_2 2M / 4m_{a.e.}) .$$

Дифференциальная информационная емкость белого карлика из гелия примерно пропорциональна логарифму его массы.

Белые карлики, состоящие в основном из углерода (объем информации в атоме углерода равен 113,064 бит), содержат объем информации

$$I_{wd\,6} = I_6 M / m_6 + 6M / m_6 \log_2 2M / m_6 =$$

$$= 113{,}064M / 12m_{a.e.} + 6M / 12m_{a.e.} \log_2 6M / 12m_{a.e.} .$$

Дифференциальная информационная емкость белого карлика, состоящего из углерода, равна

$$f_6'(M) = \frac{1}{m_6}(I_6 + 6\log_2 e + 6\log_2 6M / m_6) =$$

$$\frac{1}{12m_{a.e.}}(113{,}064 + 6\log_2 e + 6\log_2 6M / 12m_{a.e.}) .$$

Белые карлики, состоящие в основном из кислорода (объем информации в атоме углерода равен 149,33 бит), содержат объем информации

$$I_{wd\,8} = I_8 M / m_8 + 8M / m_8 \log_2 8M / m_8 =$$

$$= 149{,}33\,M / 16m_{a.e.} + 8M / 16m_{a.e.} \log_2 8M / 16m_{a.e.} .$$

Дифференциальная информационная емкость белого карлика, состоящего из кислорода, равна

$$f_8'(M) = \frac{1}{m_6}(I_8 + 8\log_2 e + 8\log_2 2M / m_8) =$$

$$\frac{1}{16m_{a.e.}}(149{,}33 + 8\log_2 e + 8\log_2 8M / 16m_{a.e.}) .$$

Дифференциальная информационная емкость материи и информационный спектр частоты и температуры излучения. Рассмотрим физическую систему, имеющую зависимость объема информации в материи от массы $I = f(M)$ бит. Рассмотрим процесс формирования системой излучения при потере массы. Как показано в предыдущем разделе, при потере массы ΔM система также теряет информацию ΔI: $\Delta I = f'(M)\Delta M$. Из закона сохранения неопределенности (информации) следует, что должно сформироваться $n = \Delta I$ квантов излучения, энергией $E = h\nu$ каждый и соответственно массой $m = \frac{h\nu}{c^2}$. В силу закона сохранения энергии общая масса квантов излучения равна $\Delta M = n\frac{h\nu}{c^2} = \Delta I\frac{h\nu}{c^2}$. Следовательно, $\Delta I = f'(M)\Delta I\frac{h\nu}{c^2}$ и $1 = f'(M)\frac{h\nu}{c^2}$. Частота излучения рассматриваемой системы равна $\nu = \frac{c^2}{hf'(M)}$.

Информационный спектр частоты излучения материи (спектр частоты, которую имеет излучение материи соответствующей массы) обратно пропорционален дифференциальной информационной емкости.

Будем считать, что система представляет собой абсолютно черное тело. Температура теплового излучения абсолютно черного тела связана со средней энергией излучения $h\nu = 2{,}7kT$ [127] $T = \frac{h\nu}{2{,}7k}$.

Тогда информационный спектр температуры материи (спектр температуры которую имеет излучение материи соответствующей

массы) обратно пропорционален дифференциальной информационной емкости.

$$T = \frac{c^2}{2,7kf'(M)}.$$

Для обычного вещества дифференциальная информационная емкость есть величина не зависящая от массы $f'(M) = \beta$ $\nu = \frac{kT}{h} = \frac{c^2}{h\beta}$ и $T = \frac{c^2}{2,7k\beta}$. Поскольку для обычного вещества на 1 бит информации необходимо kT энергии или $\frac{kT}{c^2}$ массы, то $\beta = \frac{c^2}{kT}$, и следовательно, для обычного вещества имеем тождества: $\nu = \frac{kT}{h} = \frac{kT}{h}$ и $T = \frac{c^2}{k\beta} = \frac{c^2}{k\frac{c^2}{kT}} = T$.

Для обычного вещества, содержащего в молекуле I бит информации, на 1 бит информации необходима масса $\beta = \frac{\mathrm{I}_{\text{ат, мол}}}{m_{ат,мол}}$.

Поэтому, $f'(M) = \frac{\mathrm{I}_{\text{ат, мол}}}{m_{ат,мол}}$ и $\nu = \frac{kT}{h} = \frac{m_{ат,\,мол}kc^2}{hI_{\text{ат, мол}}}$,

$$T = \frac{c^2}{k\frac{\mathrm{I}_{\text{ат, мол}}}{m_{ат,мол}}} = \frac{m_{ат,\,мол}c^2}{2,7k\mathrm{I}_{\text{ат, мол}}}.$$

Для черных дыр информационная емкость пропорциональна массе $f'(M) = 2\alpha M$ и $\nu = \frac{c^2}{h\alpha M}$, $T = \frac{c^2}{2,7k\alpha M}$.

Для нейтронных звезд информационная емкость пропорциональна массе плюс логарифм массы $f'_н(M) = \frac{9,422+\log_2 e+\log_2 M/m}{m}$ и информационные спектры (спектры определяемые изменением

объема информации в веществе) частоты и температуры излучения – зависимости частоты и температуры излучения от массы нейтронной звезды имеют вид:

$$\nu = \frac{mc^2}{h(9,422 + \log_2 e + \log_2 M / m)},$$

$$T = \frac{mc^2}{2,7k(9,422 + \log_2 e + \log_2 M / m)},$$

где m – масса нейтрона.

Для белых карликов, состоящих в основном из гелия (объем информации в атоме гелия равен 39,688 бит) и имеющих информационную емкость

$$f_2'(M) = \frac{1}{m_2}(I_2 + 2\log_2 e + 2\log_2 2M / m_2) =$$

$$\frac{1}{4m_{a.e.}}(39,688 + 2\log_2 e + 2\log_2 2M / 4m_{a.e.}),$$

информационные спектры частоты и температуры излучения – зависимости частоты и температуры излучения от массы белого карлика имеют вид:

$$\nu = \frac{mc^2}{h(I_2 + 2\log_2 e + 2\log_2 2M / m_2)} =$$

$$= \frac{4m_{a.e.}c^2}{h(39,688 + 2\log_2 e + 2\log_2 2M / 4m_{a.e.})},$$

$$T = \frac{m_2c^2}{2,7k(I_2 + 2\log_2 e + 2\log_2 2M / m_2)} =$$

$$= \frac{4m_{a.e.}c^2}{2,7k(39,688 + 2\log_2 e + 2\log_2 2M / 4m_{a.e.})}.$$

Для белых карликов, состоящих в основном из углерода, объем информации, в атоме которого равен 113,064 бит, информационная емкость равна

$$f_6'(M) = \frac{1}{m_6}(I_6 + 6\log_2 e + 6\log_2 2M / m_6) =$$

$$= \frac{1}{12m_{a.e.}}(113{,}064 + 6\log_2 e + 6\log_2 6M / 12m_{a.e.}),$$

информационные спектры частоты и температуры излучения – зависимости частоты и температуры излучения от массы белого карлика имеют вид

$$\nu = \frac{m_6 c^2}{h(I_6 + 6\log_2 e + 6\log_2 2M / m_6)} =$$

$$= \frac{12m_{a.e.}c^2}{h(113{,}064 + 6\log_2 e + 6\log_2 6M / 12m_{a.e.})},$$

$$T = \frac{m_6 c^2}{2{,}7k(I_6 + 6\log_2 e + 6\log_2 6M / m_6)} =$$

$$= \frac{12m_{a.e.}c^2}{2{,}7k(113{,}064 + 2\log_2 e + 2\log_2 6M / 12m_{a.e.})}.$$

Для белых карликов, состоящих в основном из кислорода объем информации, в атоме которого равен 149,33 бит, информационная емкость равна

$$f_8'(M) = \frac{1}{m_6}(I_8 + 8\log_2 e + 8\log_2 2M / m_8) =$$

$$= \frac{1}{16m_{a.e.}}(149{,}33 + 8\log_2 e + 8\log_2 8M / 16m_{a.e.}),$$

информационные спектры частоты и температуры излучения – зависимости частоты и температуры излучения от массы белого карлика имеют вид

$$\nu = \frac{m_8 c^2}{h(I_8 + 8\log_2 e + 8\log_2 2M / m_2)} =$$

$$= \frac{16 m_{a.e.} c^2}{h(149,33 + 8\log_2 e + 8\log_2 8M / 16 m_{a.e.})},$$

$$T = \frac{m_8 c^2}{2,7k(I_8 + 8\log_2 e + 8\log_2 8M / m_8)}$$

$$T = \frac{16 m_{a.e.} c^2}{2,7k(149,33 + 8\log_2 e + 8\log_2 8M / 16 m_{a.e.})}.$$

В таблицах 9.3 и 9.4 приведены оценки частоты и температуры излучения для нейтронных звезд и белых карликов, имеющих массы 1,99E+30, 1,99E+29, 1,99E+27, 1,99E+25кг.

Таблица 9.3

Частота излучения нейтронных звезд и белых карликов

	Частота излучения (1/с)			
Масса звезды (кг)	1,99E+30	1,99E+29	1,99E+27	1,99E+25
Нейтронная звезда	1,13E+21	1,15E+21	1,19E+21	1,23E+21
Белый карлик из гелия	1,07E+21	1,09E+21	1,13E+21	1,17E+21
Белый карлик из углерода	2,16E+21	2,20E+21	2,28E+21	2,36E+21
Белый карлик из кислорода	2,16E+21	2,21E+21	2,28E+21	2,36E+21

Таблица 9.4

Температура излучения нейтронных звезд и белых карликов

	Температура излучения (К)			
Масса звезды (кг)	1,99E+30	1,99E+29	1,99E+27	1,99E+25
Нейтронная звезда	2,01E+10	2,04E+10	2,12E+10	2,19E+10
Белый карлик из гелия	1,91E+10	1,95E+10	2,01E+10	2,08E+10
Белый карлик из углерода	3,84E+10	3,92E+10	4,05E+10	4,19E+10
Белый карлик из кислорода	3,84E+10	3,93E+10	4,06E+10	4,20E+10

Приведенные оценки свидетельствуют о примерном равенстве частот и температур излучения нейтронных звезд и белых карликов разных типов различных масс.

Полученные результаты могут быть экспериментально проверены.

Примечание 9.8. Полученные оценки характеризуют информационные спектры излучения и температуры нейтронных звезд и белых карликов (спектры определяемые изменением объемов информации в звездных объектах), что не исключает наличие спектров, обусловленных другими физическими процессами.

Полученные результаты могут быть экспериментально проверены.

9.8. Информационные ограничения на формирование черных дыр из звезд

Предположим, что исходная нейтронная звезда имеет массу, равную солнечной массе M_n =2,00E+30кг, состоит из 1,20E+57 нейтронов и содержит объем информации, равный $I_n = n(\log_2 n + 9{,}422)$ =2,38E+59 бит.

После преобразования формируются черная дыра и обычное вещество. Масса сформировавшейся черной дыры равна $M_{Чз} = km_0$, а объем информации в ней равен $I = \frac{k(k+1)}{2}$. Количество сформировавшихся частиц обычного вещества равно x. Объем информации в обычном веществе равен $I_{Ов} = x$ (предпологаем, что в одной частице содержится один бит). Средняя масса частицы обычного вещества равна m.

Из закона сохранения неопределенности (информации) следует:

$$I_n = n(\log_2 n + 9{,}422) = \frac{k(k+1)}{2} + x = I_{Чз} + I_{Ов}.$$

Считаем, что основная энергия черных дыр и обычного вещества сосредоточена в массе. Тогда из закона сохранения энергии следует:

$$M_n = nm_n = km_0 + xm = M_{Чз} + M_{Ов}.$$

Итак, имеем систему из двух уравнений:

$$nm_n = km_0 + xm$$

$$n(\log_2 n + 9{,}422) = \frac{k(k+1)}{2} + x$$

с тремя неизвестными n, x, m. $x \geq 0$. Следовательно,

$$n(\log_2 n + 9{,}422) \geq \frac{k(k+1)}{2} \approx \frac{k^2}{2}, \; k \leq \sqrt{2n(\log_2 n + 9{,}422)}$$

и $M_{Чз} = km_0 \leq m_0\sqrt{2n(\log_2 n + 9{,}422)}$ (ограничение на массу черной дыры, формирующейся из нейтронной звезды). При n=1,20E+57 $I_n = n(\log_2 n + 9{,}422)$ =2,38E+59бит, $k \leq \sqrt{2 \cdot 2{,}38 \cdot 10^{59}} = \sqrt{47{,}6 \cdot 10^{58}} \approx 7 \cdot 10^{29}$.

Так как m_0=5,09E-09кг, то $M_{Чз} \leq m_0 7 \cdot 10^{29} \approx 3{,}5 \cdot 10^{21}$ кг.

Далее имеем: $m = \dfrac{nm_n - km_0}{x}$, и $x = n(\log_2 n + 9{,}422) - \dfrac{n(n+1)}{2}$,

$$m = \frac{nm_n - km_0}{n(\log_2 n + 9{,}422) - \dfrac{n(n+1)}{2}}.$$

Рассмотрим пример.

Предположим, что нейтронная звезда состоит из 1,20E+57 нейтронов, имеет массу, равную солнечной массе M=2,00E+30кг, и содержит объем информации, равный $I_n = n(\log_2 n + 9{,}422)$ =2,38E+59 бит. Получающаяся черная дыра состоит из k=3E+29 частиц (имеет массу 1,5 E+21кг и содержит 4,5E+58 бит). Получающееся число частиц обычного вещества (квантов излучения) равно 1,9E+59. Полная масса обычного вещества равна (2,00E+30 – 1,5E+21) кг. Средняя масса частиц (квантов излучения) примерно равна E-29кг. Частота излучения примерно равна

$$\nu = \frac{mc^2}{h} = \frac{10^{-29} \cdot 9 \cdot 10^{16}}{6{,}6 \cdot 10^{-34}} \approx 10^{21} \text{ 1/с}.$$

Это нижняя граница жесткого гамма-излучения [114]. Итак, объе-

ма информации в нейтронной звезде солнечной массы (~2,38E+59 бит) достаточно для формирования черной дыры массой ~3E+24г.

Предположим, что исходный белый карлик имеет массу, равную солнечной массе M_n = 2,00E+30кг, и содержит объем информации, равный 1,24E+59 бит. Поскольку

$$n_e \log_2 n_e + n_{Уг+К} \cdot 129,5 \geq \frac{k(k+1)}{2} \approx \frac{k^2}{2}$$

и $$k \leq \sqrt{2n_e \log_2 n_e + n_{Уг+К} \cdot 129,5)}\,,$$ то

$M_{Чз} = km_0 \leq m_0\sqrt{2n_e \log_2 n_e + n_{Уг+К} \cdot 129,5)}$ (ограничение на массу черной дыры, формирующейся из белого карлика). При объеме информации в белом карлике равном 1,14E+59 бит $k \leq 4,8 \cdot 10^{29}$. Так как m_0=5,09E-09кг, то $M_{Чз} \leq m_0 5 \cdot 10^{29} \approx 2,4 \cdot 10^{21}$ кг.

Предположим, что исходная звезда является звездой солнечного типа, имеет массу, равную солнечной массе M=2,00E+30кг, и содержит объем информации равный $\approx 1,3 \cdot 10^{58}$ бит. Масса сформировавшейся черной дыры равна $M_{Чз} = km_0$, объем информации в сформировавшейся черной дыре равен $I = \frac{k(k+1)}{2} \approx \frac{k^2}{2}$. Поскольку звезда солнечного типа содержит только обычное вещество, то масса, формирующейся черной дыры, равна $M_{Чз} = km_0 = m_0\sqrt{2I_{Ов}}$. В рассматриваемом примере

$$M_{Чз} = m_0\sqrt{2I_{Ов}} \approx 5,09 \cdot 10^{-9}\sqrt{2 \cdot 1,3 \cdot 10^{58}} = 5,09 \cdot 10^{-9}\sqrt{2,6 \cdot 10^{58}} \approx$$

$$\approx 5,09 \cdot 10^{-9} \cdot 1,6 \cdot 10^{29} \approx 8 \cdot 10^{20} \text{ кг.}$$

В таблице 9.5 приведены массы черных дыр, оцененные в предположении, что они сформировались из нейтронной звезды, белого карлика, звезды типа Солнца.

Таблица 9.5

Массы черных дыр, образующихся из звезд различных типов

Тип исходной звезды	Масса звезды	Объем информации в звезде	Число субпланковских частиц в сформировавшейся черной дыре	Масса сформировавшейся черной дыры (кг)
Нейтронная звезда	1,0 массы Солнца	2,38E+59	7E+29	3,5E+21
Нейтронная звезда	1,4 массы Солнца	3,35E+59	8E+29	4,17E+21
Белый карлик	1,0 массы Солнца	1,24E+59	4,9E+29	2,5E+21
Звезда типа Солнца	1,0 массы Солнца	1,3E+58	1,2E+29	8E+20

Из таблицы 9.5 видно, что массы черных дыр, которые могут получиться при образовании черных дыр из нейтронной звезды, белого карлика, звезды типа Солнца близки к массе оптимальной черной дыры (в системе «черная дыра – излучение») – 9,09E+22кг.

9.9. Информационные ограничения на слияние черных дыр

Рассмотрим систему, состоящую из двух черных дыр, имеющих массы $M_1 = n_1 m_0$, $M_2 = n_2 m_0$ (m_0 - минимальная масса черной дыры, $n_1, n_2 = 1,2,...$) и содержащих информацию $I_1 = \frac{n_1(n_1+1)}{2}$ и $I_2 = \frac{n_2(n_2+1)}{2}$. Масса этой системы равна $M_{1+2} = (n_1 + n_2)m_0$, а ее объем информации $I_{1+2} = \frac{n_1(n_1+1)}{2} + \frac{n_2(n_2+1)}{2}$. Может ли черная дыра образоваться путем слияния двух данных черных дыр и только двух данных черных дыр? Масса новой черной дыры должна быть равна сумме масс исходных черных дыр $M = M_{1+2} = (n_1 + n_2)m_0$, а объем информации в новой черной дыре должен быть равен

$I = \frac{(n_1 + n_2)(n_1 + n_2 + 1)}{2}$. Очевидно, что ни при каких массах исходных черных дыр объем информации в новой черной дыре не совпадет с суммарным объемом информации в исходных черных дырах

$$I = \frac{(n_1 + n_2)(n_1 + n_2 + 1)}{2} = \frac{n_1^2 + n_1 n_2 + n_1 + n_1 n_2 + n_2^2 + n_2}{2} \neq$$

$$\neq \frac{n_1^2 + n_1 + n_2^2 + n_2}{2} = \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} = I_1 + I_2 .$$

Рассмотрим пример. Предположим, что $M_1 = M_2 = m_0$ и $I_1 = I_2 = 1$, т.е. масса системы равна $M_{1+2} = 2m_0$, объем информации в системе $I_{1+2} = 1 + 1 = 2$.

Может ли образоваться черная дыра путем слияния двух черных дыр минимальной массы и только двух черных дыр минимальной массы? Масса новой черной дыры должна быть равна сумме масс исходных черных дыр $M = M_{1+2} = 2m_0$, а объем информации в новой черной дыре должен быть равен $I = \frac{(1+1)(1+1+1)}{2} = 3$. Очевидно, что объем информации в новой черной дыре не совпадет с суммарным объемом информации в исходных черных дырах.

Приведем систему уравнений для оценки массы формирующейся черной звезды при слиянии двух черных дыр.

Предположим, что черные дыры до слияния имеют массу $M_1 = n_1 m_0$, $M_2 = n_2 m_0$ (m_0=5,09E-09кг – минимальная масса черной дыры, $n_1, n_2 = 1,2,...$) и содержат объемы информации, равные $I_1 = \frac{n_1(n_1 + 1)}{2}$ и $I_2 = \frac{n_2(n_2 + 1)}{2}$. В результате слияния исходных черных дыр формируются черная дыра и обычное вещество. Масса новой черной дыры $M_{1+2} = nm_0$, объем информации в сформировавшейся черной дыре равен $I_{1+2} = \frac{n(n+1)}{2}$. Количество частиц обычного вещества, сформировавшихся после слияния, равно x. Объем информации в обычном веществе равен $I_{Ов} = x$ (предпологаем, что в

одной частице содержится один бит). Средняя масса частицы обычного вещества равна m.

Из закона сохранения неопределенности (информации) следует:

$$I_1 + I_2 = \frac{n_1(n_1+1)}{2} + \frac{n_2(n_2+1)}{2} = \frac{n(n+1)}{2} + x = I_{1+2} + I_{Ов}.$$

Если предположить, что энергия черных дыр и обычного вещества сосредоточена в их массе, то из закона сохранения энергии следует:

$$M_1 + M_2 = (n_1 + n_2)m_0 = nm_0 + xm.$$

Итак, имеем систему из двух уравнений:

$$\frac{n_1(n_1+1)}{2} + \frac{n_2(n_2+1)}{2} = \frac{n(n+1)}{2} + x,$$

$$(n_1 + n_2)m_0 = nm_0 + xm$$

с тремя неизвестными n, x, m. $x \geq 0$. Следовательно, $\frac{n_1(n_1+1)}{2} + \frac{n_2(n_2+1)}{2} \geq \frac{n(n+1)}{2}$, или при $n >> 1$ $n^2 \leq n_1^2 + n_2^2$ (ограничение на массу черной дыры после слияния).

Далее имеем:

$$n_1^2 + n_1 + n_2^2 + n_2 - n^2 - n = 2x,$$

$$(n_1 + n_2)m_0 = nm_0 + xm.$$

и

$$x = \frac{n_1^2 + n_1 + n_2^2 + n_2 - n^2 - n}{2},$$

$$m = \frac{(n_1 + n_2 - n)m_0}{x} = \frac{2(n_1 + n_2 - n)}{n_1^2 + n_1 + n_2^2 + n_2 - n^2 - n} m_0.$$

При $n >> 1$ $m \approx \frac{2m_0}{n}$.

Справедливы следующие утверждения.

Утверждение 9.1. *Черная дыра не может быть получена путем*

слияния k черных дыр. Слияние черных дыр может происходить только с дополнительным поглощением и/или излучением обычного вещества.

Утверждение 9.2. *Черная дыра может уменьшать или увеличивать свою массу, излучая или поглощая обычное вещество. При слиянии двух черных дыр одна из них должна излучить, другая поглотить обычное вещество.*

Утверждение 9.3. *При слиянии двух черных дыр, имеющих массы M_1, M_2, без использования дополнительно обычного вещества масса получившейся черной дыры M_{1+2} меньше $\sqrt{M_1^2+M_2^2}$.*

Начальное состояние системы: две черные дыры имеющие массы M_1 и M_2. Объемы информации в черных дырах равны $I_{Чд1}=\alpha M_1^2$ и $I_{Чд2}=\alpha M_2^2$ соответственно. Конечное состояние: получившаяся при слиянии исходных черных дыр черная дыра массой M_{1+2}, и обычное вещество массой m. Объем информации в конечном состоянии равен сумме информации в получившейся черной дыре $I_{Чд1+2}=\alpha M_{1+2}^2$ и информации в обычном веществе $I_{Ов}=\beta\, m$.

В силу законов сохранения энергии и неопределенности (информации)

$$M_1+M_2=M_{1+2}+m\,.$$

$$\alpha M_1^2+\alpha M_2^2=\alpha M_{1+2}^2+\beta m\,,$$

т.е. $\alpha M_1^2+\alpha M_2^2>\alpha M_{1+2}^2$, или $M_1^2+M_2^2>M_{1+2}^2$.

Масса получившейся черной дыры M_{1+2} при слиянии черных дыр без использования дополнительно обычного вещества меньше $\sqrt{M_1^2+M_2^2}$.

Следствие 9.1. При слиянии двух черных дыр одинаковой массы $M_1=M_2=M$ без использования дополнительно обычного вещества масса M_{1+2} получившейся черной дыры меньше $\sqrt{2}M$.

Иначе говоря в этом случае, масса M_{1+2} черной дыры в $\sqrt{2}$ раз меньше суммы масс сливающихся черных дыр.

Утверждение 9.4. *При слиянии двух черных дыр,имеющих массы* M_1, M_2, *с использованием дополнительно обычного вещества масса получившейся черной дыры* M_{1+2} *больше* $\sqrt{M_1^2+M_2^2}$.

Начальное состояние системы: две черные дыры имеющие массы M_1, M_2, объемы информации в которых $I_{Чд1}=\alpha M_1^2$ и $I_{Чд2}=\alpha M_2^2$ и обычное вещество массой m, содержащее объем информации $I_{Ов}=\beta\, m$. Конечное состояние системы: черная дыра массой M_{1+2}, получившаяся при слиянии исходных черных дыр и обычного вещества, содержащая объем информации $I_{Чд1+2}=\alpha M_{1+2}^2$.

Из законов сохранения энергии и неопределенности (информации) следует

$$M_1+M_2+m=M_{1+2} \text{ и}$$

$$\alpha M_1^2+\alpha M_2^2+\beta m=\alpha M_{1+2}^2.$$

Т.е. $\alpha M_1^2+\alpha M_2^2<\alpha M_{1+2}^2$, или $M_1^2+M_2^2<M_{1+2}^2$.

Масса получившейся черной дыры M_{1+2} при слиянии черных дыр с использованием дополнительно обычного вещества больше $\sqrt{M_1^2+M_2^2}$.

Следствие 9.2. При слиянии двух черных дыр одинаковой массы $M_1=M_2=M$ с использованием дополнительно обычного вещества масса получившейся черной дыры больше $\sqrt{2}M=\dfrac{2M}{\sqrt{2}}$.

Иначе говоря, в этом случае масса M_{1+2} черной дыры в $\sqrt{2}$ больше суммы масс сливающихся черных дыр.

Утверждение 9.5. *При слиянии* k *черных дыр массами* $M_i=n_i m_0$ *без использования дополнительно обычного вещества, масса полу-*

чившейся черной дыры меньше $M_{1+2+...+k} = m_0\sqrt{\sum_{i=1}^{k} n_i(n_i+1)} \approx m_0\sqrt{\sum_{i=1}^{k} n_i^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^{k} M_i^2}$. *При слиянии* k *черных дыр одинаковой массы* $M_i = nm_0$ *без использования дополнительно обычного вещества масса получившейся черной дыры меньше* $M_{1+2+...+k} = \sqrt{kn^2}m_0 = nm_0\sqrt{k} = \sqrt{k}M_i$, *т.е. в* $\sqrt{k}$ *меньше суммы масс сливающихся черных дыр.*

Утверждение 9.6. *При слиянии* k *черных дыр массами* $M_i = n_i m_0$ *с использованием дополнительно обычного вещества масса получившейся черной дыры больше* $M_{1+2+...+k} = m_0\sqrt{\sum_{i=1}^{k} n_i(n_i+1)} \approx m_0\sqrt{\sum_{i=1}^{k} n_i^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^{k} M_i^2}$. *При слиянии* k *черных дыр одинаковой массы* $M_i = nm_0$ *с использованием дополнительно обычного вещества масса получившейся черной дыры больше* $M_{1+2+...+k} = \sqrt{kn^2}m_0 = nm_0\sqrt{k} = \sqrt{k}M_i$, *т.е. в* $\sqrt{k}$ *больше суммы масс сливающихся черных дыр.*

Система, состоящая из двух черных дыр и обычного вещества. Рассмотрим систему, состоящую из двух черных дыр одинаковой массы и объема информации и обычного вещества, представленого фотонами разной частоты (энергии) $E = h\nu$, каждый из которых в соответствии с принципом Цайлингера содержит один бит информации.

Утверждение 9.7. *При слиянии двух черных дыр одинаковой массы* $M_1 = M_2 = nm_0$ *и одинаковых объемов информации* $I_1 = I_2 = \frac{n(n+1)}{2}$ *поглощающая черная дыра должна поглотить дополнительно не менее* n^2 *частиц обычного вещества, содержащих по одному биту информации.*

Утверждение 9.8. *Слияние двух черных дыр, имеющих массы* $M_1 = n_1 m_0$ *и* $M_2 = n_2 m_0$, *и объемы информации* $I_1 = \frac{n_1(n_1+1)}{2}$ *и* $I_2 = \frac{n_2(n_2+1)}{2}$ *в одну черную дыру требует дополнительного исполь-*

зования не менее $n_f = n_1 n_2$ *квантов излучения или частиц обычного вещества, содержащих по одному биту информации.*

9.10. Оценка объема информации в планковской частице

Для формирования одного бита информации необходима энергия не меньшая, чем $kT\ln 2$ [44, 64], а масса не менее $\frac{kT\ln 2}{c^2}$. Для формирования одного ната необходима энергия не меньшая kT, а масса – не менее $\frac{kT}{c^2}$. При планковской температуре $T_{Пл} = \frac{1}{k}\sqrt{\frac{\hbar c^5}{G}} = 1,41696 \cdot 10^{32} K$ [115] масса, необходимая для формирования одного ната, не менее планковской массы

$$m = \frac{kT_{Пл}}{c^2} = \frac{k\frac{1}{k}\sqrt{\frac{\hbar c^5}{G}}}{c^2} = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = m_{Пл} = 2,17671 \cdot 10^{-5} г,$$

а масса, необходимая для формирования одного бита, не менее планковской массы $m_{Пл}\ln 2 \approx 0,69 m_{Пл} = 1,5 \cdot 10^{-5} г$.

Таким образом, планковская частица при планковской температуре содержит один нат информации и его можно считать планковской единицей информации (один бит является шенноновской единицей информации).

«Четырнадцать миллиардов лет назад, в момент рождения, вся Вселенная была заключена в точке радиусом 10^{-33}см, что неизмеримо меньше радиуса протона - 10^{-13}см. В этом объеме уже была заложена вся информация о будущем Вселенной. Произошел Большой взрыв» (Черепащук А.М. [116]).

10^{-33}см – это размер планковской частицы. Так как планковская частица при планковской температуре содержит один нат информации (≈1,45 бит), а информация о Вселенной, очевидно, содержит гораздо

больше информации. Следовательно, вся информация о будущем Вселенной либо была заключена в части Вселенной, радиус которой больше, чем 10^{-33}см, либо была порождена при расширении Вселенной. Информационный подход позволяет оценить начальные неоднородности Вселенной (см. раздел 13).

10. РАСШИРЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ – ПРИЧИНА И ИСТОЧНИК ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Причина и источник формирования информации - расширение Вселенной. Рассмотрим системы координат $x = (x_1, ..., x_n)$ и $y = (y_1, ..., y_n)$. Пусть $p(x_1, ..., x_n)$ — плотность распределения случайной величины в системе координат $x = (x_1, ..., x_n)$, а ее внешняя неопределенность равна $N_x = -\int ... \int p(x_1, ..., x_n) \ln p(x_1, ..., x_n) dx_1 ... dx_n$. При переходе от $x = (x_1, ..., x_n)$ к $y = (y_1, ..., y_n)$ новое значение неопределенности равно старому минус среднее значение логарифма якобиана [7]:

$$N_y = -\int ... \int p(y_1, ..., y_n) \ln p(y_1, ..., y_n) dy_1 ... dy_n =$$

$$= N_x - \int ... \int p(x_1, ..., x_n) \ln J(\frac{x_1, ..., x_n}{y_1, ..., y_n}) dx_1 ... dx_n,$$

где $J(\frac{x_1, ..., x_n}{y_1, ..., y_n})$ - якобиан обратного преобразования координат. При линейном преобразовании координат $y = Ax$ или $y = \left\| a_{ij} \right\| x$ якобиан равен определителю обратного преобразования координат $\det \left\| a_{ij} \right\|^{-1}$.

Пусть $y_i = kx_i \quad i = 1,2,3$ или $\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix} = \begin{Vmatrix} k & 0 & 0 \\ 0 & k & 0 \\ 0 & 0 & k \end{Vmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}$.

Тогда $J = \left| a_{ij} \right|^{-1} = \begin{vmatrix} 1/k & 0 & 0 \\ 0 & 1/k & 0 \\ 0 & 0 & 1/k \end{vmatrix} = \frac{1}{k^3}$ и при переходе от $x = (x_1, x_2, x_3)$ к $y = (y_1, ..., y_n)$ новое значение неопределенности равно старому минус значение логарифма определителя обратного преобразования координат: $N_y = N_x - \ln \frac{1}{k^3} = N_x + 3 \ln k$, т.е. изменение неопределенности равно $\Delta N = N_y - N_x = 3 \ln k$. В силу закона сохранения неопреде-

ленности (информации) замкнутой (изолированной) системы изменение неопределенности в системе сопровождается соответствующим изменением информации: при увеличении (уменьшении) неопределенности в системе должно увеличиваться количество информации. При уменьшении (увеличении) неопределенности в системе должно уменьшаться (увеличиваться) количество информации в системе. Очевидно, что $\Delta I = \Delta N$ или $\Delta I - \Delta N = 0$.

Неопределенность изолированной системы сохраняется, в то время как в ней могут происходить разнообразные процессы. Если в ходе расширения Вселенной неопределенность частиц возрастает (убывает), то во Вселенной должна формироваться (деформироваться) информация (в виде неоднородностей). Это следствие из закона сохранения неопределенности в совокупности с законами эволюции Вселенной [118] позволяет объяснить феномен неоднородной, развивающейся Вселенной. Само расширение Вселенной приводит к формированию информации, компенсирующей рост неопределенности $\Delta I = \Delta N = 3\ln k$. При расширении Вселенной от размера R_0 до размера R объем информации на одну частицу, формируемой расширением, равен $3\log_2 \frac{R}{R_0}$ бит. При расширении Вселенной от планковской длины 10^{-33} см до текущего размера в 10^{28} см объем информации, формируемой расширением, равен $3\log_2 10^{61} = 607{,}8$ (бит), при расширении Вселенной с преобладанием вещества до текущего размера объем информации, формируемой расширением, равен $3\log_2 10^{11} = 109{,}6$ (бит).

При расширении Вселенной:

- Изменяется фазовое состояние (симметрия) Вселенной.
- Изменяется кривизна пространства.
- Формируются различные типы неоднородностей, в частности:
  - фундаментальные частицы;
  - составные элементарные частицы;
  - атомы, молекулы;
  - галактические, звездные, планетные системы;
  - жизнь, включая аминокислоты, азотистые основания, белки, ДНК, РНК, клетки, организмы, популяции, цивилизации.

Возникновение конкретных типов неоднородностей определяет

скорость расширения и физические механизмы формирования неоднородностей. Формирование неоднородностей (неопределенности, информации) является неотъемлемым свойством всех расширяющихся вселенных, вне зависимости от действующих физических законов, определяющих типы неоднородностей и механизмы их формирования.

При сжатии вселенных реализуется процесс сглаживания неоднородностей, потери неопределенности (информации). Сглаживание неоднородностей является неотъемлемым свойством всех сжимающихся вселенных, вне зависимости от действующих физических законов, определяющих механизмы сглаживания неоднородностей.

В случае пульсирующей Вселенной [118] при ее расширении формируются неоднородности (неопределенность, информация) до максимального значения, а при дальнейшем сжатии неоднородности сглаживаются, а неопределенность (информация) уменьшается до минимального уровня.

11. ИНФОРМАЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ – ПЯТЫЙ ВИД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Известны четыре вида физических взаимодействий: гравитационное, электромагнитное, сильное, слабое. Сила взаимодействия каждого вида зависит от расстояния между взаимодействующими объектами. Например, для гравитационного взаимодействия эта сила обратно пропорциональна квадрату расстояния между объектами, для сильного – экспоненциально уменьшается с расстоянием, взаимодействие между кварками пропорционально расстоянию. Вид зависимости силы взаимодействия от расстояния определяется соответствующим **физическим законом** [119].

Запутанность, сцепленность состояний, частей квантовой системы порождает пятый вид взаимодействия - информационное. «Запутанность – это уникальный квантовомеханический ресурс, который играет ключевую роль во многих наиболее интересных применениях квантовых вычислений и квантовой информации; это своего рода железо в бронзовом веке классического мира. Запутанность считается фундаментальным ресурсом природы, сравнимым по важности с энергией, информацией, энтропией или любым другим фундаментальным ресурсом» [96].

Взаимодействие сцепленных состояний, запутанность, связь между сцепленными состояниями не зависит от их расположения в пространстве, от расстояния между ними. Этот удивительный факт объясняется **информационным законом** сохранения неопределенности [1, 9] (см. также раздел 7).

11.1. Оценка информационного взаимодействия сцепленных состояний

Для оценки связи между двумя кубитами в работе [15] (см. также раздел 6 настоящей книги) предложено использовать информацию связи. Показано, что информационное взаимодействие двух кубитов находится в диапазоне (0, 1), а максимальное взаимодействие между двумя сцепленными кубитами равно одному биту. Поскольку взаимодействие сцепленных состояний измеряется в информационных единицах, то естественно считать данное взаимодействие информационным.

В общем случае связь (точнее, как станет ясно в дальнейшем энергию связи) между сцепленными подсистемами A и B квантовой системы $A + B$ также, как и связь между двумя кубитами, можно охарактеризовать информацией связи.

Информация связи случайных величин A и B определяется следующим образом [7, 86]: $I_{AB} = N_A + N_B - N_{AB}$, где I_{AB} – информация связи подсистем A и B; N_A, N_B – неопределенность (информационная энтропия) подсистем A, B, N_{AB} – совместная неопределенность (совместная информационная энтропия) системы $A + B$.

Совместная неопределенность (совместная информационная энтропия) совместного распределения событий x и y равна $N_{xy} = -\sum_{i,j} p_{ij} \log_2 p_{ij}$, где p_{ij} – вероятность совместного осуществления события i для x и j для y, $\sum_{i,j} p_{ij} = 1$.

Для оценки информации связи двух подсистем произвольной системы используем представление системы в виде разложения Шмидта [64, 65]. Волновую функцию (амплитуду вероятности) ψ_{AB} системы $A + B$, состоящей из двух сцепленных подсистем A и B, представим в виде $\psi_{AB} = \sum_{i=1}^{d} c_i \left|\alpha_i\right\rangle \left|\beta_i\right\rangle$, где d – размерность подсистем A и B (размерность соответствующих гильбертовых пространств); $\left|\alpha_i\right\rangle, \left|\beta_i\right\rangle$ – ортогональные базисные вектора подсистем A и B; а c_i – амплитуды векторов $\left|\alpha_i\right\rangle \left|\beta_i\right\rangle$.

Матрица совместного распределения вероятностей базовых состояний подсистем системы $A + B$ при использовании разложения Шмидта равна

$$P_{совм.\,AB} = \begin{pmatrix} |c_1|^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & |c_2|^2 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & |c_d|^2 \end{pmatrix},$$

а вектора распределения вероятностей P_A^T, P_B^T реализации базисных векторов $|\alpha_i\rangle$, $|\beta_i\rangle$ подсистем A, B равны, т.е.

$$P_A^T = \left(|c_1|^2, \quad |c_2|^2, \quad ..., \quad |c_d|^2\right), \; P_B^T = \left(|c_1|^2, \quad |c_2|^2, \quad ..., \quad |c_d|^2\right).$$

При этом совместная неопределенность N_{AB} подсистем A, B системы $A+B$, а также неопределенности N_A, N_B подсистем A, B, по отдельности равны, т.е.

$$N_{AB} = -\sum_{i=1}^{d} |c_i|^2 \log_2 |c_i|^2, \; N_A = N_B = -\sum_{i=1}^{d} |c_i|^2 \log_2 |c_i|^2,$$

а информация связи I_{AB} (величина информационного взаимодействия) подсистем A, B системы $A+B$ равна

$$I_{AB} = N_A + N_B - N_{AB} = -\sum_{i=1}^{d} |c_i|^2 \log_2 |c_i|^2 \text{ бит.}$$

Из закона сохранения неопределенности следует, что если система находится в состоянии ψ, то при изменении координат и ориентации кубитов, подмножеств кубитов, подсистем, сцепленного состояния в целом, неопределенности сцепленных состояний сохраняются. Кубиты, входящие в состав сцепленного состояния, также можно перемещать с произвольной скоростью друг относительно друга, не меняя неопределенность, что объясняет сохранение «силы» (энергии) информационного взаимодействия.

Используя связь между информацией и энтропией $S = k \cdot I$ (см. [44, 86]), а также между энтропией и энергией (потенциалом) $dE = T \cdot dS - P \cdot dV$ (см. [3, 79]) информационное взаимодействие подсистем A и B можно описать в принятых энергетических единицах (эргах, джоулях). Энергия (потенциал) взаимосвязи подсистем A и B системы $A+B$ (энергия, которая необходима, чтобы разорвать информационное взаимодействие между A и B в принятых энергетических единицах равна

$$E_{AB} = S \cdot T = k \cdot T \cdot I_{AB}.$$

Очевидно, что максимальное информационное взаимодействие I_{AB} подсистем A, B системы $A+B$ равно $I_{AB\max} = \log_2 d$ бит. Поскольку для несцепленных (незапутанных) подсистем A, B

$I_{AB\min} = 0$, то информационное взаимодействие $F_{I\,AB}$ подсистем A, B системы $A + B$ лежит в диапазоне $I_{AB\min} \le F_{I\,AB} \le I_{AB\max}$ или $0 \le F_{I\,AB} \le \log_2 d$.

Примеры оценки информационного взаимодействия сцепленных состояний.

Пример 1. Пусть совместное распределение вероятностей состояний подсистем A, B системы $A + B$ равно

$$p_{ij} = \frac{1}{n^2}, \quad i, j = 1,...,n, \text{ и}$$

$$P = \begin{Vmatrix} \frac{1}{n^2} & \dots & \frac{1}{n^2} \\ \dots & \dots & \\ \frac{1}{n^2} & \dots & \frac{1}{n^2} \end{Vmatrix}.$$

Совместная неопределенность подсистем A, B

$$N_{AB} = -\sum_{i,j} p_{ij} \log_2 p_{ij} = -n^2 \frac{1}{n^2} \log_2 \frac{1}{n^2} = 2\log_2 n.$$

При этом распределения вероятностей состояний подсистем A, B (p_i, q_j) и неопределенности подсистем A, B (N_A, N_B) равны

$$p_i = \frac{1}{n}, \quad i = 1,...,n, \; q_j = \frac{1}{n}, \; j = 1,...,n;$$

$$N_A = -\sum_i p_i \log_2 p_i = -n \frac{1}{n} \log_2 \frac{1}{n} = \log_2 n;$$

$$N_B = -\sum_j p_j \log_2 p_j = -n \frac{1}{n} \log_2 \frac{1}{n} = \log_2 n.$$

Информационное взаимодействие подсистем A, B системы $A + B$

$$I_{AB} = N_A + N_B - N_{AB} = \log_2 n + \log_2 n - 2\log_2 n = 0.$$

В данном случае подсистемы A, B системы $A+B$ информационно не взаимодействуют.

Пример 2. Пусть совместное распределение вероятностей состояний подсистем A, B системы $A+B$ равно

$$p_{ij} = \frac{1}{n}\delta_{ij}, \quad i, j = 1,...,n, \text{ и}$$

$$P = \begin{Vmatrix} \frac{1}{n} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{n} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & ... & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{n} \end{Vmatrix}.$$

Совместная неопределенность подсистем A, B

$$N_{AB} = -\sum_{i,j} p_{ij} \log_2 p_{ij} = -n\frac{1}{n}\log_2 \frac{1}{n} = \log_2 n.$$

При этом распределение вероятностей состояний подсистемы A, B (p_i, q_j) и неопределенности подсистем A, B (N_A, N_B) равны

$$p_i = \frac{1}{n}, \quad i = 1,...,n;$$

$$q_j = \frac{1}{n}, \; j = 1,...,n;$$

$$N_A = -\sum_i p_i \log_2 p_i = -n\frac{1}{n}\log_2 \frac{1}{n} = \log_2 n.$$

$$N_B = -\sum_j p_j \log_2 p_j = -n\frac{1}{n}\log_2 \frac{1}{n} = \log_2 n.$$

Информационное взаимодействие подсистем A, B системы $A+B$ равно

$$I_{AB} = N_A + N_B - N_{AB} = \log_2 n + \log_2 n - \log_2 n = \log_2 n.$$

В данном примере информационное взаимодействие подсистем A, B системы $A+B$ равно максимально возможному информаци-

онному взаимодействию.

Пример 3. Пусть система $A + B$, подсистемы A, B содержат $\approx N$ бит информации. При этом количество кубитов в каждой из взаимодействующих подсистем примерно равно $\approx N$ и размерность соответствующего гильбертова пространства равна $d = 2^{N}$, а информационное взаимодействие подсистем не превосходит величины $F_{I\,AB} = \log_2 d = N$ бит. Информационное взаимодействие подсистем определяется объемом информации в подсистемах. Поскольку во Вселенной содержится около 10^{90} бит информации [4, 9, 58, 74], то можно оценить максимальное информационное взаимодействие ее двух подсистем. Положим, что максимально возможное количество информации (кубитов) в каждой из взаимодействующих подсистем примерно равно 10^{90}, а т.к. размерность соответствующего гильбертова пространства равна $d = 2^{10^{90}}$, то максимально возможное информационное взаимодействие подсистем во Вселенной не превосходит 10^{90} бит.

Информационному взаимодействию подвержены все квантовые объекты, квантовые системы и подсистемы – бозоны и фермионы и т.д. В качестве переносчика (носителя) информационного взаимодействия в силу своей универсальности, по-видимому, выступает вакуум. (Определение носителя информационного взаимодействия – предмет дальнейших исследований.)

Примечание 11.1. Информационное взаимодействие нельзя трактовать как следствие и/или характеристику действия известных фундаментальных физических взаимодействий: гравитационного, электромагнитного, сильного, слабого, хотя сцепленные (запутанные) состояния и формируются с использованием этих взаимодействий, прежде всего электромагнитного взаимодействия. Невозможность такой трактовки объясняется тем, что информационное взаимодействие не зависит от расстояния, а все известные виды взаимодействия зависят.

11.2. Свойства информационного взаимодействия

Информационное взаимодействие (информация связи) подсистем A, B произвольной системы $A + B$, находящейся в состоянии ψ, обладает следующими основными свойствами.

1. Энергия информационного взаимодействия подсистем A, B есть скаляр.
2. Энергия информационного взаимодействия подсистем A, B симметрична: $I_{AB} = I_{BA}$.
3. Энергия информационного взаимодействия подсистем A, B неотрицательна.
4. Энергия информационного взаимодействия подсистем A, B не превосходит величины $I_{AB\max} = N_A = N_B$.

11.3. Декогерентизация сцепленных состояний, подсистем и уменьшение информационного взаимодействия

Следует отметить, что интенсивность информационного взаимодействия в общем случае со временем уменьшается. Причиной этому служит декогерентизация сцепленных состояний, подсистем, обусловленная взаимодействием с внешней средой. В настоящем разделе используются материалы статьи [65]. «Декогерентизация заключается в затухании (исчезновении) недиагональных элементов матрицы плотности системы в результате ортогонализации состояний окружения, соответствующих различным базисным состояниям компьютера. Так для квантовых компьютеров взаимодействие регистра с неконтролируемым окружением, неточности в значениях параметров управляющих импульсов, а также неконтролируемое взаимодействие кубитов между собой являются источниками декогерентизации состояния квантового компьютера в целом». Вообще, внешняя среда является источником декогерентизации любых сцепленных состояний, подсистем. В [65] приведена оценка скорости декогерентизации, полученная для модели системы кубитов в окружении взаимодействующих осцилляторов. «Системы с когерентным окружением состояния типа «шредингеровского кота» $\left|0_1 0_2 ... 0_n\right\rangle \pm \left|1_1 1_2 ... 1_n\right\rangle$ подвергаются максимально быстрой декогерентизации. В то же время есть свободные от декогерентизации состояния. Таковы состояния, в которых для одной половины кубитов состояние равно $\left|0\right\rangle$, а для другой половины кубитов состояние равно $\left|1\right\rangle$. Примером таких сис-

тем для четных n являются системы типа

$$\left|0_1 0_2 ... 0_{n/2} 1_{n/2+1} 1_{n/2+2} ... 1_n\right\rangle \pm \left|1_1 1_2 ... 1_{n/2} 0_{n/2+1} 0_{n/2+2} ... 0_n\right\rangle.$$

В частности, свободны от декогерентизации состояния Белла $\left|0_1 1_2\right\rangle \pm \left|1_1 0_2\right\rangle$». Отметим, что вектора $\left|0_1 0_2 ... 0_{n/2} 1_{n/2+1} 1_{n/2+2} ... 1_n\right\rangle$ и $\left|1_1 1_2 ... 1_{n/2} 0_{n/2+1} 0_{n/2+2} ... 0_n\right\rangle$, составляющие свободные от декогерентизации состояния, обладают одинаковой энергией. Точно также вектора $\left|0_1 1_2\right\rangle$ и $\left|1_1 0_2\right\rangle$, составляющие свободные от декогерентизации состояния Белла, обладают одинаковой энергией».

Итак, в общем случае декогерентизация приводит к уменьшению и по истечению определенного времени к исчезновению информационного взаимодействия.

12. СОВМЕСТНАЯ ЭНТРОПИЯ МАТРИЦ СМЕШИВАНИЯ

12.1. Сильное взаимодействие

ККМ (Кабиббо, Кобаяши, Маскава) матрица смешивания для трёх поколений кварков была предложена Макото Кобаяши и Тошихиде Маскава, которые добавили одно поколение к матрице, ранее предложенной Никола Кабиббо [76 с.92, 120].
ККМ матрица смешивания имеет вид:

$$\begin{Vmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{Vmatrix} \begin{Vmatrix} |d\rangle \\ |s\rangle \\ |b\rangle \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} |d'\rangle \\ |s'\rangle \\ |b'\rangle \end{Vmatrix}.$$

Слева – унитарная ККМ матрица смешивания, действующая на вектор сильных собственных состояний кварков, а справа – слабые собственные состояния кварков. Унитарная ККМ матрица описывает вероятность перехода от кварка q к другому q'.

Унитарная ККМ матрица смешивания кварков $U_{кв}$ имеет вид (экспериментальные данные [76]):

$U =$	0,9753	0,221	0,003
	0,221	0,9747	0,04
	0,009	0,039	0,9991

Шенноновская матрица смешивания кварков:

$SH(U) =$	0,56309	0,127594	0,0017321
	0,127594	0,562743	0,023094
	0,005196	0,022517	0,5768307

Неопределенность (объем информации) кварков разного типа равна 0,2815; 0,2978; 0,0179.

Матрица совместных вероятностей кварков, соответствующая унитарной ККМ матрице смешивания $U_{кв}$:

$P(SH(U)P =$	0,31707	0,01628	0,000003
	0,01628	0,31668	0,000533
	0,000027	0,000507	0,332734

Совместная энтропия, характеризующая унитарную ККМ матрицу смешивания кварков, определенная по данным [120], равна $H(U_{кв}) = H(P(SH(U_{кв}))) = 1{,}7842$.

Унитарная ККМ матрица смешивания кварков $U_{кв}$ имеет вид (экспериментальные данные [121]):

$$V_{CKM}(2000) =$$

$$= \begin{Vmatrix} 0,9742\ to\ 0,9757 & 0,219\ to\ 0,226 & 0,002\ to\ 0,005 \\ 0,219\ to\ 0,225 & 0,9734\ to\ 0,9749 & 0,037\ to\ 0,043 \\ 0,04\ to\ 0,014 & 0,035\ to\ 0,043 & 0,9990\ to\ 0,9993 \end{Vmatrix}$$

Для оценок используем средние значения оценок, приведенные ниже:

$U =$	0,97495	0,2225	0,0035
	0,222	0,97415	0,04
	0,027	0,039	0,99915

Шенноновская матрица смешивания кварков:

$SH(U) =$	0,563321	0,130481	0,00288675
	0,129904	0,562859	0,02482606
	0,008083	0,024826	0,57694612

Неопределенность (объем информации) кварков разного типа равна 0,2871; 0,3043; 0,0212.

Матрица совместных вероятностей кварков, соответствующая унитарной ККМ матрице смешивания $U_{кв}$:

$P(SH(U) =$	0,31733	0,017025	8,33E-06
	0,016875	0,31681	0,000616
	6,53E-05	0,000616	0,332867

Совместная энтропия, характеризующая унитарную ККМ матрицу смешивания кварков, определенная по данным [121], равна $H(U_{кв}) = H(P(SH(U_{кв}))) = 1,7849$.

12.2. Электрослабое взаимодействие

Наблюдаемые фотоны γ и Z^0 - бозоны выражаются через калибровочные поля $W_r^{(3)}$, и B_r.

$$\begin{aligned} Z^0 &= W_r^{(3)} \cos\theta_W + B_r \sin\theta_W \\ \gamma &= -W_r^{(3)} \sin\theta_W + B_r \cos\theta_W \end{aligned},$$

θ_W - угол Вайнберга [76, с.98].

Унитарная матрица смешивания электрослабого взаимодействия $U_{эс}$:

$U_{эс} =$	$\cos\theta_W$	$\sin\theta_W$
	$-\sin\theta_W$	$\cos\theta_W$

Шенноновская матрица смешивания электрослабого взаимодействия имеет вид:

$SH(U_{эс}) =$	$\frac{\cos\theta_W}{\sqrt{2}}$	$\frac{\sin\theta_W}{\sqrt{2}}$
	$-\frac{\sin\theta_W}{\sqrt{2}}$	$\frac{\cos\theta_W}{\sqrt{2}}$

Матрица совместных вероятностей для электрослабого взаимодействия, соответствующая унитарной матрице $U_{эс}$:

$P(SH(U_{эс}) =$	$\frac{\cos^2\theta_W}{2}$	$\frac{\sin^2\theta_W}{2}$
	$\frac{\sin^2\theta_W}{2}$	$\frac{\cos^2\theta_W}{2}$

Далее приведены оценки неопределенности Z_0-бозона (фотона) и совместной энтропии, выполненные по разным экспериментальным оценкам угла смешивания Вайнберга [82, 20-21].

По данным [122] $\sin^2\theta_W = 0.2324$**.** Унитарная матрица, характеризующая электрослабое взаимодействие:

$P(U_{эс}) =$	0,7676	0.2324
	0.2324	0,7676

Неопределенность (объем информации) Z_0-бозона и фотона $N(Z_0) = N(\gamma) = 0{,}782172$, а шенноновская матрица смешивания электрослабого взаимодействия равна

$P(SH(U_{эс}) =$	0,3838	0,1162
	0,1162	0,3838

Совместная энтропия, характеризующая матрицу смешивания электрослабого взаимодействия, определенная по данным [82], равна $H(U_{кв}) = H(P(SH(U_{кв}))) = 1{,}7821$.

По данным, приведенным в [123], $\sin(\theta_W)$ = 0,48. $\sin^2(\theta_W)$ = 0,2304. Унитарная матрица, характеризующая электрослабое взаимодействие:

$P(U_{эс})$ =	0,7696	0.2304
	0.2304	0,7696

Неопределенность (объем информации) Z_0-бозона и фотона – $N(Z_0) = N(\gamma) = 0{,}7787$.

Шенноновская матрица смешивания электрослабого взаимодействия:

$P(SH(U_{эс})$ =	0,3848	0,1152
	0,1152	0,3848

Совместная энтропия, характеризующая матрицу смешивания электрослабого взаимодействия, определенная по данным [82], $H(U_{кв}) = H(P(SH(U_{кв}))) = 1{,}7787$.

По данным, приведенным в [123], $\sin^2(\theta_W)$ = 0,2224.
Унитарная матрица, характеризующая электрослабое взаимодействие

$P(U_{эс})$ =	0,7776	0.2224
	0.2224	0,7776

Неопределенность (объем информации) Z_0-бозона и фотона равна $N(Z_0) = N(\gamma) = 0{,}782172$. Шенноновская матрица смешивания электрослабого взаимодействия

$P(SH(U_{эс})$ =	0,3888	0,1112
	0,1112	0,3888

Совместная энтропия, характеризующая матрицу смешивания электрослабого взаимодействия, определенная по данным [123], $H(U_{кв}) = H(P(SH(U_{кв}))) = 1{,}7645$.

По данным, приведенным в [124], $\sin^2(\theta_W)$ = 0,2397. Унитарная матрица, характеризующая электрослабое взаимодействие:

$P(U_{эс})$ =	0,7603	0.2397
	0.2397	0,7603

Неопределенность (объем информации) Z_0-бозона и фотона $N(Z_0) = N(\gamma)$ = 0,7945. Шенноновская матрица смешивания электрослабого взаимодействия:

$P(SH(U_{эс})P =$	0,11985	0,38015
	0,38015	0,11985

Совместная энтропия, характеризующая матрицу смешивания электрослабого взаимодействия, определенная по данным [124], $H(U_{кв}) = H(P(SH(U_{кв}))) =$ 1,7945.

Приведенные оценки совместной энтропии, характеризующей матрицы смешивания электрослабого взаимодействия (1,7849; 1,7787; 1,7645; 1,7945) показывают хорошее совпадение с величиной совместной энтропии матриц смешивания кварков (1,7842, 1,7849), что, по-видимому, является свидетельством о физическом единстве сильного и электрослабого взаимодействия.

12.3. Смешивание нейтрино

Унитарная матрица смешивания нейтрино $U_н$ [125]:

$U =$	0,84	0,55	0
	-0,39	0,59	0,71
	0,39	-0,59	0,71

Неопределенность разных типов нейтрино равна 0,88; 1,44; 1,44. Шенноновская матрица смешивания нейтрино:

$SH(U) =$	0,484974	0,317543	0
	-0,22517	0,340637	0,4099187
	0,225167	-0,34064	0,4099187

Матрица совместных вероятностей для нейтрино, соответствующая унитарной матрице $U_н$:

$P(SH(U)P =$	0,2352	0,100833	0
	0,0507	0,116033	0,168033
	0,0507	0,116033	0,168033

Совместная энтропия, характеризующая матрицу смешивания нейтрино, $H(U_{кв}) = H(P(SH(U_{кв}))) = 2{,}8469$. Это показывает, что смешивание нейтрино, по-видимому, имеет физическую природу, отличную от смешивания кварков и электрослабого взаимодействия.

13. НАЧАЛЬНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ВСЕЛЕННОЙ

«Все от бита»

J.A. Wheeler

13.1. Гипотеза о начальной информации

Были ли во Вселенной [117, 126, 127], в начале ее существования, неоднородности? Или же неоднородности сформировались позже, в ходе расширения Вселенной.

«Сразу же подчеркнем, что какие-то начальные неоднородности Вселенной необходимы, так как на фоне абсолютно однородной Вселенной образование крупномасштабной структуры (галактик, их скоплений) невозможно» [126, стр. 12-13].

«Четырнадцать миллиардов лет назад, в момент рождения, вся Вселенная была заключена в точке радиусом 10^{-33}см, что неизмеримо меньше радиуса протона - 10^{-13}см. В этом объеме уже была заложена вся информация о будущем Вселенной. Произошел Большой взрыв» (назовем данное высказывание гипотезой о начальной информации [116]).

Для исследования существования и характеристик начальных неоднородностей Вселенной применим информационный подход, используя в качестве меры неоднородности информационную энтропию по Шеннону [7]. Само наличие неоднородности будем оценивать информационной дивергенцией [90, 91].

Приведем последовательность наших рассуждений.

1. Проверим справедливость гипотезы о начальной информации и покажем, что эта гипотеза требует уточнения.
2. Докажем существование в начальный момент времени неоднородностей во Вселенной.

Предположим, что в начальный момент во Вселенной не было неоднородностей (информационная дивергенция относительно равномерного распределения равна нулю). Докажем, что в этом случае, в последующие моменты времени во Вселенной также не будет неоднородностей (информационная дивергенция относительно равномерного распределения равна нулю). Поскольку, в настоящее время, очевидно, что неоднородности во Вселенной имеются (скопления

галактик, галактики, звезды, планеты, молекулы, атомы, частицы), то по логике доказательств «от противного» исходное предположение неверно. Следовательно, в начальный момент времени во Вселенной были неоднородности.

3. Покажем, что однородность темной энергии при расширении Вселенной сохраняется

Информационная дивергенция относительно равномерного распределения равна нулю во все моменты времени.

4. Оценим характеристики начальных неоднородностей во Вселенной.

Поскольку именно начальные неоднородности содержат физические законы, определяющие дальнейшее развитие Вселенной, оценим объем информации, содержащейся в законах природы (следуя Д. Чернавскому [87] оцениваем объем макроинформации или классической информации). Оценка объема классической информации в законах природы и значение времени от образования Вселенной позволяют оценить массу начальных неоднородностей.

5. Оценим рост неоднородностей при расширении Вселенной.

Определим, что при степенном расширении Вселенной для «записи» физических законов в начальный момент времени требуется очень большая масса неоднородностей, что, по-видимому, невозможно. Покажем, что при инфляционном расширении Вселенной из информации, содержащейся в начальных неоднородностях Вселенной массы 10^4кг, формируется объем информации достаточный для «записи» физических законов.

Это позволит уточнить гипотезу о начальной информации.

13.2. Могла ли содержаться начальная информация в планковской частице?

10^{-33}см – это размер планковской частицы, которая в планковское время $\approx 10^{-44}$ содержит один нат микроинформации (≈ 1,45 бит). Объем информации о физических законах Вселенной, очевидно, значительно больше. Следовательно, информация о будущем Вселенной или была заключена в части Вселенной, радиус которой больше, чем 10^{-33}см или была порождена при расширении Вселенной. Таким образом, гипотеза о начальной информации должна быть уточнена и развита.

13.3. Доказательство существования в начальные моменты времени неоднородностей во Вселенной

Будем оценивать наличие неоднородности, задаваемой распределением P, информационной дивергенцией $D(P/R)$ распределения P относительно равномерного распределения $R(x)$. Свойства информационной дивергенции описаны в разделе 4.

Опираясь на утверждение 4.4, докажем:

Утверждение 13.1. *В начальные моменты времени неоднородности обычной материи во Вселенной существовали.*

Предположим, что в начальный момент времени t_0 во Вселенной не было неоднородностей обычной материи: $P(x,t_0) \equiv R(x)$, т.е. информационная дивергенция в произвольный момент времени $t \geq t_0$ также равна нулю. Это означает, что в произвольный момент времени $t \geq t_0$ во Вселенной также нет неоднородностей обычной материи. Но так как в настоящее время в нашей Вселенной, очевидно, есть неоднородности обычной материи (скопления галактик, галактики, звезды, планеты, молекулы, атомы, частицы [117, 126]), то из этого следует, что в начальные моменты времени во Вселенной неоднородности обычной материи были.

Примечание 13.1. Данное утверждение справедливо при любой физической природе неоднородностей, при любом физическом механизме образования неоднородностей, любой физической модели формирования неоднородностей, например, [128, 129-131].

Примечание 13.2. Данный результат дает информационным методом строгое обоснование приведенного в начале раздела утверждения Я.Б. Зельдовича с соавторами.

Утверждение 13.2. *В начальные моменты времени неоднородности темной материи во Вселенной существовали.*

Доказательство аналогично предыдущему.

Утверждение 13.3. В начальный и последующие моменты времени неоднородностей в темной энергии не было. Темная энергия (вакуум) была распределена равномерно.

$$R(x) = \begin{cases} 0 \text{ при } -\infty < x \le 0 \\ \frac{1}{a} \text{ при } 0 < x \le a \\ 0 \text{ при } a < x \le \infty \end{cases}.$$

Информационная дивергенция $D(P(x)/R(x))$ темной энергии в настоящий момент времени равна нулю. Тогда согласно утверждению 4.4 в начальный и последующие моменты времени информационная дивергенция $D(P(y)/R(y))$ темной энергии равна нулю.

13.4. Оценка характеристик начальных неоднородностей Вселенной

Оценим объем информации, содержащейся в начальной неоднородности, и массу начальной неоднородности.

Оценка объема информации в начальной неоднородности. Сформулируем исходные для оценок предпосылки.

1) Развитие, свойства и характеристики Вселенной полностью определяют физические законы природы.

2) Физические законы природы содержатся в начальных неоднородностях нашей Вселенной («записаны» в начальных неоднородностях Вселенной).

3) Физические законы природы характеризуются объемом классической информации – $I_{фз}$.

4) Объем классической информации в начальных неоднородностях Вселенной $I_{нн}$ должен быть не меньше объема информации в физических законах природы $I_{нн} \ge I_{фз}$.

Оценка объема классической информации, содержащейся в физических законах природы. Точное значение объема классической информации, содержащейся в физических законах природы определить сложно, поэтому приведем несколько оценок.

1) Если Вселенная описывается n параметрами, то необходимо иметь n^2 физических законов, описывающих попарные взаимосвязи между параметрами (учитываем попарные взаимосвязи). При наличии большего числа взаимосвязанных параметров следует учитывать

большее число законов. Будем считать, что описание одного закона требует I бит. Тогда на описание всех n^2 физических законов, описывающих Вселенную, необходимо: $I_{ОпВсел} = n^2 I$. Пусть $n = 100$, $I = 1 ГБайт$ (что более 3000 страниц текста – явно завышенная оценка), тогда $I_{ОпВсел} = 10000 ГБайт$. (10^{14} байт) [19].

2) Объем классической информации в курсе физики, содержащем 2000 страниц, равен примерно 10^9 бит.

3) Объем классической информации в файлах, описывающих физические законы [132], равен примерно 10^7 бит.

4) Объем информации в файле, описывающем уравнения Эйнштейна [132], равен примерно 10^6 бит.

Примечание 13.3. Приведем сведения, изложенные в [133, стр. 180]. До момента времени $t = 10^{-44}$ с во Вселенной действовал закон, определяющий суперобъединенное взаимодействие (взаимодействие, объединяющее гравитационное, сильное, слабое и электромагнитное взаимодействия). После момента времени $t = 10^{-44}$ с до момента времени $t = 10^{-34}$ с. во Вселенной действовали законы, определяющие гравитационное и великое взаимодействие (взаимодействие, объединяющее сильное, слабое и электромагнитное взаимодействия). После момента времени $t = 10^{-34}$ с до момента времени $t = 10^{-10}$ с во Вселенной действовали законы, определяющие гравитационное, сильное и электрослабое взаимодействия. После момента времени $t = 10^{-10}$ с по настоящее время во Вселенной действуют законы, определяющие все известные виды взаимодействия (гравитационное, слабое, сильное и электромагнитное взаимодействия). В последующих оценках будем считать, что законы природы сформировались до момента времени $t = 10^{-10}$ с.

Оценка массы начальной неоднородности, определяющей развитие нашей Вселенной. Сравним массы необходимые для формирования одного бита микроинформации и одного бита классической информации (макроинформации). Значение избыточности массы, необходимой для формирования одного бита классической информации, получим из оценки избыточности массы аминокислот и азотистых оснований, используемой для формирования 1 бита классической информации, по отношению к массе, необходимой для формирования одного бита микроинформации.

Оценка массы, необходимой для **формирования одного бита микроинформации.** Энергия и масса, необходимые для формирования одного бита микроинформации, равны $E_{бит} = kT \ln 2$, $m_{бит} = (kT \ln 2) / c^2$ [44, 64, 86].

В таблице 13.1 приведены значения энергии и массы носителя 1 бита микроинформации при температурах 3K и 300K.

Таблица 13.1

Энергия и масса носителя 1 бита микроинформации

Температура		T = 3K	T = 300K
Минимальная энергия на 1 бит (дж)	E = kT	4,14199E-23	4,14199E-21
Минимальная масса на 1 бит (кг)	$M = kT/c^2$	4,60858E-40	4,60858E-38

Оценка массы, необходимой для формирования одного бита классической информации. В среднем на 1 бит классической информации (бки) в аминокислотах используется масса 4,43E-25кг, избыточность при T = 3K составляет 9,6E+14, в азотистые основаниях и сахарах в среднем на 1 бит используется масса 1,05E-25кг, избыточность при T = 3K составляет 1E+14.

Таким образом, принимаем, что для формирования одного бита классической информации необходима масса примерно в 10^{15} раз большая, чем масса необходимая для формирования одного бита микроинформации.

Заметим, что в среднем в атомах на 1 бит информации используется $\approx 1,69 \cdot 10^{-28}$ кг массы вещества (например, в атоме водорода $\approx 1,6 \cdot 10^{-28}$, в атоме лития $\approx 1,93 \cdot 10^{-28}$), что примерно в $\approx 10^{12}$ раз больше массы, необходимой для формирования одного бита микроинформации.

Итак, считаем, что на один бит классической информации требуется в 10^{15} раз большая энергия (масса) носителя (неоднородности), чем на один бит микроинформации.

Оценка массы начальной неоднородности. Принимая, что

$$E_{бит\ Мк} = kT\ ,\ E_{бит\ Кл} \approx 10^{15} E_{бит,\ \ Мк} \approx 10^{15} kT\ ,$$

получаем оценку массы начальной неоднородности

$$m_{нн} \geq \frac{I_{нн} \cdot E_{бит\ Кл}}{c^2} \geq \frac{I_{нн} \cdot 10^{15} \cdot kT}{c^2} \geq \frac{I_{фз} \cdot 10^{15} \cdot kT}{c^2}\ .$$

Поскольку $T = \dfrac{10^{10}}{t^{1/2}}$, то $m_{нн} \geq= \dfrac{10^{25} \cdot k \cdot I_{фз}}{t^{1/2} \cdot c^2}$.

Численные оценки массы начальных неоднородностей, соответствующих заданным объемам классической информации в период от 10^{-35} секунды до одной секунды, приведены в таблице 13.2.

Представим оценки массы начальных неоднородностей для ранее приведенных примеров.

1) Для записи 1 бита классической информации при текущей температуре Вселенной T = 2,7 K необходима масса, не меньшая, чем $M_{bit} = E_{bit} / c^2 \approx 10^{15} 10^{-23}$ дж/(9 10^{16} м^2/с^2) $\approx 10^{-25}$ кг, а при T=2700 K необходима масса не меньшая $\approx 10^{-22}$ кг.

Пусть Вселенная описывается n параметрами. При этом масса, содержащая информацию о Вселенной (10^{14} бит), должна быть не менее 10^{-12}кг (примерно масса 10^{15} протонов). При температуре Вселенной T=2700 K необходима масса не меньшая, чем 10^{-9}кг (примерно масса 10^{18} протонов).

2) Объем классической информации в курсе физики, содержащем 2000 страниц, равен примерно 10^9 бит. При температуре Вселенной T=2,7 K необходима масса не меньшая, чем 10^{-17}кг, а при T=2700 K необходима масса не меньшая, чем 10^{-14}кг (примерно масса 10^{13} протонов).

3) Объем классической информации в файлах, описывающих физические законы [189], равен примерно 10^7 бит. При температуре Вселенной T=2,7 K необходима масса не меньшая, чем 10^{-19}кг, а при T=2700 K необходима масса не меньшая, чем 10^{-16}кг (примерно масса 10^{11} протонов).

4) Объем информации в файле, описывающем уравнения Эйнш- тейна, равен примерно 10^6 бит. При температуре Вселенной T=2,7 K необходима масса не меньшая, чем 10^{-20}кг, а при T=2700 K необходима

Таблица 13.2.

Оценки массы начальных неоднородностей содержащих заданные объемы классической информации в определенные моменты времени (при определенной температуре)

Время, с	Темпера-тура, K	Энергия Бит/дж	Масса на 10^2бки	Масса на 10^4бки	Масса на 10^6 бки	Масса на 10^8 бки	Масса на 10^10 бки	Масса на 10^12 бки	Масса на 10^14 бки	Масса на 10^16 бки
1E-35	3,16E+27	4,37E+04	4,86E+04	4,86E+06	4,86E+08	4,86E+10	4,86E+12	4,86E+14	4,86E+16	4,86E+18
1E-34	1,00E+27	1,38E+04	1,54E+04	1,54E+06	1,54E+08	1,54E+10	1,54E+12	1,54E+14	1,54E+16	1,54E+18
1E-32	1,00E+26	1,38E+03	1,54E+03	1,54E+05	1,54E+07	1,54E+09	1,54E+11	1,54E+13	1,54E+15	1,54E+17
1E-30	1,00E+25	1,38E+02	1,54E+02	1,54E+04	1,54E+06	1,54E+08	1,54E+10	1,54E+12	1,54E+14	1,54E+16
1E-20	1,00E+20	1,38E-03	1,54E-03	1,54E-01	1,54E+01	1,54E+03	1,54E+05	1,54E+07	1,54E+09	1,54E+11
1E-10	1,00E15	1,38E-08	1,54E-08	1,54E-06	1,54E-04	1,54E-02	1,54E+00	1,54E+02	1,54E+04	1,54E+06
1E-06	1,00E+13	1,38E-10	1,54E-10	1,54E-08	1,54E-06	1,54E-04	1,54E02	1,54E+00	1,54E+02	1,54E+04
1E-05	3,16E+12	4,37E-11	4,86E-11	4,86E-09	4,86E-07	4,86E-05	4,86E03	4,86E-01	4,86E+01	4,86E+03
1E-04	1,00E+12	1,38E-11	1,54E-11	1,54E-09	1,54E-07	1,54E-05	1,54E03	1,54E-01	1,54E+01	1,54E+03
1E-03	3,16E+11	4,37E-12	4,86E-12	4,86E-10	4,86E-08	4,86E-06	4,86E04	4,86E-02	4,86E+00	4,86E+02
1E-02	1,00E+11	1,38E-12	1,54E-12	1,54E-10	1,54E-08	1,54E-06	1,54E04	1,54E-02	1,54E+00	1,54E+02
1E-01	3,16E+10	4,37E-13	4,86E-13	4,86E-11	4,86E-09	4,86E-07	4,86E05	4,86E-03	4,86E-01	4,86E+01

масса, не меньшая, чем 10^{-17}кг (примерно масса 10^3 протонов). При T=2,7 10^{12} K необходима масса не меньшая, чем 10^{-8}кг ($\approx$ масса одной планковской частицы).

В таблице 13.3 приведены оценки массы средних начальных неоднородностей Вселенной необходимой для хранения классической информации (о физических законах, содержащих 10^2 – 10^{12} бит).

Таблица 13.3

Оценки средней массы
начальных неоднородностей Вселенной

Время от начала (с)	Температура (K)	Масса (кг)/ 10^2 бки	Масса (кг)/ 10^6 бки	Масса (кг)/ 10^7 бки	Масса (кг)/ 10^8 бки	Масса (кг)/ 10^12 бки
1,00E-34	1,00E+27	1,54E+04	1,54E+08	1,54E+09	1,54E+10	1,54E+14
1,00E-32	1,00E+26	1,54E+03	1,54E+07	1,54E+08	1,54E+09	1,54E+13
1,00E-10	1,00E+15	1,54E-08	1,54E-04	1,54E-03	1,54E-02	1,54E+02

Рост неоднородностей при степенном и инфляционном расширении Вселенной. При степенном расширении Вселенной в период 10^{-34} с – 10^{-10} с из 1 бита классической информации формируется примерно 160 бит классической информации. Следовательно, для получения 10^7 бит классической информации в момент 10^{-10} с необходимо иметь примерно 10^5 классической информации в момент времени $10^{-34}c$ - массу порядка 10^7кг, что, по-видимому, невозможно. Поэтому, начальная информация должна была в значительной мере сформироваться при инфляционном расширении Вселенной.

Пусть радиус Вселенной увеличивается как $r(t) \propto e^{\alpha t}$, где α – показатель степени расширения. Тогда в момент времени $t_0 + t$ объем информации будет равен

$$I(t_0+t) - I(t_0) = \log_2 \frac{V(t_0+t)}{V(t_0)} = \log_2 \frac{r^3(t_0+t)}{r^3(t_0)} = .$$

$$= 3\log_2 \frac{r(t_0+t)}{r(t_0)} = 3\log_2 \frac{e^{\alpha(t_0+t)})}{e^{\alpha t_0}} = 3\log_2 e^{\alpha t} = \alpha t \cdot 3\log_2 e$$

Оценку α (α=1,15E+34 1/c) получим из соотношения

$r(10^{-32}c) = 10^{50} r(10^{-34}c)$. [133].

При инфляционном расширении Вселенной в период 10^{-34} с – 10^{-32} с из одного бита классической информации, содержащейся в начальных неоднородностях Вселенной, формируется объем информации порядка 10^3 бит классической информации. В ходе дальнейшего степенного расширения Вселенной от момента времени $10^{-32}c$ до момента времени $10^{-10}c$ из каждого бита классической информации формируется примерно 150 бит классической информации. Следовательно, при инфляционном расширении в период 10^{-34} с – 10^{-32} с и дальнейшем степенном расширении Вселенной в период $10^{-32}c$ – $10^{-10}c$ на один классический бит информации формируется примерно 10^5 бит классической информации. Таким образом, классической информации, формируемой из планковской частицы явно недостаточно для записи законов природы. Для формирования к моменту времени $10^{-10}c$ примерно 10^7 бит классической информации необходимо иметь в момент $10^{-34}c$ начальную информацию объемом примерно 10^2 бит классической информации и, соответственно, массу неоднородностей Вселенной порядка 10^4кг, необходимую для «записи» физических законов. Такова оценка массы начальной неоднородности, содержащей все законы природы в момент времени $10^{-10}c$. Если в качестве значения массы на 1 бит принять оценку для атома водорода (протона) (10^{-28}кг), то масса начальных неоднородностей в момент $10^{-34}c$ составляет порядка 10кг. Если в качестве значения массы на 1 бит принять оценку для нейтрино – 10^{-36}кг (минимально возможная оценка), то масса начальных неоднородностей в момент $10^{-34}c$ составляет порядка 10^{-7}кг.

Это свидетельствует в пользу уточненной гипотезы о начальной информации: «...в момент $10^{-34}c$, вся Вселенная была заключена в области радиусом 10^{-24}см... В этом объеме уже была неоднородность из которой сформировалась вся информация о будущем Вселенной...».

9. ОПТИМАЛЬНЫЕ ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

Используя информационный подход, можно показать, что существуют оптимальные черные дыры, минимизирующие объем информации в произвольной области Вселенной и накладывающие ограничения снизу на общий объем ее информации. Источником существования оптимальных черных дыр является материя двух типов: с квадратичной и линейной зависимостью объема информации от ее массы. При наличии только одного вида материи оптимальных черных дыр не существует. Рассмотрим характеристики оптимальных черных дыр в системах «излучение (фотоны) – черные дыры», «протоны – черные дыры», «несколько типов обычного вещества – черные дыры».

14.1. Определение оптимальных черных дыр

Оценим объем информации в области Вселенной массы $M_{Обл\ Вс}$ при произвольной квадратичной связи между информацией и энергией (массой) черной дыры $I_{Чд} = \alpha \cdot M_{Чд}^2$ и произвольной линейной связи между информацией и энергией (массой) обычного вещества $I_{Ов} = \beta \cdot M_{Ов}$ (при произвольных неотрицательных коэффициентах α, β). Суммарный объем информации в области Вселенной массы $M_{Обл\ Вс}$, состоящей из обычного вещества и одной черной дыры, равен

$$I_{Обл\ Вс} = I_{Чд} + I_{Ов} = \alpha \cdot M_{Чд}^2 + \beta \cdot M_{Ов} = \alpha \cdot M_{Чд}^2 + \beta \cdot (M_{Обл\ Вс} - M_{Чд}).$$

Найдем условие оптимальности черной дыры.

Т.к.

$$\frac{\partial I_{Обл\ Вс}}{\partial M_{Чд}} = \frac{\partial (I_{Чд} + I_{Ов})}{\partial M_{Чд}} = \frac{\partial (\alpha \cdot M_{Чд}^2 + \beta \cdot (M_{Обл\ Вс} - M_{Чд}))}{\partial M_{Чд}} = .$$

$= 2\alpha \cdot M_{Чд} - \beta = 0$, а $\dfrac{\partial I^2_{Обл\ Вс}}{\partial M_{Чд}} = 2\alpha > 0$, то это условие есть условие минимума. Следовательно,

$$M_{Чд\,опт} = \frac{\beta}{2\alpha}.$$

Утверждение 14.1. *Масса черной дыры, при которой минимален объем информации в области Вселенной массы* $M_{Обл\ Вс}$*, состоящей из обычного вещества и одной черной дыры, равна* $M_{Чд\,опт} = \frac{\beta}{2\alpha}$.

Определим такую черную дыру как *оптимальную*. Очевидно, что масса оптимальной черной дыры не зависит от массы области Вселенной, она пропорциональна коэффициенту, связывающему объем информации с массой обычного вещества и обратно пропорциональна коэффициенту, связывающему объем информации с массой черной дыры.

Примечание 14.1. Оптимальные черные дыры могут существовать при наличии во Вселенной материи по крайней мере двух типов: с нелинейной (например, $I = \gamma \cdot M^{\delta}$ при $\gamma > 0, \delta > 1$) и линейной зависимостью объема информации от массы.

Утверждение 14.2. *Объем информации в оптимальной черной дыре пропорционален квадрату коэффициента, связывающего объем информации с массой в обычном веществе, и обратно пропорционален коэффициенту, связывающего объем информации с массой в черной дыре:*

$$I_{Чд\,опт} = \frac{\beta^2}{4\alpha}.$$

Примечание 14.2. Рассмотрим двойственную задачу определения максимальной массы системы «черная дыра – обычное вещество» при заданном объеме информации в системе. Оценим массу $M_{Обл\ Вс}$ области Вселенной, содержащей заданный объем информации $I_{Обл\ Вс}$ при произвольной квадратичной связи между информацией и энергией (массой) черной дыры $I_{Чд} = \alpha \cdot M_{Чд}^2$ или $M_{Чд}^2 = \frac{1}{\alpha} I_{Чд}$ ($M_{Чд} = \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \sqrt{I_{Чд}}$), и произвольной линейной связи между информацией и энергией (массой) обычного вещества $I_{Ов} = \beta \cdot M_{Ов}$ или

$M_{Ов} = \frac{1}{\beta} I_{Ов}$ (при произвольных неотрицательных коэффициентах α, β). Суммарная масса $M_{Обл\ Вс}$ области Вселенной, состоящей из обычного вещества и одной черной дыры, при $I_{Чд} + I_{Ов} = I_{Обл\ Вс}$ равна

$$M_{Обл\ Вс} = M_{Чд} + M_{Ов} = \frac{1}{\sqrt{\alpha}}\sqrt{I_{Чд}} + \frac{1}{\beta} I_{Ов} = \frac{1}{\sqrt{\alpha}}\sqrt{I_{Чд}} + \frac{1}{\beta}(I_{Обл\ Вс} - I_{Чд}).$$

Найдем условие оптимальности черной дыры.

Т.к. $\frac{\partial M_{Обл\ Вс}}{\partial I_{Чд}} = \frac{\partial(M_{Чд} + M_{Ов})}{\partial I_{Чд}} = \frac{\partial(\frac{1}{\sqrt{\alpha}}\sqrt{I_{Чд}} + \frac{1}{\beta}\cdot(I_{Обл\ Вс} - I_{Чд}))}{\partial I_{Чд}} =$

$$= \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \cdot \frac{1}{2\sqrt{I_{Чд}}} - \frac{1}{\beta} = 0,$$

а $\frac{\partial^2 M_{Обл\ Вс}}{\partial I_{Чд}^2} = -\frac{1}{\sqrt{\alpha}} \cdot \frac{1}{4 I_{Чд}^{3/2}} < 0$, то данное условие является условием максимума.

Т.к. $\frac{1}{\sqrt{\alpha}} \cdot \frac{1}{2\sqrt{I_{Чд}}} = \frac{1}{\beta}$, $\frac{\beta}{2\sqrt{\alpha}} = \sqrt{I_{Чд}}$, то $I_{Чд\ опт} = \frac{\beta^2}{4\alpha}$ и масса черной дыры, максимизирующая массу $M_{Обл\ Вс}$ рассматриваемой области Вселенной при заданном объеме информации области Вселенной $I_{Обл\ Вс}$, равна

$$M_{Чд\ оптр} = \frac{1}{\sqrt{\alpha}}\sqrt{I_{Чд}} = \frac{1}{\sqrt{\alpha}}\sqrt{\frac{\beta^2}{4\alpha}} = \frac{\beta}{2\alpha}.$$

Утверждение 14.1.а. *Объем информации в черной дыре, при котором масса области Вселенной $M_{Обл\ Вс}$, состоящей из обычного вещества и одной черной дыры и содержащей заданный объем информации $I_{Обл\ Вс}$, пропорционален квадрату коэффициента, связывающего объем информации с массой в обычном веществе и обрат-*

но пропорциональна коэффициенту, связывающего объем информации с массой в черной дыре:

$$I_{Чд\,опт} = \frac{\beta^2}{4\alpha}.$$

Утверждение 14.2.а. *Масса черной дыры, при которой максимальна масса области Вселенной* $M_{Обл\,Вс}$, *содержащей заданный объем информации* $I_{Обл\,Вс}$, *состоящей из обычного вещества и одной черной дыры, равна*

$$M_{Чд\,опт} = \frac{\beta}{2\alpha}.$$

Вывод: объемы информации и массы, полученные при решении прямой задачи (минимизация объема информации в системе «черная дыра – обычное вещество» при заданной массе системы – утверждения 14.1, 14.2) и двойственной задачи (максимизация массы системы «черная дыра – обычное вещество» при заданном объеме информации в системе утверждения 14.1.а, 14.2.а), совпадают. Тем самым, понятие оптимальной черной дыры однозначно и все последующие утверждения и соотношения тождественны для прямой и обратной задачи.

Поскольку масса черной дыры, при которой минимален объем информации в области Вселенной, состоящей из черной дыры и обычного вещества, не зависит ни от полной массы области Вселенной (Вселенной), ни от массы обычного вещества в рассматриваемой области, то минимальный объем информации в области Вселенной (Вселенной) достигается, если область Вселенной (Вселенная) состоит из одних оптимальных черных дыр. Максимальное количество оптимальных черных дыр в области Вселенной (Вселенной) равно

$$N_{Чд\,опт\,Обл\,Вс} = \frac{M_{Обл\,Вс}}{M_{Чд\,опт}} = M_{Обл\,Вс}\frac{2\alpha}{\beta} \quad \left(N_{Чд\,опт\,Вс} = \frac{M_{Вс}}{M_{Чд\,опт}} = M_{Вс}\frac{2\alpha}{\beta} \right),$$

а минимальный объем информации в области Вселенной (Вселенной), состоящей из черных дыр, равен

$$I_{Обл\,Вс\,Чд} = N_{Чд\,опт} \cdot I_{Чд\,опт} = M_{Обл\,Вс} \cdot \frac{2\alpha}{\beta}\frac{\beta^2}{4\alpha} = \frac{M_{Обл\,Вс} \cdot \beta}{2}$$

$$\left(I_{Вс\,Чд} = N_{Чд\,опт} \cdot I_{Чд\,опт} = M_{Вс} \cdot \frac{2\alpha}{\beta}\frac{\beta^2}{4\alpha} = \frac{M_{Вс} \cdot \beta}{2} \right).$$

Примечание 14.3. Далее мы будем употреблять термин «Вселенная», хотя утверждения справедливы и для произвольной области Вселенной.

Утверждение 14.3. *Минимальный объем информации во Вселенной, состоящей из оптимальных черных дыр в два раза меньше объема информации во Вселенной той же массы, наполненной только обычным веществом:*

$$I_{Вс\,Чд} = \frac{M_{Вс} \cdot \beta}{2}.$$

Утверждения 14.1, 14.2, 14.1.а, 14.2.а, 14.3 справедливы для любого вида линейной зависимости объема информации от массы в обычном веществе, важными представителями которого являются излучение и водород. Представим характеристики оптимальных черных дыр в системах «излучение (фотоны) – черные дыры», «водород (протоны) – черные дыры» и системах «несколько типов обычного вещества – черные дыры».

14.2. Вселенная, наполненная излучением

Рассмотрим Вселенную, наполненную обычным веществом (излучением). Поскольку энергия, требуемая для передачи, чтения, записи одного бита при температуре *T,* не может быть меньше величины $E_{min} = kT\ ln2$, то требуемая масса не может быть меньше величины $M_{min}= (kT\ ln2)/c^2$. Легко видеть, что для записи *1* бита при $T = 1$ K необходима масса не меньшая, чем $M_{бит} = E_{бит}/c^2 \approx 10^{-23}$ *Дж/(9 ·* 10^{16} *м*^{2}*/с*^{2}*)* $= 10^{-40}$ *кг.*

Поскольку $\alpha = \dfrac{2\pi \cdot G}{\hbar \cdot c \cdot \ln 2}$, а для излучения $\beta = \dfrac{c^2}{k \cdot T \cdot \ln 2}$ (T – температура излучения), то $M_{Чд\,опт} = \dfrac{\beta}{2\alpha} = \dfrac{\hbar \cdot c^3}{4\pi \cdot G \cdot k \cdot T}$ и объем информации в оптимальной черной дыре, сформированной в системе «черная дыра – излучение», равен $I_{Чд\,опт} = \dfrac{\beta^2}{4\alpha} = \dfrac{\hbar \cdot c^5}{8\pi \cdot G \cdot k^2 \cdot T^2 \cdot \ln 2}$ бит. Полученный результат сформулируем в виде следующего утверждения.

Утверждение 14.4. *Концентрация массы* $M = \dfrac{\hbar \cdot c^3}{4\pi \cdot G \cdot k \cdot T}$ *в оптимальной черной дыре минимизирует объем информации в системе*

«излучение — черные дыры».

Очевидно, что масса оптимальной черной дыры, возникшей в системе «излучение – черная дыра», обратно пропорциональна температуре излучения.

Общее количество оптимальных черных дыр $N_{Чд\,опт}$ во Вселенной, имеющей массу $M_{Вс}$, состоящей из излучения и черных дыр, равно

$$N_{Чд\,опт} = M_{Вс}\frac{2\alpha}{\beta} = M_{Вс}\frac{4\pi \cdot G \cdot k \cdot T}{\hbar \cdot c^3}.$$

Утверждение 14.5. *Вселенная, имеющая массу* $M_{Вс}$, *состоящая из излучения и* $N_{Чд\,опт} = M_{Вс}\frac{4\pi \cdot G \cdot k \cdot T}{\hbar \cdot c^3}$ *черных дыр массой* $M_{Чд.опт} = \frac{\hbar \cdot c^3}{4\pi \cdot G \cdot k \cdot T}$, *содержит минимально возможный объем информации, равный* $I_{Вс\,мин} = M_{Вс}\frac{c^2}{2 \cdot k \cdot T \cdot \ln 2}$ *бит.*

Минимально возможное количество информации во Вселенной, имеющей массу $M_{Вс}$, состоящей из излучения и черных дыр, пропорционально энергии Вселенной, обратно пропорционально постоянной Больцмана и температуре Вселенной. Интересно отметить, что минимальный объем информации во Вселенной не зависит от гравитационной постоянной и постоянной Планка. Т.к. $M_{Чд\,опт} = \frac{\hbar \cdot c^3}{4\pi \cdot G \cdot k \cdot T} = \frac{1,05 \cdot 10^{-27} \cdot (2,99)^3 \cdot 10^{30}}{4 \cdot 3,14 \cdot 6,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1,38 \cdot 10^{-16} \cdot 2,7} = 9,09 \cdot 10^{25}$ $=$

$= 9,09 \cdot 10^{22}$ кг, то масса черной дыры, при которой достигается минимум информации во Вселенной массой $M_{Вс}$, состоящей из излучения и черных дыр, не зависит от полной массы Вселенной, что составляет примерно одну семидесятую массы Земли, равной $6 \cdot 10^{24}$ кг. Объем информации в оптимальной черной дыре $I_{Чд\,опт} \approx 1,26 \cdot 10^{62}$ бит и в нашей Вселенной таких оптимальных черных дыр может быть около 10^{29}. При этом минимальный объем

информации во Вселенной, масса которой равна массе нашей Вселенной $\approx 10^{52}$ кг, состоящей из 10^{29} оптимальных черных дыр, равен

$$I_{Вс\,мин} = N_{Чд\,опт} \cdot I_{Чд\,мин} = \frac{c^2}{2 \cdot k \cdot T \cdot \ln 2} \approx 1,56 \cdot 10^{91} \text{ бит.}$$

При $T \approx 2,7^0 \cdot 10^n K$ масса оптимальной черной дыры примерно равна $\approx 10^{22-n}$ кг, а объем информации в ней – $\approx 10^{62-2n}$. Так при $T \approx 2,7^0 \cdot 10^{10} K$ (начало нуклеосинтеза) масса оптимальной черной дыры примерно равна 10^{13} кг, а объем информации в оптимальной черной дыре примерно равен 10^{42} бит.

Утверждение 14.6. *Объем информации во Вселенной, имеющей массу* $M_{Вс} = 10^{52}$ *кг, состоящей из излучения и черных дыр, находится в диапазоне* $10^{91} \le I_{Вс} \le 10^{120}$ *бит.*

Утверждение 14.7. *Объем информации, содержащейся во Вселенной, имеющей массу* $M_{Вс}$, *состоящей из излучения и черных дыр, находится в диапазоне*

$$M_{Вс} \cdot \frac{c^2}{2 \cdot k \cdot T \cdot \ln 2} \le I_{Вс} \le M_{Вс}^{\ 2} \cdot \frac{2\pi \cdot G}{\hbar \cdot c \cdot \ln 2}.$$

14.3. Вселенная, наполненная водородом (протонами)

Рассмотрим Вселенную, наполненную водородом. Как показано в разделе 8, неопределенность (объем информации) в структуре протона равна 2,837 бита, а при учете неопределенности ориентации спина следует добавить 1 бит - 3,837 бита. Объем информации в кварках (по 1 биту в каждом) – 3 бита, а объем цветовой информации - 2,585 бит. Т.о., полная неопределенность (объем информации) равна 9,422 бита. Атом водорода в основном состоянии ($\left|IV\right\rangle = \frac{\left|\uparrow\downarrow\right\rangle - \left|\downarrow\uparrow\right\rangle}{2}$) содержит 11,422 бит (1 бит в структуре атома, 9,422 бит в протоне и 1 бит в электроне).

Поскольку $\alpha = \dfrac{2\pi \cdot G}{\hbar \cdot c \cdot \ln 2}$, а для атомов водорода $\beta = \dfrac{11{,}422}{m_в} \approx \dfrac{11{,}422}{m_p}$ ($m_в$ - масса атома водорода, m_P - масса протона), то $M_{Чд\,опт} = \dfrac{\beta}{2\alpha} = \dfrac{11{,}422 \cdot \ln 2 \cdot \hbar \cdot c}{4\pi \cdot m_p \cdot G}$ и объем информации в оптимальной черной дыре системы «водород – черная дыра» равен $I_{Чд\,опт} = \dfrac{\beta^2}{4\alpha} = \dfrac{(11{,}422)^2 \cdot \hbar \cdot c \cdot \ln 2}{8\pi \cdot m_p^2 \cdot G}$ бит. Полученный результат сформулируем в виде следующего утверждения.

Утверждение 14.8. *Концентрация массы* $M_{Чд.опт} = \dfrac{11{,}422 \cdot \ln 2 \cdot \hbar \cdot c}{4\pi \cdot m_p \cdot G}$ *в оптимальной черной дыре минимизирует объем информации в системе «водород — черные дыры».*

Число оптимальных черных дыр $N_{Чд\,опт}$ во Вселенной, имеющей массу $M_{Вс}$, состоящей из атомов водорода и черных дыр, равно

$$N_{Чд\,опт} = M_{Вс}\,\frac{2\alpha}{\beta} = \frac{4\pi \cdot M_{Вс} \cdot m_p \cdot G}{11{,}422 \cdot \ln 2 \cdot \hbar \cdot c}.$$

Утверждение 14.9. *Минимально возможный объем информации во Вселенной, имеющей массу* $M_{Вс}$, *состоящей из атомов водорода и черных дыр, равен*

$$I_{Вс\,мин} = I_{Чд\,опт} \cdot N_{Чд\,опт} = \frac{M_{Вс} \cdot \beta}{2} = M_{Вс}\,\frac{11{,}422}{2 \cdot m_p} = 5{,}7\,\frac{M_{Вс}}{m_p}\ \textit{бит},$$

т.е. пропорционален массе Вселенной, объему информации в атоме водорода и обратно пропорционален двум массам атома водорода (протона).

Утверждение 14.10. *Вселенная, имеющая массу* $M_{Вс}$, *состоящая*

из атомов водорода и $N_{Чд\,опт} = M_{Вс}\dfrac{4\pi \cdot M_{Вс} \cdot m_p \cdot G}{11{,}422 \cdot \ln 2 \cdot \hbar \cdot c}$ *черных дыр массой* $M_{Чд.опт} = \dfrac{11{,}422 \cdot \ln 2 \cdot \hbar \cdot c}{4\pi \cdot m_p \cdot G}$ *каждая, содержит минимально возможный объем информации, равный*

$$I_{Вс\,мин} = 5{,}7\frac{M_{Вс}}{m_p} \text{ бит.}$$

Важно отметить, что минимальный объем информации во Вселенной, состоящей из атомов водорода и черных дыр, не зависит от гравитационной постоянной, скорости света и постоянной Планка.

Оценим массу оптимальной черной дыры:

$$M_{Чд\,опт} = \frac{11{,}422 \cdot \ln 2 \cdot \hbar \cdot c}{4\pi \cdot m_p \cdot G} = \frac{11{,}422 \cdot 0{,}69 \cdot 1{,}05 \cdot 10^{-27} \cdot 2{,}99 \cdot 10^{10}}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-24} \cdot 6{,}67 \cdot 10^{-8}} \approx$$

$\approx 1{,}78 \cdot 10^{14}\,г = 1{,}78 \cdot 10^{11}$ кг, т.е. масса черной дыры, при которой достигается минимум информации во Вселенной массой $M_{Вс}$, состоящей из атомов водорода и черных дыр, не зависит от полной массы Вселенной и равна $1{,}78 \cdot 10^{11}$ кг. Это примерно граничная масса первичной черной дыры, равная $\approx 10^{12}$ кг. Объем информации в оптимальной черной дыре равен

$$I_{Чд\,опт} = \frac{\beta^2}{4\alpha} = \frac{(11{,}422)^2 \cdot \hbar \cdot c \cdot \ln 2}{8\pi \cdot m_p^2 \cdot G} =$$

$$= \frac{(11{,}422)^2 \cdot 0{,}69 \cdot 1{,}05 \cdot 10^{-27} \cdot 2{,}99 \cdot 10^{10}}{8 \cdot 3{,}14 \cdot (1{,}66)^2 \cdot 10^{-48} \cdot 6{,}67 \cdot 10^{-8}} = 3{,}76 \cdot 10^{38} \text{ бит.}$$

В нашей Вселенной оптимальных черных дыр может быть около 10^{41}. Минимальный объем информации во Вселенной, массой нашей Вселенной $\approx 10^{52}$ кг, состоящей из 10^{41} оптимальных черных дыр и

только из них, равен

$$I_{Bc\,мин} = 5,7\frac{M_{Bc}}{m_p} \approx 3,31 \cdot 10^{79} \text{ бит.}$$

Утверждение 14.11. *Объем информации, содержащейся во Вселенной, имеющей массу* M_{Bc}*, состоящей из атомов водорода и черных дыр, находится в диапазоне*

$$5,7\frac{M_{Bc}}{m_p} \le I_{Bc} \le M_{Bc}^{2} \cdot \frac{2\pi \cdot G}{\hbar \cdot c \cdot \ln 2}.$$

Отсюда следует:

Утверждение 14.12. *Объем информации во Вселенной, имеющей массу* $M_{Bc} = 10^{52}$ *кг, состоящей из атомов водорода и черных дыр, находится в диапазоне* $10^{79} \le I_{Bc} \le 10^{120}$ *бит.*

14.4. Сравнение характеристик оптимальных черных дыр в системах «излучение (фотоны) – черные дыры», «протоны – черные дыры».

Сравним характеристики оптимальных черных дыр в системах «излучение (фотоны) – черные дыры», «водород (протоны) – черные дыры». В таблице 14.1 приведены численные значения используемых для расчетов параметров.

Таблица 14.1

Численные значения параметров, используемых для расчетов

Параметр	Обозначение, (единица измерения)	Значение
Температура излучения (фотонов)	T (K)	2,7°
Масса протона	m_P (г)	1,67E-24
Объем информации в протоне	I(p) (бит)	5,837
Нормализованная постоянная Планка	$\hbar$ (эрг с)	1,05E-27
Скорость света	C (см/с)	3E+10
Гравитационная постоянная	G (дин/см^2·г^2)	6,67E-08

Постоянная Больцмана	K (эрг/К)	1,38E-16
Масса Вселенной	M (г)	1E+55
Число Пи	π	3,141593
Логарифм натуральный числа 2	ln2	0,693147

В таблице 14.2 приведены сведения о характеристиках оптимальных черных дыр в системах «излучение (фотоны) – черные дыры» и «водород (протоны) – черные дыры)».

Таблица 14.2

Характеристики оптимальных черных дыр
в системах «излучение (фотоны) – черные дыры»
и «водород (протоны) – черные дыры)».

Характеристика	Система «излучение (фотоны) – черные дыры»	Система «водород (протоны) – черные дыры»	Примечание
1	2	3	4
Коэффициент пропорциональности «информация – квадрат массы» для черных дыр	$\alpha = \dfrac{2\pi \cdot G}{\hbar \cdot c \cdot \ln 2}$	$\alpha = \dfrac{2\pi \cdot G}{\hbar \cdot c \cdot \ln 2}$	
Коэффициент пропорциональности «информация – масса» для обычного вещества	$\beta = \dfrac{c^2}{k \cdot T \cdot \ln 2}$	$\beta = \dfrac{11{,}422}{m_в} \approx \dfrac{11{,}422}{m_p}$	
Масса оптимальной черной дыры	$\dfrac{\hbar \cdot c^3}{4\pi \cdot G \cdot k \cdot T}$	$\dfrac{11{,}422 \cdot \ln 2 \cdot \hbar \cdot c}{4\pi \cdot m_p \cdot G}$	В системе «излучение – черная дыра» масса оптимальной черной дыры обратно пропорциональна температуре излучения.

1	2	3	4
Оценка массы оптимальной черной дыры	$9{,}09 \cdot 10^{22}$ кг	$1{,}78 \cdot 10^{11}$ кг	В системе «водород – черная дыра» масса оптимальной черной дыры в $\approx 10^{12}$ раз меньше массы оптимальной черной дыры в системе «излучение – черная дыра» (при T =2,7K).
Объем информации в оптимальной черной дыре	$\dfrac{\hbar c^5}{8\pi G k^2 T^2 \ln 2}$	$\dfrac{(11{,}422)^2 \cdot \hbar \cdot c \cdot}{8\pi \cdot m_p^2 \cdot G}$	
Оценка объема информации в оптимальной черной дыре	$\approx 1{,}26 \cdot 10^{62}$	$\approx 3{,}76 \cdot 10^{38}$	В системе «водород – черная дыра» объем информации в оптимальной черной дыре в $\approx 10^{24}$ раз меньше объема информации в оптимальной черной дыре в системе «излучение – черная дыра» (при T=2,7K).
Количество оптимальных черных дыр в системе заданной массы	$\dfrac{4\pi \cdot M_{Bc} G k T}{\hbar \cdot c^3}$	$\dfrac{4\pi \cdot M_{Bc} m_p G}{11{,}422 \cdot \ln 2 \cdot \hbar c}$	
Оценка количества оптимальных черных дыр во Вселенной	$\approx 1{,}1 \cdot 10^{29}$	$\approx 10^{41}$	Количество оптимальных черных дыр в системах «водород – черная дыра» в $\approx 10^{12}$ раз больше количества оптимальных черных дыр в системах «излучение – черная дыра» (при T=2,7K).

1	2	3	4
Минимальный объем информации в системе заданной массы	$M_{Bc}\dfrac{c^2}{2\cdot kT\ln 2}$	$5{,}7\dfrac{M_{Bc}}{m_p}$	
Оценка минимального объема информации во Вселенной	$\approx 1{,}7\cdot 10^{91}$	$\approx 3{,}31\cdot 10^{79}$	Минимальный объем информации во Вселенной состоящей из черных дыр возникших в системах «водород – черная дыра» в $\approx 10^{12}$ меньше минимального объема информации во Вселенной состоящей из черных дыр возникших в системах «излучение – черная дыра» (при T=2,7K).
Максимальный объем информации в системе заданной массы	$M_{Bc}^{2}\cdot\dfrac{2\pi\cdot G}{\hbar c\ln 2}$	$M_{Bc}^{2}\cdot\dfrac{2\pi\cdot G}{\hbar c\ln 2}$	
Оценка максимального объема информации во Вселенной	$1,9\cdot 10^{120}$	$1,9\cdot 10^{120}$	

Примечание 14.4. 1) При температуре излучения

$$T = m_p\frac{c^2}{k\cdot\ln 2\cdot 9{,}422} = 1{,}555\cdot \mathrm{E}+12\ \mathrm{K}$$

масса оптимальных черных дыр, возникших в системах «излучение – черная дыра», примерно равна массе оптимальных черных дыр, возникших в системах «водород (протоны) – черная дыра». Поскольку при больших температурах устойчивых атомов водорода не сущест-

вует, то расчет произведен для протонов.

2) В период перехода от Вселенной с преобладанием излучения к Вселенной с преобладанием вещества [76, 77] (10^4>T >10^3) масса оптимальной черной дыры в системе «излучение – черная дыра» меняется от 2,45E+19кг до 2,45E+20кг.

А. М. Черепащук, А. Д. Чернин в книге [134] отмечают, что в настоящее время большинство ученых считают, что в ядрах почти всех галактик находятся сверхмассивные черные дыры массой $\approx 10^6 - 10^{10}$ солнечных масс. В этом случае объем информации во Вселенной составляет $\approx 10^{99} - 10^{107}$ бит.

14.5. Системы, состоящие из черных дыр и нескольких типов обычного вещества

Рассмотрим системы, состоящие из разных типов обычного вещества, например, видов частиц. С информационной точки зрения типы обычного вещества различаются коэффициентом β_i использования массы на 1 бит информации $I_i = \beta_i M$, который определяет объем информации в данном типе обычного вещества.

Утверждение 14.13. *Масса оптимальной черной дыры в системе «несколько типов обычного вещества – черные дыры», при которой минимизируется объем информации в рассматриваемой системе, определяется минимальным коэффициентом пропорциональности* $\beta_{i0} = \min_i \beta_i$. *Оптимальная черная дыра соответствует системе «обычное вещество типа* $i0$ *- черные дыры».*

Утверждение 14.14. Масса черной дыры, при которой минимален объем информации в системе «несколько типов обычного вещества – черные дыры», равна

$$M_{Чд\ опт} = \frac{\beta_{i0}}{2\alpha}.$$

Утверждение 14.15. *Объем информации в оптимальной черной дыре в системе «несколько типов обычного вещества – черные дыры» пропорционален квадрату минимального коэффициента, связывающего объем информации с массой в разных типах обычного ве-*

щества, и обратно пропорционален коэффициенту, связывающего объем информации с массой в черной дыре:

$$I_{Чд\ опт} = \frac{\beta_{i0}^2}{4\alpha}.$$

Как показано в разделе 8, объем информации в атоме $I_{at} \approx (N_p + N_n) \cdot 10{,}422$ при учете объема информации в составных частях атома: протонах, нейтронах, электронах. Поскольку масса атома $M_{at} \approx (N_p + N_n) m_p$, то $\frac{M_{at}}{m_p} \approx (N_p + N_n)$ и объем информации в атоме $I_{at} \approx \frac{10{,}422}{m_p} \cdot M_{at}$. Данная оценка справедлива для всех атомов.

Таким образом, для всех атомов коэффициент пропорциональности, связывающий объем информации в атоме с его массой, примерно одинаков и равен $\beta \approx \frac{10{,}422}{m_p}$. При формировании оптимальных черных дыр из различных типов атомов обычного вещества или смеси различных типов атомов обычного вещества массы оптимальных черных дыр и объемы информации в них примерно одинаковы. Как показано в разделе 8 точность оценки не менее 5%.

Утверждение 14.16. *Если оптимальные черные дыры формируются из различных типов атомов обычного вещества или смеси различных типов атомов обычного вещества, то массы оптимальных черных дыр и объемы информации в них примерно одинаковы*.

15. ЖИЗНЬ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ КЛАССИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Д.С. Чернавский [87], развивая и уточняя идеи Бриллюена [44], различает макроинформацию как запомненный выбор одного варианта из нескольких возможных и равноправных и микроинформацию как выбор не запоминаемый. «Свойством запоминания могут обладать только макроскопические системы, состоящие из многих атомов. Системы более высокого иерархического уровня, такие как клетка, популяция, организм, мозг, разумеется, тоже могут быть запоминающими. Механизм запоминания при этом не всегда сводится к генетическому (то есть макромолекулярному). Например, клетка (в частности, нервная), способная функционировать в двух и более устойчивых состояниях, уже является запоминающим устройством. Тоже можно сказать о популяции и организме».

Классическую информацию будем отождествлять с макроинформацией Д.С. Чернавского. Жизнь – это эффективный способ формирования классической информации, которую можно хранить, копировать, использовать. Классическая информация формируется как естественным путем (реализуя процесс создания и развития жизни во Вселенной, в частности, на Земле), так и искусственно (развитыми цивилизациями в процессе жизнедеятельности).

15.1. Оценки массы необходимой для формирования одного бита классической информации

Определим массу аминокислот и азотистых оснований, используемую биологическими системами для формирования 1 бита, и ее избыточность относительно минимально необходимой массы для формирования 1 бита (см. таблицу 15.1).

Таблица 15.1

Оценка минимально необходимой энергии и массы для формирования 1 бита

Температура		T = 3K	T = 300K
Минимальная энергия на 1 бит (дж)	E = kT	4,14199E-23	4,14199E-21
Минимальная масса на 1 бит (кг)	$M = kT/c^2$	4,60858E-40	4,60858E-38

Оценки массы аминокислот и азотистых оснований, используемой для формирования 1 бита, и избыточность массы аминокислот и азотистых оснований по отношению к минимальной массе приведены в таблице 15.2.

Методика оценки объема информации азотистых оснований и аминокислот по частоте их использованию в ДНК, РНК, белках (частотная методика). Оценку объема информации и дифференциальной информационной емкости азотистых оснований и аминокислот можно осуществлять в соответствии с используемой ранее **иерархической методике**. При этом будут получены оценки, близкие к предыдущим. В данном случае мы используем то замечательное обстоятельство, что 4 азотистыми основаниями (4 «буквами») природа кодирует («записывает») аминокислоты, а 20 аминокислотами (20 «буквами») природа для кодирует («записывает») белки. Поэтому считаем, что (при равновероятном использовании) азотистое основание содержит $\log_2 4$=2 бита информации, а аминокислота – $\log_2 20$=4,32 бита.

Таблица 15.2

Оценки массы аминокислот и азотистых оснований для формирования информации и избыточность массы аминокислот и азотистых оснований по отношению к минимальной массе

Наименование	Масса (а.е)	Температура плавления мин. (°С)	Масса (кг)	Избыточность при Т=3	Избыточность при Т=300
1	2	3	4	5	6
Аминокислоты					
Аланин	89,09	295-296	1,48E-25	3,21E+14	3,21E+12
Аргинин	174,2	220-222	2,89E-25	6,28E+14	6,28E+12
Аспарагиновая кислота	133,1	270	2,21E-25	4,80E+14	4,806E+12
Аспарагин	132,12	215	2,19E-25	4,76E+14	4,76E+12
Валин	117,16	293	1,94E-25	4,22E+14	4,22E+12
Гистидин	155,16	287-288	3,40E-23	7,39E+16	7,39E+14
Глицин	75,07	232-236	1,25E-25	2,70E+14	2,70E+12
Глутаминовая кислота	147,13	247-249	2,44E-25	5,30E+14	5,30E+12

1	2	3	4	5	6
Глутамин	146,15	184	2,43E-25	5,271E+14	5,27E+12
Изолейцин	131,17	274-275	2,18E-25	4,73E+14	4,73E+12
Лейцин	131,17	293-295	2,18E-25	4,73E+14	4,73E+12
Лизин	146,19	172	2,43E-25	5,27E+14	5,27E+12
Метионин	149,21	200-240	2,48E-25	5,38E+14	5,384E+12
Пролин	115,13	205	1,91E-25	4,15E+14	4,15E+12
Серин	105,09	228	1,74E-25	3,79E+14	3,791E+12
Тирозин	181,19	290-295	3,01E-25	6,53E+14	6,53E+12
Треонин	119,12	253	1,98E-25	4,29E+14	4,29E+12
Триптофан	204,22	281-282	3,39E-25	7,36E+14	7,36E+12
Фенилала-нин	165,19	271-273	2,74E-25	5,95E+14	5,95E+12
Цистеин	121,16	178	2,01E-25	4,36E+14	4,364E+12
Сумма	2738,02		3,83E-23	8,32E+16	8,32E+14
Среднее	136,901		1,92E-24	4,16E+15	4,16E+13
Среднее на 1 бит	31,67		4,43E-25	9,62E+14	9,62E+12
Азотистые основания и сахара					
1	2	3	4	5	6
Аденин	135,13	360-365	2,24E-25	4,9E+14	4,9E+12
Гуанин	151,13	360	2,51E-25	5,4E+14	5,4E+12
Тимин	126,11	316-317	2,09E-25	4,5E+14	4,5E+12
Цитозин	111,1	320-325	1,84E-25	4E+14	4E+12
Урацил	112,1	≥ 300	1,86E-25	4E+14	4E+12
Дезокси-рибо́за	134		2,22E-25	4,8E+14	4,8E+12
Рибо́за	150		2,49E-25	5,4E+14	5,4E+12
Сумма	919,57		1,05E-24	3,3E+1	3,3E+13
Среднее	131,3671		2,11E-25	4,7E+14	4,7E+12
Среднее на 1 бит	65,6835		1,05E-25	1E+14	1E+12

В среднем в азотистых основаниях и аминокислотах на 1 бит информации используется $\approx 10^{-25}$, 10^{-26} кг массы вещества, а избыточность по отношению к минимальной массе составляет порядка 10^{15} раз.

Такую же массу, как аминокислоты и азотистые основания имеют атомы от иттрия – 37 Y 88,9059; циркония – 40 Zr 91,22

(минимальная масса) до таллия 81 – Tl 204,37; свинца – 82 Pb – 207,2 (максимальная масса). К средней массе аминокислот и азотистых оснований близки массы атомов 53 I 126,9045 – иод; 54 Xe – 131,30 – ксенон; 55 Cs 132,9054 – цезий; 56 Ba 137,33 – барий и 57 La 138,9 – лантан. В среднем в атомах и азотистых основаниях и аминокислотах на 1 бит информации **(по иерархический методике оценки**) используется $\approx 1,69 \cdot 10^{-28}$ кг массы вещества. Белки и аминокислоты для формирования 1 бита информации используют массы всего на два-три порядка больше, чем атомы $\approx 10^{-25}$ кг **(по частотной методике оценки**). Следовательно, кодирование информации в ДНК, РНК, белках азотистыми основаниями и аминокислотами весьма эффективно.

15.2. Оценка массы, необходимой для формирования современной цивилизацией 1 бита классической информации

По усредненным данным, за год, современная цивилизация производит 10^{30} бит информации (оценка сверху). При этом объем хранимой информации составляет ориентировочно 10^{20} бит информации и каждый год удваивается. При сохранении таких темпов роста через 10 лет за год будет храниться $\approx 10^{24}$ бит информации, через 20 лет $\approx 10^{27}$ бит информации.

Оценим избыточность по отношению к минимальной массе в наилучших устройствах ленточной памяти. Оценки избыточности массы для устройства IBM LTO Ultrum 48000 GB Data Cartridge по отношению к минимальной массе приведены в таблице 15.3.

Таблица 15.3

Оценки избыточности массы для устройства IBM LTOUltrum 48000 GB Data Cartridge по отношению к минимальной массе

Масса картриджа (кг)	Объем памяти (бит)	Масса/бит	Избыточность по отношению к минимуму для T=3	Избыточность по отношению к минимуму для T=300
0,115	8E+12	1,4375E-14	3,12E+25	3,12E+23

На основе оценки информационной емкости белков, ДНК –

$\approx 10^{-25}$ кг определяется верхняя граница G информационной емкости V искусственных устройств хранения данных – и устройств, построенных на базе комбинаций атомов, $V \le G \approx 10^{25}$ бит/кг, т.е. она может быть повышена не более, чем в $\approx 10^{12}$ раз. Верхняя граница G информационной емкости , построенных на базе атомов, $V \le G \approx 10^{28}$ бит/кг.

Оценки избыточности по отношению к биомассе для устройства IBM LTO Ultrum 48000 GB Data Cartridge приведены в таблице 15.4.

Таблица 15.4

Оценки избыточности массы устройства IBM LTO Ultrum 48000 GB Data Cartridge по отношению к биомассе

	Избыточность для T=3	Избыточность для T=300
Избыточность по отношению к аминокислотам	3,24E+12	3,24E+10
Избыточность по отношению к азотистым основаниям	1,36E+13	1,36E+11

15.3. Информационные оценки распространенности жизни во Вселенной

Объем микроинформации в обычном веществе Вселенной равен 10^{90} бит. Оценим возможный объем классической информации во Вселенной, галактиках, звездах и Земле при предположении использования их массы для формирования классической информации.

Оценка сверху. Максимально возможный объем классической информации в галактике, аналогичной нашей, составляет 10^{66} бит, в звездной системе, аналогичной солнечной, - 10^{55} бит, а на планете земного типа составляет 10^{50} бит.

Оценка снизу. Масса Земли – $5,97 \cdot 10^{24}$ кг, а ее биомасса – 10^{15} кг и содержит 10^{40} бит информации. Если Земля является единственным местом существования жизни, то минимально возможный объем классической информации во Вселенной равен объему такой информации в биомассе Земли и составляет 10^{40} бит. Если Земля является

типичной планетой для звездных систем и галактик, то объем классической информации во Вселенной составляет 10^{62} бит, в галактике – 10^{51} бит, а в звездной системе – 10^{40} бит.

Т.о. $10^{40} - 10^{77}$ бит – это диапазон возможного объема классической информации во Вселенной, определяемый по известным в настоящее время данным. Измерения масс аминокислот и азотистых оснований в космическом пространстве уточнят эти оценки.

Соотношение объемов информации, порождаемой материей и цивилизацией $\approx 10^{-49}$, показывает, что в настоящее время вклад цивилизации в формирование информации Вселенной ничтожен. Так как во Вселенной 10^{22} звезд, то на одну звездную систему приходится 10^{57} бит/год и доля информации, формируемой цивилизацией, равна 10^{-27}. При стабилизации процесса развития цивилизации объем формируемой информации будет еще меньше.

16. АТОМЫ, МОЛЕКУЛЫ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ НА ИНФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ

Уже не одно десятилетие развитие производства запоминающих устройств и микрочипов связано с постоянным увеличением плотности записи информации на эти носители. Это могут быть проводники и pn-переходы на кремниевом кристалле или запись видеоклипа на магнитном носителе, но общим для них является появление все новых технологий, позволяющих год от года увеличивать плотность записи на один квадратный миллиметр поверхности. Может создаться впечатление, что завтра изобретут новую технологию и вновь увеличат плотность записи. И так будет всегда. Увы, существуют фундаментальные ограничения, которые неминуемо прекратят этот рост и поставят земную цивилизацию перед выбором: либо прекратить запоминать новую информацию, либо навсегда стирать накопленную ранее. Как скоро наступит этот момент? Экспоненциальный рост объемов хранимой на нашей планете информации может привести к такому поворотному для человечества моменту неожиданно скоро. Полезно задуматься уже сегодня.

Мифы нанотехнологий, раздуваемые с целью получения денег, описывают фантастические возможности предлагаемых к финансированию работ. Хотя возможности ученых и инженеров ограничены самой природой – конструкцией и свойствами атомов и молекул [153-155]. В настоящем разделе показано, что объем информации в атомах, аминокислотах и азотистых основаниях [4-7], их дифференциальная информационная емкость, масса атома водорода, структура и разность энергий его базисных состояний [8, 9] накладывают фундаментальные ограничения на память и быстродействие вычислительных устройств, информационных систем.

16.1. Дифференциальная информационная емкость материи

Как показано в [19, 33, 39, 156] существует несколько типов материи с разной зависимостью объема информации (информационной емкости) от массы, в том числе:

линейная для обычного вещества $I \propto M$,

квадратичная для черных дыр $I \propto M^2$,
линейно-логарифмическая для нейтронных звезд и белых карликов $I \propto M \log_2 M$.

В общем случае зависимость объема информации в веществе от массы имеет вид $I = f(M)$. Изменение объема информации dI в материи при изменении ее массы dM определяется дифференциалом функции $I = f(M)$

$$dI = \frac{df(M)}{dM} dM = f'(M) dM .$$

Производная объема информации по массе

$$\frac{dI}{dM} = \frac{df(M)}{dM} = f'(M) \left[\frac{\text{бит}}{\text{кг}} \right]$$

характеризует дифференциальную информационную емкость (дифинформёмкость) материи – изменение массы материи на единицу ($dM = 1$) изменяет объем информации в материи на величину, равную дифференциальной информационной емкости $dI = f'(M)$.

Примечание 1. Обратим внимание на термодинамическую аналогию: теплоемкостью C тела называется отношение изменения количества теплоты dQ к вызванному этим изменению температуры dT: $\frac{dQ}{dT} = C$ или $dQ = CdT$. При $dT = 1$ изменение количества теплоты равно теплоемкости $dQ = C$.

Приведем оценки объема информации в физических объектах объема информации в атомах, аминокислотах, азотистых основаниях (обычном веществе) определяющие фундаментальные ограничения на дифференциальную информационную емкость устройств создаваемых человеком. Оценки получены по иерархической методике (см. раздел 8.3 настоящей книги).

В таблице 16.1 приведены оценки дифференциальной информационной емкости атомов [19, 33, 39, 156].

Таблица 16.1

Оценки дифференциальной информационной емкости атомов

Наименование элемента	Масса (кг)	Объем информации в протонах и нейтронах (бит)	Масса на 1 бит (кг)	Дифинформемкость (бит/кг)
1	2	3	4	5
Водород	1,673E-27	10,422	1,605E-28	6,228E+27
Гелий	6,644E-27	39,688	1,674E-28	5,973E+27
Литий	1,152E-26	59,532	1,935E-28	5,166E+27
Бериллий	1,496E-26	88,798	1,684E-28	5,935E+27
Бор	1,794E-26	99,22	1,808E-28	5,528E+27
Углерод	1,993E-26	109,642	1,818E-28	5,499E+27
Азот	2,325E-26	138,908	1,673E-28	5,974E+27
Кислород	2,655E-26	149,33	1,778E-28	5,622E+27
Фтор	3,153E-26	169,174	1,864E-28	5,364E+27
Неон	3,349E-26	198,44	1,688E-28	5,924E+27
Натрий	3,816E-26	218,284	1,748E-28	5,719E+27
Магний	4,034E-26	238,128	1,694E-28	5,902E+27
Алюминий	4,478E-26	257,972	1,736E-28	5,759E+27
Кремний	4,662E-26	277,816	1,678E-28	5,958E+27
Фосфор	5,141E-26	297,66	1,727E-28	5,789E+27
Сера	5,322E-26	317,504	1,676E-28	5,964E+27
Хлор	5,885E-26	346,77	1,697E-28	5,892E+27
Аргон	6,631E-26	385,458	1,720E-28	5,812E+27
Калий	6,490E-26	386,458	1,679E-28	5,954E+27
Кальций	6,652E-26	396,88	1,676E-28	5,965E+27
Скандий	7,462E-26	435,568	1,713E-28	5,836E+27
Титан	7,948E-26	464,834	1,709E-28	5,848E+27
Ванадий	8,456E-26	494,1	1,711E-28	5,842E+27
Хром	8,631E-26	504,522	1,710E-28	5,845E+27
Марганец	9,119E-26	533,788	1,708E-28	5,853E+27
Железо	9,270E-26	544,21	1,703E-28	5,870E+27
Кобальт	9,782E-26	573,476	1,705E-28	5,862E+27
Никель	9,742E-26	574,476	1,695E-28	5,896E+27
Медь	1,054E-25	622,586	1,694E-28	5,902E+27
Цинк	1,085E-25	642,43	1,689E-28	5,918E+27
Галлий	1,157E-25	681,118	1,699E-28	5,884E+27
Германий	1,204E-25	710,384	1,696E-28	5,895E+27

1	2	3	4	5
Мышьяк	1,243E-25	730,228	1,703E-28	5,871E+27
Селен	1,310E-25	768,916	1,704E-28	5,866E+27
Бром	1,326E-25	779,338	1,701E-28	5,875E+27
Криптон	1,391E-25	818,026	1,700E-28	5,880E+27
Рубидий	1,418E-25	837,87	1,693E-28	5,905E+27
Стронций	1,454E-25	857,714	1,695E-28	5,897E+27
Иттрий	1,475E-25	868,136	1,700E-28	5,882E+27
Цирконий	1,514E-25	897,402	1,687E-28	5,926E+27
Ниобий	1,542E-25	907,824	1,698E-28	5,886E+27
Молибден	1,592E-25	937,09	1,699E-28	5,884E+27
Технеций	1,625E-25	956,934	1,698E-28	5,887E+27
Рутений	1,677E-25	995,622	1,685E-28	5,934E+27
Родий	1,708E-25	1006,044	1,697E-28	5,889E+27
Палладий	1,766E-25	1044,732	1,690E-28	5,913E+27
Серебро	1,790E-25	1055,154	1,697E-28	5,892E+27
Кадмий	1,866E-25	1103,264	1,691E-28	5,912E+27
Индий	1,906E-25	1123,108	1,697E-28	5,892E+27
Олово	1,970E-25	1161,796	1,696E-28	5,895E+27
Сурьма	2,021E-25	1191,062	1,696E-28	5,893E+27
Теллур	2,118E-25	1248,594	1,696E-28	5,894E+27
Иод	2,106E-25	1240,172	1,698E-28	5,887E+27
Ксенон	2,179E-25	1288,282	1,691E-28	5,911E+27
Цезий	2,206E-25	1298,704	1,698E-28	5,886E+27
Барий	2,279E-25	1346,814	1,692E-28	5,907E+27
Лантан	2,305E-25	1357,236	1,698E-28	5,886E+27
Церий	2,325E-25	1377,08	1,689E-28	5,920E+27
Празеодим	2,338E-25	1378,08	1,697E-28	5,891E+27
Неодим	2,394E-25	1416,768	1,690E-28	5,917E+27
Прометий	2,440E-25	1446,034	1,687E-28	5,925E+27
Самарий	2,495E-25	1475,3	1,691E-28	5,911E+27
Европий	2,522E-25	1485,722	1,697E-28	5,889E+27
Гадолиний	2,610E-25	1543,254	1,691E-28	5,912E+27
Тербий	2,638E-25	1553,676	1,697E-28	5,889E+27
Диспрозий	2,697E-25	1592,364	1,694E-28	5,903E+27
Гольмий	2,737E-25	1612,208	1,698E-28	5,888E+27
Эрбий	2,776E-25	1641,474	1,691E-28	5,911E+27
Тулий	2,804E-25	1651,896	1,697E-28	5,890E+27
Иттербий	2,872E-25	1700,006	1,689E-28	5,918E+27
Лютеций	2,904E-25	1710,428	1,698E-28	5,888E+27
Гафний	2,962E-25	1749,116	1,693E-28	5,903E+27

1	2	3	4	5
Тантал	3,003E-25	1768,96	1,698E-28	5,889E+27
Вольфрам	3,051E-25	1798,226	1,697E-28	5,892E+27
Ренетий	3,091E-25	1827,492	1,691E-28	5,912E+27
Осмий	3,157E-25	1866,18	1,691E-28	5,910E+27
Иридий	3,190E-25	1886,024	1,691E-28	5,910E+27
Платина	3,238E-25	1915,29	1,690E-28	5,914E+27
Золото	3,269E-25	1925,712	1,697E-28	5,889E+27
Ртуть	3,329E-25	1964,4	1,695E-28	5,899E+27
Таллий	3,392E-25	2003,088	1,693E-28	5,904E+27
Свинец	3,439E-25	2032,354	1,692E-28	5,908E+27
Висмут	3,469E-25	2042,776	1,698E-28	5,888E+27
Полоний	3,4858E-25	2053,198	1,697E-28	5,890E+27
Астат	3,6858E-25	2176,684	1,693E-28	5,906E+27
Радон	2,179E-25	2262,482	9,632E-29	1,038E+28
Франций	3,702E-25	2188,106	1,691E-28	5,910E+27
Барий	3,752E-25	2217,372	1,692E-28	5,909E+27
Актиний	3,768E-25	2227,794	1,691E-28	5,911E+27
Торий	3,851E-25	2275,904	1,692E-28	5,908E+27
Протактиний	3,835E-25	2267,482	1,691E-28	5,912E+27
Уран	3,951E-25	2334,436	1,692E-28	5,908E+27
Нептуний	3,934E-25	2326,014	1,691E-28	5,911E+27
Плутоний	4,051E-25	2392,968	1,693E-28	5,906E+27
Америций	4,034E-25	2384,546	1,692E-28	5,909E+27
Кюрий	4,101E-25	2423,234	1,692E-28	5,908E+27
Берклий	4,101E-25	2424,234	1,691E-28	5,910E+27
Калифорний	4,167E-25	2462,922	1,692E-28	5,909E+27
Эйнштейний	4,184E-25	2473,344	1,691E-28	5,910E+27
Фермий	4,267E-25	2521,454	1,692E-28	5,908E+27
Менделеевий	4,284E-25	2531,876	1,692E-28	5,909E+27
Нобелий	4,301E-25	2542,298	1,691E-28	5,910E+27
Лоуренсий	4,317E-25	2552,72	1,691E-28	5,912E+27
Резерфордий	4,332E-25	2563,142	1,690E-28	5,915E+27
Дубний	4,349E-25	2573,564	1,689E-28	5,917E+27
Сиборговий	4,365E-25	2583,986	1,689E-28	5,918E+27
Борий	4,349E-25	2594,408	1,676E-28	5,965E+27
Хассий	4,399E-25	2604,83	1,688E-28	5,921E+27
Мейтнерий	4,415E-25	2615,252	1,688E-28	5,922E+27

1	2	3	4	5
Ун-ун-нулий	4,498E-25	2663,362	1,689E-28	5,920E+27
Средняя	2,46354E-23		1,69449E-28	5,921E+27

Оценку объема информации и дифференциальной информационной емкости азотистых оснований и аминокислот можно осуществлять в соответствии с используемой ранее **иерархической методике**. При этом будут получены оценки, близкие к предыдущим.

В данном случае будем использовать методику оценки объема информации и дифференциальной информационной емкости азотистых оснований и аминокислот по частоте их использованию в ДНК, РНК, белках (**частотную методику**). 4-мя азотистыми основаниями (4 «буквами») природа кодирует («записывает») аминокислоты, а 20-ью аминокислотами (20 «буквами») природа для кодирует («записывает») белки. Поэтому считаем, что (при равновероятном использовании) азотистое основание содержит $\log_2 4$ =2 бита информации, а аминокислота – $\log_2 20$ =4,32 бита.

В таблице 16.2 приведены примеры оценки объема информации в аминокислотах и азотистых основаниях [33, 39, 156].

Таблица 16.2

Наименование	Масса (кг)	Объем информации (бит)	Масса на 1 бит (кг/бит)	Дифинформ-емкость (бит/кг)
1	2	3	4	5
Аланин	1,48E-25	4,321	3,42E-26	2,92E+25
Аргинин	2,89E-25	4,321	6,69E-26	1,49E+25
Аспарагиновая кислота	2,21E-25	4,321	5,11E-26	1,96E+25
Аспарагин	2,19E-25	4,321	5,07E-26	1,97E+25
Валин	1,94E-25	4,321	4,50E-26	2,22E+25
Гистидин	2,58E-25	4,321	5,96E-26	1,68E+25
Глицин	1,25E-25	4,321	2,88E-26	3,47E+25
Глутаминовая кислота	2,44E-25	4,321	5,65E-26	1,77E+25
Глутамин	2,43E-25	4,321	5,61E-26	1,78E+25
Изолейцин	2,18E-25	4,321	5,04E-26	1,98E+25
Лейцин	2,18E-25	4,321	5,04E-26	1,98E+25
Лизин	2,43E-25	4,321	5,61E-26	1,78E+25

1	2	3	4	5
Метионин	2,48E-25	4,321	5,73E-26	1,74E+25
Пролин	1,91E-25	4,321	4,42E-26	2,26E+25
Серин	1,74E-25	4,321	4,04E-26	2,48E+25
Тирозин	3,01E-25	4,321	6,96E-26	1,44E+25
Треонин	1,98E-25	4,321	4,58E-26	2,19E+25
Триптофан	3,39E-25	4,321	7,84E-26	1,27E+25
Фенилаланин	2,74E-25	4,321	6,34E-26	1,58E+25
Цистеин	2,01E-25	4,321	4,65E-26	2,15E+25
Сумма	4,55E-24		1,05E-24	9,51E+23
Среднее	2,27E-25		5,26E-26	1,90E+25
Среднее на 1 бит	5,26E-26		1,22E-26	8,22E+25
Аденин	2,24E-25	2,0	1,12E-25	8,92E+24
Гуанин	2,51E-25	2,0	1,25E-25	7,97E+24
Тимин	2,09E-25	2,0	1,05E-25	9,55E+24
Цитозин	1,84E-25	2,0	9,22E-26	1,08E+25
Урацил	1,86E-25	2,0	9,30E-26	1,07E+25
Дезоксирибо́за	2,22E-25	2,0	1,11E-25	8,99E+24
Рибо́за	2,49E25	2,0	1,25E-25	8,03E+24
Сумма			7,63E-25	1,31E+24
Среднее			1,09E-25	9,17E+24
Среднее на 1 бит			0,55E-25	1,83E+25

В среднем в азотистых основаниях и аминокислотах на 1 бит информации используется $\approx 10^{-25}$ - $\approx 10^{-26}$ кг массы вещества, а избыточность по отношению к минимальной массе составляет порядка 10^{15} раз.

16.2. Основные характеристики атома водорода

Рассмотрим используемые в статье характеристики атома водорода [157].

Атом водорода состоит из протона и электрона.

Масса атома водорода - $m_H = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг.

Диаметр атома водорода - $d_H \approx 10^{-10}$ м.

Объем атома водорода - $V_H \approx 10^{-30}$ м^3.

Атом водорода в основном состоянии с минимальной энергией содержит 11,422 бит (1 бит в структуре атома, 9,422 бит в протоне и 1 бит в электроне) [156].

Следуя [84], определим исходные (нестационарные) базисные состояния атома водорода:

$\left|++\right\rangle$ - *Состояние 1.* И у электрона, и у протона спины смотрят вверх.

$\left|+-\right\rangle$ - *Состояние 2.* У электрона спин смотрит вверх, а у протона— вниз.

$\left|-+\right\rangle$ - *Состояние 3.* У электрона спин смотрит вниз, а у протона — вверх.

$\left|--\right\rangle$ - *Состояние 4.* И у электрона, и у протона спины смотрят вниз.

Первый знак плюс или минус относится к электрону, *второй* — к протону. Будем обозначать эти состояния *|1>, | 2>, |3> и |4>.*

Описание динамики атома водорода осуществляется следующей гамильтоновой матрицей H_{ij}:

$$H_{ij} = \begin{pmatrix} A & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -A & 2A & 0 \\ 0 & 2A & -A & 0 \\ 0 & 0 & 0 & A \end{pmatrix}.$$

Дифференциальные уравнения для четырех амплитуд C_i *стационарных базисных состояний* имеют вид:

$$i\hbar\dot{C}_1 = AC_1,$$

$$i\hbar\dot{C}_2 = -AC_2 + 2AC_3,$$

$$i\hbar\dot{C}_3 = 2AC_2 - AC_3,$$

$$i\hbar\dot{C}_4 = AC_4.$$

Уровни энергии основного состояния (энергии стационарных состояний) атома водорода получаем, решая гамильтоновы уравнения.

Если выбрать $E=A$, то $a_1 = 1,\ a_2 = a_3 = a_4 = 0$

Будем считать наше первое решение состоянием $\left|I\right\rangle = \left|1\right\rangle = \left|+\ +\right\rangle$. $E_I = A$.

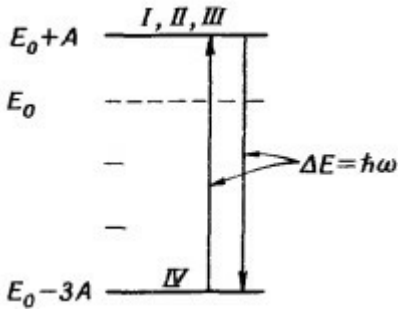
Следующее решение назовем состоянием $\left|II\right\rangle = \left|4\right\rangle = \left|-\ -\right\rangle$, $E_{II} = A$.

Решения |III> и |IV> это суперпозиции состояний |*2*> и |3>:

$$\left|III\right\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(\left|2\right\rangle + \left|3\right\rangle) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\left|+\ -\right\rangle + \left|-\ +\right\rangle),\ E_{III} = A,$$

$$\left|IV\right\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(\left|2\right\rangle - \left|3\right\rangle) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\left|+\ -\right\rangle - +\left|-\ +\right\rangle),\ E_{IV} = -3A.$$

Найдены четыре стационарных ортогональных (базисных) состояния и их энергии. Три состояния имеют энергию равную *A,* а последнее состояние – *3A.*



Различие в энергиях между состоянием | *IV*> и любым из остальных равно *4A*. Атом, который находится в состоянии |*I*>, может оттуда перейти в состояние | *IV*> и испустить микроволновой квант. Если осветить водородный газ микроволнами, произойдет поглощение энергии. Атомы в состоянии |*IV*> будут поглощать кванты излучения и переходить в одно из состояний с энергией А, но все это только на частоте ω=4A|h, равной

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = (1\ 420\ 405\ 751{,}800 \pm 0{,}028)\ \text{гц}.$$

Это частота, соответствующая длине волны спектральной линии в 1420 *Мгц* – «21-см линия водорода. Излучение с такой длиной вол-

ны испускается или поглощается атомарным водородным газом в галактиках.

16.3. Атом водорода как кубит

Рассмотрим атом водорода как кубит (в качестве квантового бита) [64, 65]

$$\psi_{н} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle$$

Кубит – это система, имеющая два выделенных (базисных) стационарных состояния с определенными энергиями (|0>, |1>) и состояния ψ, представимые в виде линейных комбинаций выделенных состояний $\psi = c_1 |0>, + c_2 |1>$ c_1, c_2 – произвольные комплексные коэффициенты, сумма квадратов модулей которых равна $1\ |c_1|^2 + |c_2|^2 = 1$.

Неопределенность (объем информации) кубита с двумя выделенными состояниями равна $N = -(|c_1|^2 \ln |c_1|^2 + |c_2|^2 \ln |c_2|^2)$, где $|c_1|^2$, $|c_2|^2$ – вероятности нахождения кубита в состояниях 1, 2. Максимальная неопределенность (информация) кубита с двумя выделенными состояниями достигается при $|c_1|^2 = |c_2|^2 = ½$ и равна 1 биту.

Как описано в разделе 16.2 волновые функции, соответствующие разным энергетическим уровням ($|I\rangle, |II\rangle, |III\rangle$ – уровни с одинаковой максимальной энергией, $|IV\rangle$ - основной уровень с минимальной энергией) имеют вид [84]:

$$|I\rangle = |+\ +\rangle \quad |II\rangle = |-\ -\rangle \quad |III\rangle = \frac{|+\ -\rangle + |-\ +\rangle}{\sqrt{2}} \text{ спин 1.}$$

$$|IV\rangle = \frac{|+\ -\rangle - |-\ +\rangle}{\sqrt{2}} \text{ спин 0.}$$

В структуре состояний $|I\rangle, |II\rangle$ объем информации – 0 бит, а в структуре состояний $|III\rangle$, $|IV\rangle$ – 1 бит.

Состояние $|0\rangle$ отождествим с базисным состоянием атома водорода $|IV\rangle$.

Состояние $|1\rangle$ отождествим с базисным состоянием атома водорода $|III\rangle$.

Разница энергий базисных состояний атома водорода, рассматриваемого как кубит, равна

$$\Delta E = E_0 - E_1 = \hbar\nu = \hbar f \approx 1,054 \cdot 10^{-34} \cdot 1,42 \cdot 10^{12} = 1,5 \cdot 10^{-22} \text{ дж.}$$

На базе рассмотренной системы базисных состояний атома водорода можно предложить еще одну систему базисных состояний фундаментального кубита.

Состояние $|0\rangle$ отождествим с базисным состоянием атома водорода $|IV\rangle$, а состояние $|1\rangle$ отождествим с суперпозицией базисных состояний атома водорода $|I\rangle$, $|II\rangle$, $|III\rangle$. $|1\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(|I\rangle + |II\rangle + |III\rangle$. Так как базисные состояния $|I\rangle$, $|II\rangle$, $|III\rangle$ ортогональны базисному состоянию $|IV\rangle$, то их суперпозиция также ортогональна базисному состоянию $|IV\rangle$, а нормировочный множитель $\frac{1}{\sqrt{3}}$ обеспечивает равенство единице нормы суперпозиции.

И в этом случае, разница энергий базисных состояний атома водорода, рассматриваемого как кубит, равна

$$\Delta E = E_0 - E_1 = \hbar\nu = \hbar f \approx 1,054 \cdot 10^{-34} \cdot 1,42 \cdot 10^{12} = 1,5 \cdot 10^{-22} \text{ дж.}$$

16.4. Фундаментальные ограничения на информационную емкость

Приведенные оценки объема информации, дифференциальная информационная емкость атомов, аминокислот, азотистых оснований определяют фундаментальные ограничения на информационную емкость устройств хранения данных $I = f(M) = \int_0^M f'(m)dm$. Для обычного вещества $I = \beta M$, $f'(M) = \beta$. Дифференциальная информационная емкость обычного вещества не зависит от его массы. Для обычного вещества, содержащего в атоме, молекуле $I_{at,\,mol}$ бит ин-

формации на 1 бит информации необходима масса $\beta = \frac{I_{at,mol}}{m_{at,mol}}$. Поэтому $I = \frac{I_{at,mol}}{m_{at,mol}} M$, $f'(M) = \frac{I_{at,mol}}{m_{at,mol}}$. Дифференциальная информационная емкость атомов разных элементов и, соответственно молекул, примерно одинакова.

Ограничение, накладываемое дифференциальной информационной емкостью неживой материи. Атомы это простейшие естественные средства хранения информации. На основе оценки дифференциальной информационной емкости атомов – $\approx 10^{-28}$ бит/кг определяется нижняя граница G дифференциальной информационной емкости V искусственных устройств хранения данных $G \approx 10^{-28}$ бит/кг. Следовательно, информационная емкость I искусственных устройств хранения данных, построенных на базе атомов, не превосходит $10^{28} M$ бит, где M - масса устройства хранения данных, непосредственно используемая для хранения. Т.к. в настоящее время дифференциальная информационная емкость устройств хранения данных $\approx 10^{14}$ бит/кг [5], то для устройств, построенных на базе атомов, она может быть повышена не более, чем в $\approx 10^{14}$ раз.

Данное ограничение ($10^{28} M$) является наиболее сильным фундаментальным ограничением, накладываемым природой на информационную емкость естественных и искусственных систем.

Ограничение, накладываемое характеристиками атома водорода. На один бит в атоме водорода, рассматриваемого как кубит, природа тратит $m_H = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг. Следовательно, информационная емкость I искусственных устройств хранения данных, построенных на базе атомов водорода, используемых как кубиты, не превосходит $6 \cdot 10^{26} M$ бит, где M - масса устройства хранения данных, непосредственно используемая для хранения – масса водорода.

Ограничение, накладываемое дифференциальной информационной емкостью живой материи. Белки, ДНК – простейшие естественные средства хранения информации, построенные природой

из атомов. На основе оценки дифференциальной информационной емкости белков, ДНК – $\approx 10^{-25}$ бит/кг определяется нижняя граница G дифференциальной информационной емкости V искусственных устройств хранения данных – и устройств построенных на базе комбинаций атомов, $G \approx 10^{-25}$ бит/кг. Следовательно, информационная емкость I искусственных устройств хранения данных построенных на базе комбинаций атомов, не превосходит $10^{25} M$ бит, где M - масса устройства хранения данных непосредственно используемая для хранения. Т.к. в настоящее время дифференциальная информационная емкость устройств хранения данных $\approx 10^{14}$ бит/кг, то для устройств, построенных на базе комбинаций атомов, она может быть повышена не более, чем в $\approx 10^{11}$ раз.

16.5. Фундаментальные ограничения на производительность

Разность энергий базисных состояний атома водорода, рассматриваемого как кубит, накладывают фундаментальные ограничения на быстродействие вычислительных устройств. Согласно теореме Н. Марголиса и Л. Левитина [4] общее количество элементарных действий, которые система может выполнить в секунду, ограничено энергией: $k_{on/c} = 2E / \hbar$, где E – превышение средней энергии системы над энергией нижнего состояния или энергия активации $\hbar = \dfrac{h}{2\pi} =$ 1,0545 10^{-34} с Дж – уменьшенная постоянная Планка.

Число операций, выполняемых атомом водорода как кубитом, ограничено $k_{op/s} = 2\Delta E / \hbar \approx 1,5 \cdot 10^{12}$ операций в секунду.

16.6. Фундаментальные ограничения на характеристики компьютера массой один килограмм, построенного из атомов водорода

Память компьютера массой один килограмм, построенного из атомов водорода, не превышает 0,6 10^{27} бит,

Производительность компьютера массой один килограмм, построенного из атомов водорода, не превышает 10^{39} оп/с.

16.7. Ограничения на характеристики компьютера нанороботa

В 1986 году американский инженер Эрик Дрекслер предложил использовать для производства наноустройств механические машины соответствующих (100—200 нм) размеров – нанороботы [2]. Эти роботы должны были собирать устройство непосредственно из атомов, поэтому они были названы ассемблерами – сборщиками. Сборщик оснащен манипуляторами длиной в несколько десятков нанометров, двигателем для перемещения манипуляторов и самого робота, включая упомянутые ранее редукторы и передачи, а также автономным источником энергии. Наноробот должен состоять из нескольких десятков тысяч деталей, а каждая деталь – из одной-двух сотен атомов. Важнейшим узлом наноробота был бортовой компьютер, который управлял работой всех механизмов, определял какой атом или какую молекулу следовало захватить манипулятором и в какое место будущего устройства их поставить. Линейные размеры этого компьютера не должны были превышать 40—50 нм. Объем компьютера равен $V_C \approx 10^{-22}$ м^3. В таком компьютере можно разместить 10^8 атомов водорода. Следовательно, память компьютера наноробота, построенного из атомов водорода, не превышает 10^8 бит, а его производительность не превышает 10^{20} оп/с.

Ограничения 10^{28} бит/кг, $1,5 \cdot 10^{12}$ оп/с можно добавить в ряд фундаментальных природных ограничений, включающих скорость света, элементарный заряд, планковское время, …

Достичь данных ограничений при создании информационных систем невозможно – к ним необходимо стремиться. В частности, приводимые оценки не учитывают затраты массы, энергии и времени на управление процессами хранения информации и вычислений, которые могут многократно увеличить массогабаритные и временные характеристики вычислительных систем и существенно уменьшить приведенные значения памяти и быстродействия.

17. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ СТРОЕНИЯ И ПОЗНАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ВСЕЛЕННОЙ В ЦЕЛОМ

В этом разделе, обобщенно, излагается информационный подход к описанию физических систем и Вселенной в целом, и приводятся их основные информационные закономерности и характеристики. Показано, что существуют законы природы более общие, чем физические – законы информатики, законы, определяющие и ограничивающие физические явления и процессы. Знание этих законов позволяет разрабатывать и применять информационные методы исследования физических систем и Вселенной в целом. Использование информационного подхода, позволяет получить более общие сведения по отношению к сведениям, получаемым на основе только физических законов. Информационные законы совместно с физическими законами могут служить эффективным инструментом познания Вселенной. Можно утверждать, что информатика, как и физика, является одним из оснований естествознания.

17.1. Информационные основы исследований физических систем

Общие положения. Приводимые положения основаны на аксиомах квантовой механики, идеях А. Цайлингера [2], И.А. Соколова [136] и автора.

1. Вселенная (природа, мир) представляет собой совокупность взаимодействующих физических систем.
2. Физические системы – это существующие определенное время неоднородности Вселенной.
3. Система научных знаний современной цивилизации представляет собой описание Вселенной, прежде всего, физическое описание.
4. Физическое описание Вселенной представлено суждениями.
5. Любой физический объект может быть описан рядом истинных суждений. Полное описание сложного объекта - длинный список суждений.
6. Суждения, описывающие физические системы, представляют собой либо описание экспериментальных результатов (наблюдений, измерений), либо теоретическое описание (физические законы, пред-

ставляемые в виде формул, моделей, уравнений).

7. Важнейшими суждениями являются физические законы, выявляющие регулярность и общность взаимосвязей между суждениями, прошлыми наблюдениями с будущими наблюдениями. Например:

- Законы Ньютона (1, 2, 3-й, закон всемирного тяготения).
- Законы сохранения энергии, импульса, момента.
- Уравнения Максвелла.
- Уравнения Эйнштейна.
- Уравнение Шредингера.
- Принцип неопределенности Гейзенберга.

8. Физические модели, физические законы и уравнения есть содержательная интерпретация математических выражений, формул, уравнений в физической системе понятий (физическая система, частица, масса, энергия, координата, импульс, заряд, постоянная Планка, энтропия, волновая функция, амплитуда вероятности, ...), дающая объяснение результатам наблюдений.

9. Характеристики (наблюдаемые) физических систем, находящихся в чистых состояниях, описываются волновыми функциями или амплитудами вероятности, содержащими в общем случае в качестве параметров и переменных общепринятые физические характеристики (массу, энергию, заряд,..) и физические константы (скорость света, постоянную Планка, гравитационную постоянную,...). Квадрат модуля волновой функции или амплитуды вероятности есть плотность вероятности или вероятность.

10. Информация – это характеристика устойчивой определенное время физической системы – характеристика неоднородности, неоднородности материи и энергии.

11. На физических системах наряду с физическими характеристиками, определены информационные характеристики – информационная энтропия по Шеннону, информационная дивергенция, совместная информационная энтропия, информация связи.

12. Информационная энтропия и информационная дивергенция определены на наблюдаемых и состояниях физической системы. Совместная информационная энтропия определена на унитарных преобразованиях, связывающих состояния физической системы. Информация связи определена на наблюдаемых и состояниях взаимодействующих подсистем физической системы и унитарных преобразованиях, связывающих подсистемы.

13. Имеется важная однородная физическая система – физический

вакуум и его характеристика – темная энергия.
14. Важнейшими суждениями являются также информационные законы, которые как и физические законы выявляют регулярность и общность взаимосвязей между суждениями, прошлыми наблюдениями с будущими наблюдениями.
15. Информационные модели, информационные законы есть содержательная интерпретация математических выражений, формул, уравнений в информационной системе понятий (информация, информационная энтропия, информационная дивергенция, совместная энтропия, информация связи, скорость передачи, ...), дающая объяснение результатам наблюдений.
16. Информационные характеристики физических систем неразрывно связаны с физическими характеристиками физических систем.
17. Информационные характеристики физических систем (например, объем информации в расширяющейся Вселенной, квадратичная зависимость информации в черной дыре от массы) исследуются с привлечением информационных методов. При этом используются известные, общепризнанные физические модели. Информационные характеристики физических систем связаны с физическими характеристиками, поэтому при исследовании информационных характеристик одновременно исследуются физические характеристики (например, структура, излучение черной дыры).
18. При оценках изменения характеристик замкнутой (изолированной) системы при внутренних преобразованиях и при взаимодействии частей системы необходимо совместно использовать информационный закон сохранения неопределенности (информации) и физические законы сохранения энергии, импульса,...
19. Объем информации в результатах экспериментальных исследований (наблюдений, измерений) физической системы, равен объему информации в теоретическом описании (модели) физической системы.
20. В силу теоремы Геделя физика не может ограничиться классическими теориями, в рамках которых всегда существуют недоказуемые истинные выражения. Это объясняет обязательное существование квантовой физики, описывающей физические системы вероятностными характеристиками, использующая высказывания истинные с определенной вероятностью.

17.2. Информационные характеристики физических систем

Информационная энтропия (неопределенность). Информационная энтропия (неопределенность) – характеристика наблюдаемых и состояний физических систем, мера сложности систем.

Внешняя неопределенность. Характеризует пространственное состояние физической системы. Используем описание физической системы волновой функцией. Согласно квантовой механике, для системы, находящейся в чистом состоянии, часть параметров «a» может задаваться точно, значения другой части параметров «b» при этом задаются функцией или плотностью распределения $P(b) = \left|\psi_a(b)\right|^2$, где $\psi_a(b)$ – волновая функция, описывающая физическую систему в b–представлении (волновая функция, описывающая наблюдаемую b). Система, находящаяся в чистом состоянии $\psi_a(b)$, имеет неопределенность наблюдаемой *b,* равную информационной энтропии К. Шеннона для непрерывных случайных величин $N_a(b) = -\int \left|\psi_a(b)\right|^2 \log_2 \left|\psi_a(b)\right|^2 db$ бит. Как правило, внешняя неопределенность определяется на волновых функциях, зависящих от пространственно-временных координат.

Примечание 17.1. Важно отметить, что энтропия по Нейману не может использоваться в качестве меры неоднородности, поскольку она равна нулю для имеющего структуру чистого состояния.

Внутренняя неопределенность. Характеризует внутреннее состояние физической системы, определяется на волновых функциях (амплитудах вероятности) в гильбертовых пространствах, описывающих состояние системы, информационную емкость системы. Рассмотрим объект в состоянии $\left|\alpha\right\rangle$, описываемом амплитудами вероятностей $\left\langle\beta_i\middle|\alpha\right\rangle$ $\left|\alpha\right\rangle = \sum \left|\beta_i\right\rangle\left\langle\beta_i\middle|\alpha\right\rangle$. Величина $\left\langle\beta_i\middle|\alpha\right\rangle^2$ есть вероятность обнаружения наблюдаемой β, объекта, находящегося в состоянии $\left|\alpha\right\rangle$, в базисном состоянии $\left|\beta_i\right\rangle$. Неопределенность наблюдаемой β, объекта, находящегося в состоянии $\left|\alpha\right\rangle$, равна информационной энтропии Шеннона для дискретных случайных величин

$N = -\sum \left|\langle \beta_i | \alpha \rangle\right|^2 \log_2 \left|\langle \beta_i | \alpha \rangle\right|^2$ бит. Неопределенность определяется состоянием, в котором находится система и наблюдаемой, описывающей систему. Наблюдаемой в квантовой механике называют любую физическую величину, которую можно измерить, причем результатами эксперимента обязательно должны являться действительные числа. В общем случае неопределенность разных наблюдаемых системы, находящейся в заданном состоянии, может быть различна. Если наблюдаемая фиксирована, то можно говорить о неопределенности состояния квантовой системы. Точно также можно говорить о неопределенности состояния квантовой системы в случае задания системы координат из априорных соображений.

Полная неопределенность системы равна сумме внешней и внутренней неопределенности.

Смешанное состояние $\psi_S(x)$ определяется как смесь чистых состояний $\psi_i(x)$. p_i есть вероятность реализации чистого состояния $\psi_i(x)$. Неопределенность наблюдаемой в смешанном состоянии системы N_S равна сумме средней неопределенности наблюдаемой в чистых состояниях плюс энтропия системы (неопределенность состояний) $N_S = N + S$.Здесь N – средняя неопределенность наблюдаемой в (чистых) состояниях системы $N = \sum_i p_i N_i$. N_i – неопределенность наблюдаемой в i-м (чистом) состоянии системы; S – энтропия системы (неопределенность состояний системы) $S = -\sum_i p_i \ln p_i$.

Основные свойства неопределенности (информации).

Неопределенность физических систем (наблюдаемых) может принимать любые значения от - ∞ до + ∞, ∞ ≤ N ≤ + ∞.

1. Классические объекты, приборы, обладающие точными значениями всех своих параметров, имеют неопределенность, равную - ∞ (не ноль!). Точнее говоря, неопределенность, равную -∞, имеют состояния, соответствующие точным значениям наблюдаемых в представлении этих же наблюдаемых.
2. Свободные частицы могут иметь пространственную неопределенность, равную + ∞.
3. Неопределенность физической системы S, состоящей из не взаи-

модействующих подсистем S_1, S_2,..., равна сумме неопределенностей этих подсистем (аддитивность): $N_s = N_{s1} + N_{s2} + \ldots$

4. Неопределенность физической системы S, состоящей из взаимодействующих подсистем S_1, S_2, не превосходит суммы неопределенностей этих подсистем: $N_{s1} + N_{s2} + \ldots \geq N_s$. Можно сказать, что в системе, состоящей из взаимодействующих подсистем, образуется дефект неопределенности: $\Delta N_s = N_{s1} + N_{s2} + \ldots - N_s$.

5. Если у физической системы S, находящейся в смешанном состоянии, число состояний M, в которых может находиться система велико так, что $\ln M >> \max N_i$, то неопределенность системы можно считать приблизительно равной энтропии системы.

Для изучения физических характеристик систем полезно использовать связанную с ними дифференциальную (удельную) информационную емкость, определяемую на единицу массы.

Информационная дивергенция. Наличие и свойства неоднородности, задаваемой распределением P, оценивается информационной дивергенцией $D(P/R)$ распределения P относительно равномерного распределения R

$$D(P/R) = -\int P(x)\cdot\log_2 P(x)\cdot dx + \int P(x)\cdot\log_2 R(x)\cdot dx\ .$$

$P(x)$ - распределение, характеризующее искомую неоднородность.

$R(x)$ - равномерное распределение на интервале $0 \leq x \leq a$

Аналогично оценивается неоднородность информационной дивергенцией в многомерном случае.

Свойства информационной дивергенции. Информационная дивергенция $D(P(x)/R(x))$ относительно равномерного распределения R не положительна $D(P(x)/R(x)) \leq 0$. Если распределение $P(x)$ равномерно – $P(x) \equiv R(x)$, то информационная дивергенция $D(P(x)/R(x))$ в координатах x равна нулю $D(P(x)/R(x)) = 0$.

Если y есть функция x - $y = y(x)$ ($y_i = y_i(x_1, \ldots, x_n)$), то информационная дивергенция $D(P(x)/R(x))$ распределения $P(x)$ относительно равномерного распределения $R(x)$ и информационная дивергенция $D(P(y)/R(y))$ распределения $P(y)$ относительно равномерного распределения $R(y)$ равны (не равны) нулю одновременно

$$D(P(x)/R(x)) = 0 \Leftrightarrow D(P(y)/R(y)) = 0$$

или

$$D(P(x)/R(x)) \neq 0 \Leftrightarrow D(P(y)/R(y)) \neq 0\ .$$

При изменении единицы измерения (масштаба) информационная дивергенция сохраняется.

Совместная информационная энтропия. Совместная информационная энтропия характеризует унитарные операторы (преобразования) состояний физической системы. Определим для унитарного оператора (преобразования), унитарной матрицы $U = \left\| u_{ij} \right\|$ шенноновскую матрицу: $SH(U) = \left\| u_{sh\ ij} \right\| = \left\| \frac{u_{ij}}{\sqrt{n}} \right\|$, $i, j = 1,...,n$. Определим на шенноновской матрице конечное вероятностное пространство: множество Ω элементарных событий (исходов) составляют пары базисных векторов y_i, x_j базисов y и x; вероятностную меру зададим квадратами модулей элементов шенноновской матрицы $p_{ij}(SH(U)) = \frac{1}{n}\left|u_{ij}\right|^2$ (вероятностью совместной реализации состояний y_i и x_j при измерении состояния y в базисе x). $\sum\limits_{i,j=1}^{n} p_{ij}(SH(U)) = \frac{1}{n}\sum\limits_{i,j=1}^{n}\left|u_{ij}\right|^2 = 1$. Таким образом, матрица совместных вероятностей $P(SH(U)) = \left\| \left| u_{sh\ ij}(U) \right|^2 \right\| = \left\| \frac{\left|u_{ij}\right|^2}{n} \right\|$ определяется по шенноновской матрице однозначно. Используя матрицу совместных вероятностей, определим совместную энтропию, соответствующую унитарной матрице $U = \left\| u_{ij} \right\|$:

$$H(U) = H(P(SH(U))) = -\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \frac{\left|u_{ij}\right|^2}{n} \log_2 \frac{\left|u_{ij}\right|^2}{n}.$$

Каждому унитарному оператору (преобразованию), унитарной матрице $U = \left\| u_{ij} \right\|$ соответствует единственное значение совместной энтропии. Совместная энтропия, соответствующая унитарной матрице U, равна средней неопределенности базисных векторов y_i (x_i) в системе координат x (y) плюс $\log_2 n$.

Информация связи. Информация связи характеризует взаимодействие сцепленных (запутанных) подсистем физической системы. Информация связи случайных величин x и y: $I_{AB} = N_A + N_B - N_{AB}$. Здесь I_{AB} – информация связи подсистем A и B; N_A – неопределенность (информационная энтропия) подсистемы A; N_B – неопределенность (информационная энтропия) подсистемы B; N_{AB} – совместная неопределенность (совместная информационная энтропия) системы $A+B$. Для оценки информации связи двух подсистем произвольной системы используем представление системы в виде разложения Шмидта. Информация связи (величина информационного взаимодействия) подсистем A, B системы $A+B$ равна $I_{AB} = N_A + N_B - N_{AB} = -\sum_{i=1}^{d} |c_i|^2 \log_2 |c_i|^2$ бит. (c_i - коэффициенты разложения Шмидта, d - размерность системы). Из закона сохранения неопределенности следует, что если система находится в состоянии ψ, то при изменении координат и ориентации отдельных кубитов, подмножеств кубитов, подсистем, сцепленного состояния в целом, неопределенности сцепленных состояний сохраняются. Кубиты, входящие в состав сцепленного состояния, можно перемещать с произвольной скоростью друг относительно друга, не меняя неопределенность. Тем самым, объясняется сохранение величины информационного взаимодействия.

Максимальная информация связи (максимальное информационное взаимодействие подсистем A, B системы $A+B$) равна $I_{AB\max} = \log_2 d$ бит. Поскольку для несцепленных (незапутанных) подсистем A, B: $I_{AB\min} = 0$, то информационное взаимодействие подсистем A, B системы $A+B$ лежит в диапазоне $0 \le F_{I\,AB} \le \log_2 d$. Пусть система $A+B$ и подсистемы A, B содержат примерно N бит информации. Тогда количество кубитов в каждой из взаимодействующих подсистем примерно равно N. Размерность соответствующего гильбертова пространства равна $d = 2^{\mathrm{N}}$. Следовательно, информационное взаимодействие подсистем не превосходит $F_{I\,AB} = \log_2 d = N$ бит. Информационное взаимодействие подсистем определяется объемом информации в подсистемах.

17.3. Информационные законы природы

Приведем основные информационные законы природы:

Закон простоты сложных систем. *Реализуется, выживает, отбирается тот вариант сложной системы, который обладает наименьшей сложностью.*

Закон сохранения неопределенности (информации). *Неопределенность (информация) изолированной (замкнутой) системы сохраняется при физически реализуемых преобразованиях и только при физически реализуемых преобразованиях.*

Закон конечности информационных характеристик сложных систем. *Все виды взаимодействия между системами, их частями и элементами имеют конечную скорость распространения. Ограничена также скорость изменения состояний элементов системы.*

Закон необходимого разнообразия Эшби. *Для эффективного функционирования системы разнообразие управляющего органа должно быть не менее разнообразия объекта управления.*

Теорема Геделя о неполноте. *В достаточно богатых теориях (включающих арифметику) всегда существуют недоказуемые истинные выражения.*

Закон роста сложности систем. *В ходе эволюции системы ее неопределенность (информация в ней) растет.*

17.4. Физические законы и свойства Вселенной – следствие информационных законов природы

Законы информатики определяют физические законы и свойства Вселенной, в частности, накладывают ограничения на размерность пространства-времени, физические преобразования пространства-времени и преобразования внутренней симметрии.

Примеры связи между законами информатики и физическими законами и свойствами Вселенной указаны в таблице 17.1. Рассмотрим связь между законами информатики и физическими законами и свойствами Вселенной более подробно.

Утверждение 17.1. *Пространство трехмерно.*

Покажем, что закон необходимого разнообразия Эшби и закон

Таблица 16.1

Взаимосвязь между законами информатики и физическими законами и свойствами Вселенной

Законы информатики / Физические законы и свойства Вселенной	Закон простоты сложных систем	Закон сохранения неопределен-ности (информации)	Закон конечности информационных характеристик сложных систем	Закон необходимого разнообразия У.Р. Эшби	Теорема Геделя
Трехмерность пространства	+			+	
Четырехмерность пространства-времени	+			+	
Иерархическая структура Вселенной	+				
Осуществление взаимодействия через поля	+				
Конечная скорость распространения взаимодействия	+	+	+		
Устойчивость Вселенной	+		+		
Принцип информационной эквивалентности инерциальных систем координат	+	+			
Закон всемирного тяготения	+				

простоты сложных систем (принцип устойчивости) определяют трехмерность пространства.

Таблица 16.1. Продолжение 1

Взаимосвязь между законами информатики и физическими законами и свойствами Вселенной

Законы информатики / Физические законы и свойства Вселенной	Закон простоты сложных систем	Закон сохранения неопределен-ности (информации)	Закон конечности информационных характеристик сложных систем	Закон необходимого разнообразия У.Р. Эшби	Теорема Геделя
Закон Кулона	+				+
Ограничения на допустимые преобразования координат	+	+			+
Равенство единице определителя сдвигов и линейных преобразований координат		+			
Сдвиги и линейные преобразования координат	+	+			
Однородность времени	+	+			
Однородность пространства	+	+			
Свойства скорости распространения взаимодействия	+	+	+		
Изотропность пространства	+	+			

Таблица 16.1. Продолжение 2

Взаимосвязь между законами информатики и физическими законами и свойствами Вселенной

Законы информатики / Физические законы и свойства Вселенной	Закон простоты сложных систем	Закон сохранения неопределен-ности (информации)	Закон конечности информационных характеристик сложных систем	Закон необходимого разнообразия У.Р. Эшби	Теорема Геделя
Закон сохранения энергии	+	+			
Закон сохранения импульса	+	+			
Закон сохранения момента импульса	+	+			
Допустимые физические преобразования		+			
Отражения, несобственные вращения, обращение времени в изолированной (замкнутой) системе запрещены и физически нереализуемы		+			
Плоскостность пространства	+				
Наличие начальных неоднородностей (информации) Вселенной	+	+			
Рост неоднородностей (информации) при расширении Вселенной		+			

Таблица 16.1. Продолжение 3

Взаимосвязь между законами информатики и физическими законами и свойствами Вселенной

Законы информатики / Физические законы и свойства Вселенной	Закон простоты сложных систем	Закон сохранения неопределен-ности (информации)	Закон конечно-сти информацион-ных характеристик сложных систем	Закон необ-ходимого разно-образия У.Р. Эшби	Теорема Геделя
Множество и характеристики воз-никающих при расширении Все-ленной взаимодействий, частиц и полей	+	+			
Конечный объем информации во Вселенной	+	+			
Характер степенного расширения Вселенной. Ограничения на ин-фляционное расширения Вселен-ной	+	+			
Тождественность Вселенной и Ме-тагалактики	+		+		
Квантовомеханическое волновое правило сложения амплитуд		+			
Обязательность существования квантовой физики, использующей высказывания, истинные с опреде-ленной вероятностью					+
Познаваемость Вселенной	+		+		

1) В соответствии с законом необходимого разнообразия Эшби 1-и 2-мерное пространство недостаточны для сколько-нибудь сложно устроенной нервной системы. Следовательно, система, сравнимая по сложности с человеком может возникнуть в пространстве размерности не меньшем трех.
2) Эренфест рассматривает физику в n-мерном евклидовом пространстве E^n. Закон взаимодействия с точечным центром он выводит из дифференциального уравнения Пуассона (закона Гаусса). В качестве законов динамики Эренфест использует обобще- ние ньютоновских законов динамики на случай E^n и на их основе анализирует устойчивость орбит в поле гравитирующего центра (планетная система).
Оказывается, что только в пространстве размерности не большей трех – E^3 возможно устойчивое движение, только в пространстве E^3 возможно как устойчивое финитное, так и инфинитное движение.
3) Трехмерность пространства удовлетворяют и закону необходимого разнообразия Эшби и закону простоты сложных систем (принцип устойчивости). Следовательно, пространство трехмерно.

Примечание 17.2. Приводимые здесь и далее доказательства не всегда математически строги, но обосновывают приводимые утверждения. В ряде случаев доказательства не приводятся.

Утверждение 17.2. *Пространство-время четырехмерно.*
Доказательство того, что Вселенная – четырехмерное псевдоевклидово пространство следует из трехмерности пространства и одномерности времени.

Утверждение 17.3. *Вселенная представляет собой иерархическую совокупность физических систем.*

Доказательство следует из принципа иерархического построения сложных систем закона простоты сложных систем – сложные системы имеют иерархическую модульную структуру.

Утверждение 17.4. *Взаимодействие частиц осуществляется через поля и/или искривление пространства-времени.*

Доказательство следует из принципа полевого взаимодействия: взаимодействие между частями, элементами системы осуществляется через носители взаимодействия. Кроме того, частица может изменить состояние пространства-времени, например, искривить пространство-время, которое будет воздействовать на другие частицы.

Частицам при этом «не нужно знать законы взаимодействия» им необходимо и достаточно чувствовать свое (и) поле (я) и/или кривизну пространства-времени.

Утверждение 17.5. *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.*

При переходе от инерциальной системы координат K к инерциальной системе координат K^1 координаты преобразуются с преобразованиями Лоренца: $X^1 = LX$, $X = \{x, y, z, t\}$.

1. Неопределенность значений координат в системе K равна

$$N_K(x) = -\iiiint |\Psi(x)|^2 \ln |\Psi(x)|^2 \, dx,$$

а в системе K^1:

$$N_{K1}(x^1) = N_K(x) - \iiiint |\Psi(x)|^2 \ln J(x/x^1) \, dx.$$

Якобиан $J(x/x^1)$ равен определителю обратного преобразования координат, а поскольку преобразования Лоренца ортогональны, то: $|L| = |L^{-1}| = 1$, и $N_{K1}(x^1) = N_K(x)$.

Определим среднее количество информации, которое можно получить о координатах объекта A в инерциальной системе K в единицу времени. Измерение производится путем воздействия на объект и регистрации ответной реакции. Прибор, находящийся в начале координат, испускает фотоны, а затем фиксирует результат взаимодействия фотона и объекта. Кроме того, прибор, как классический объект, содержит эталоны длины и времени.

Скорость распространения фотонов в системе K равна c и на процесс измерения в среднем будет затрачено время

$$t = 2E(x) / c = 2 \int x |\Psi(x)|^2 \, dx / c,$$

где $E(x)$ – среднее значение координаты x.

Таким образом, среднее количество информации, которое можно получить о координатах объекта X в системе K, равно

$$I_K(x) = N_K(x) / t = N_K(x) \, c / (2E(x)).$$

Если рассмотреть систему K^1 и объект A, то

$$I_{K1}(x^1) = N_{K1}(x^1) / t = N_{K1}(x^1) \, c^1 / (2E(x^1)).$$

Так как неопределенность объекта одинакова в различных инерциальных системах координат, то $N_{K1}(x^1) = N_K(x)$.

Аналогично получаем $E(x^1) = E(x)$ и $c = c^1$, так как максимальные скорости распространения взаимодействия равны скорости света и одинаковы во всех инерциальных системах координат. Следовательно, $I_{K1}(x^1) = I_K(x)$.

Во всех инерциальных системах координат объем информации, который можно получить о физической системе в единицу времени прибором, находящемся в начале координат, одинаков.

Утверждение 17.6. *Пространственная неопределенность (информация о расположении частицы в пространстве) определяет ньютоновский гравитационный потенциал и кулоновский потенциал (первая производная неопределенности по радиусу), напряженность гравитационного поля и кулоновского поля (вторая производная неопределенности по радиусу).*

Ньютоновский гравитационный потенциал в точке b, создаваемой точечной массой M_a, находящейся в точке а, $\varphi = -\frac{G \cdot M_a}{r_{ab}}$, где G - гравитационная постоянная, r_{ab} - расстояние от точки a до точки b. Потенциальная энергия тела с массой m_b, находящегося в точке b, равна $\phi \cdot m_b$, т. е. φ - потенциальная энергия тела единичной массы в данной точке гравитационного поля, а напряженность гравитационного поля равна градиенту гравитационного потенциала $F = -\frac{\partial \varphi}{\partial r}$.

Рассмотрим трехмерное евклидово пространство R^3. Выделим в нем шар радиуса r и объема $V = \frac{4}{3}\pi r^3$. Предположим, что в шаре располагается частица, радиус которой равен r_0 и объем $V_0 = \frac{4}{3}\pi r_0^3$. Неопределенность расположения частицы в шаре (пространственная неопределенность частицы) равна

$$N = \log_2 \frac{V}{V_0} = 3\log_2 \frac{r}{r_0} = 3\log_2 r - 3\log_2 r_0 .$$

Первая производная от неопределенности по радиусу $\frac{dN}{dr} = \frac{3}{\ln 2} \cdot \frac{1}{r}$ с точностью до константы есть гравитационный потенциал единичной массы.

Вторая производная от неопределенности по радиусу $\frac{d^2N}{dr^2} = -\frac{3}{\ln 2}\cdot\frac{1}{r^2}$ с точностью до константы есть напряженность гравитационного поля. Таким образом, пространственная неопределенность (информация о расположении частицы в пространстве) определяет ньютоновский гравитационный потенциал (первая производная неопределенности по радиусу) и напряженность гравитационного поля (вторая производная неопределенности по радиусу).

Аналогичным образом связано с пространственной неопределенностью и кулоновское взаимодействие.

Примечание 17.3. Каждому преобразованию в исходном n-мерном евклидовом пространстве E^n с координатами x соответствует множество преобразований в подпространствах E^i исходного пространства E^n ($E^i \subseteq E^n$) и частные преобразования должны также сохранять неопределенность.

В силу закона сохранения неопределенности преобразования изолированных (замкнутых) систем физически реализуемы тогда и только тогда, когда они сохраняют неопределенность.

Утверждение 17.7. *При преобразованиях систем координат неопределенность (информация) сохраняется в том и только в том случае, когда значение якобиана преобразования равно единице*

$$J\left(\frac{x_1,\ldots,x_n}{y_1,\ldots,y_n}\right) = 1 .$$

Рассмотрим переход от координат $x = (x_1,\ldots,x_n)$ к координатам $y = (y_1,\ldots,y_n)$ - $y = y(x)$. Пусть N_x, N_y - значения неопределенности (информации), характеризующей физическую систему в координатах x и y

$$N_y = -\int\ldots\int p(y_1,\ldots,y_n))\ln p(y_1,\ldots,y_n)dy_1\ldots dy_n =$$

$$= N_x - \int\ldots\int p(x_1,\ldots,x_n)\ln J\left(\frac{x_1,\ldots,x_n}{y_1,\ldots,y_n}\right)dx_1\ldots dx_n .$$

Утверждение 17.8. *При преобразованиях типа $\varphi' = e^{i\alpha}\varphi$, неопределенность (информация) сохраняется.*

Утверждение 17.9. *Трансляционные преобразования являются*

наиболее простыми.

Трансляцией (сдвигом) называют такое перемещение пространства, при котором перемещение всех точек одинаково $y = x + z$. Трансляционные преобразования координат в *n*-мерном евклидовом пространстве E^n определяются не более, чем *n* параметрами, что меньше по сравнению с другими видами преобразований.

Утверждение 17.10. *Трансляционные преобразования физически реализуемы.*

Матрица якобиана трансляционного преобразования $y_i = x_i + z_i$ равна единичной матрице $J(\frac{x_1, ..., x_n}{y_1, ..., y_n}) = E = \begin{Vmatrix} 1 & 0 & ... & 0 \\ 0 & 1 & ... & 0 \\ ... & ... & ... & ... \\ 0 & 0 & ... & 1 \end{Vmatrix}$.

Якобиан (определитель матрицы якобиана) преобразования трансляции (сдвига) равен единице. Физическая реализуемость трансляционных преобразований непосредственно следует из закона сохранения неопределенности (информации): неопределенность (информация) изолированной (замкнутой) системы сохраняется при физически реализуемых преобразованиях и только при физически реализуемых преобразованиях.

Утверждение 17.11. *Линейные преобразования координат, как и трансляционные, являются наиболее простыми преобразованиями.*

Линейные преобразования координат в *n*-мерном евклидовом пространстве E^n определяются не более, чем n^2 параметрами, что меньше по сравнению с другими видами преобразований, кроме трансляционных.

Утверждение 17.12. *Во Вселенной реализуемы линейные преобразования координат.*

Закон простоты сложных систем требует реализации во Вселенной линейных преобразований координат (как самых простых).

В дальнейшем будем рассматривать линейные преобразования координат $y = Ax$ или $y = \begin{Vmatrix} a_{ij} \end{Vmatrix} x$. В этом случае якобиан равен определителю обратного преобразования координат $\det \begin{Vmatrix} a_{ij} \end{Vmatrix}^{-1}$ и значение неопределенности (информации), характеризующей физическую систему в новых координатах, равно

$$N_y = -\int ... \int \; p(y_1, ..., y_n)) \ln p(y_1, ..., y_n) dy_1 ... dy_n =$$

$$= N_x - \int ... \int \; p(x_1, ..., x_n) \ln \left(\det \left\| a_{ij} \right\|^{-1} \right) dx_1 ... dx_n .$$

Утверждение 17.13. *Неопределенность (информация) сохраняется в том и только в том случае, когда значение определителя линейного преобразования координат равно единице.*

Доказательство очевидно.

Утверждение 17.14. *Преобразования* U *состояний* $\left|\psi\right\rangle = \sum\limits_x c_x \left|x\right\rangle$ *в комплексном евклидовом пространстве, сохраняющие вероятностную структуру состояний (сумма вероятностей получения при измерении одного из базисных состояний* x *для исходного состояния* $\left|\psi\right\rangle = \sum\limits_x c_x \left|x\right\rangle$ *равна единице* $\left\langle \left|\psi\right\rangle \middle| \left|\psi\right\rangle \right\rangle = \sum\limits_x \left|c_x\right|^2 = 1$*, сумма вероятностей получения при измерении одного из базисных состояний* x *для конечного состояния* $U\left|\psi\right\rangle = U\sum\limits_x c_x \left|x\right\rangle = \sum\limits_x c_{ux} \left|x\right\rangle$ *равна единице* $\left\langle \left|U\psi\right\rangle \middle| \left|U\psi\right\rangle \right\rangle = \sum\limits_x \left|c_{ux}\right|^2 = 1$*), являются унитарными.*

Унитарное преобразование – это линейное преобразование $x'_i = u_{i1}x_1 + u_{i2}x_2 + ... + u_{in}x_n$ ($i = 1, 2, ..., n$) с комплексными коэффициентами, сохраняющее неизменной сумму квадратов модулей преобразуемых величин

$$\left|x'_1\right|^2 + \left|x'_2\right|^2 + ... + \left|x'_n\right|^2 = \left|x_1\right|^2 + \left|x_2\right|^2 + ... + \left|x_n\right|^2$$

Рассмотрим произвольное состояние физической системы $\left|\psi\right\rangle = \sum\limits_x c_x \left|x\right\rangle$. Коэффициенты разложения по выделенному базису (классических состояний) называются амплитудами, а квадрат модуля амплитуды $\left|c_x\right|^2$ равен вероятности обнаружения системы в состоянии x, т.е. вероятность получения базисного состояния x при измерении состояния $\left|\psi\right\rangle = \sum\limits_x c_x \left|x\right\rangle$ равна $P(\left|\psi\right\rangle, x) = \left|c_x\right|^2$. Преобразо-

вания должны сохранять равенство единице суммы вероятностей получения при измерении одного из базисных состояний x для исходного $\left|\psi\right\rangle = \sum\limits_x c_x \left|x\right\rangle$ и конечного состояний $U\left|\psi\right\rangle = U\sum\limits_x c_x \left|x\right\rangle = \sum\limits_x c_{ux} \left|x\right\rangle$ $\left\langle\left|\psi\right\rangle\middle|\left|\psi\right\rangle\right\rangle = \sum\limits_x \left|c_x\right|^2 = 1$, $\left\langle\left|U\psi\right\rangle\middle|\left|U\psi\right\rangle\right\rangle = \sum\limits_x \left|c_{ux}\right|^2 = 1$. Таким образом, преобразование должно быть унитарным.

Утверждение 17.15. *Преобразования O состояний $\left|\psi\right\rangle = \sum\limits_x c_x \left|x\right\rangle$ в действительном евклидовом пространстве, сохраняющие вероятностную структуру состояний (сумма вероятностей получения при измерении одного из базисных состояний x для исходного состояния $\left|\psi\right\rangle = \sum\limits_x c_x \left|x\right\rangle$ равна единице $\left\langle\left|\psi\right\rangle\middle|\left|\psi\right\rangle\right\rangle = \sum\limits_x \left|c_x\right|^2 = 1$, сумма вероятностей получения при измерении одного из базисных состояний x для конечного состояния $O\left|\psi\right\rangle = O\sum\limits_x c_x \left|x\right\rangle = \sum\limits_x c_{ox} \left|x\right\rangle$ равна единице $\left\langle\left|O\psi\right\rangle\middle|\left|O\psi\right\rangle\right\rangle = \sum\limits_x \left|c_{ox}\right|^2 = 1$), являются ортогональными.*

Доказательство аналогично предыдущему.

Утверждение 17.16. *Собственные вращения физически реализуемы.*

Унитарные преобразования с определителем равным единице – это преобразования собственного вращения. Такие преобразования сохраняют неопределенность (информацию), следовательно, в изолированных (замкнутых) системах физически реализуемы.

Примечание 17.4. Группа унитарных матриц с определителем, равным единице, изоморфна группе собственных вращений пространства и группе собственных вращений системы координат.

Утверждение 17.17. *Преобразования классической механики (преобразования Галилея) физически реализуемы.*

Преобразования Галилея оставляют неизменным интервал $ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2$. Их можно формально рассматривать как вращения в евклидовом 3-мерном пространстве. Преобразования Галилея состоят из трех независимых вращений в плоскостях $x_i x_j$ и трех

преобразований, отвечающих произволу в выборе начала системы координат $x_\mu \to x_\mu + a_\mu$ (трансляционных преобразований). Все они сохраняют неопределенность. Следовательно, преобразования Галилея в изолированных (замкнутых) системах физически реализуемы.

Утверждение 17.18. *Преобразования специальной теории относительности (преобразования Лоренца) физически реализуемы.*

Преобразования Лоренца оставляют неизменным интервал $ds^2 = dt^2 - dx_1^2 - dx_2^2 - dx_3^2$. Их можно формально рассматривать как вращения в псевдоевклидовом 4-мерном пространстве-времени (пространстве Минковского), для которых генераторы поворота в плоскостях tx_1, tx_2, tx_3 являются чисто мнимыми. Физически они отвечают переходу к движущейся вдоль какой-либо из осей x_i системе координат. Преобразования в плоскостях $x_i x_j$ являются обычными вращениями. Т.о., преобразования Лоренца состоят из трех независимых вращений в плоскостях $x_i x_j$ и трех независимых движений вдоль осей x_i. Кроме этих шести преобразований симметрии в пространстве Минковского допустимы еще четыре, отвечающие произволу в выборе начала системы координат $x_\mu \to x_\mu + a_\mu$ (трансляционные преобразования). Все они сохраняют неопределенность. Следовательно, преобразования Лоренца в изолированных (замкнутых) системах физически реализуемы.

Утверждение 17.19. *Допустимость трансляционного преобразования времени означает его однородность.*

Данное утверждение следует из определения однородности времени.

Утверждение 17.20. *Допустимость трансляционного преобразования пространства означает его однородность.*

Данное утверждение следует из определения однородности пространства.

Утверждение 17.21. *Конечная скорость распространения взаимодействия есть необходимое условие устойчивости физических систем.*

Покажем, что при бесконечной скорости взаимодействия физическая система становится неустойчивой. Рассмотрим взаимодействие между двумя объектами А и В (рис. 17.1).

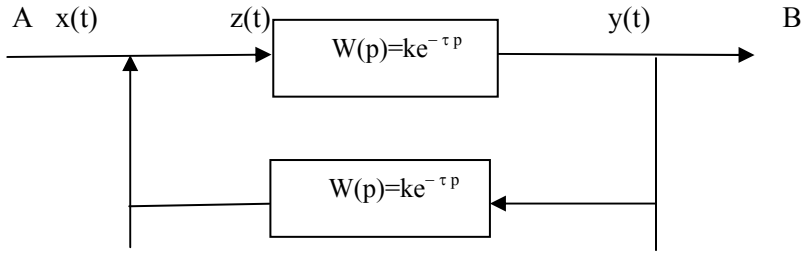


Рис. 17.1. Схема взаимодействия объектов А и В

В силу однородности и изотропности пространства время распространения носителя взаимодействия от А до В и обратно одинаково и равно τ: $y(t) = z(t-\tau)$, $z(t) = x(t) + y(t-\tau)$.

Передаточные функции, описывающие передачу носителя взаимодействия из А в В и В в А, равны $W(p) = e^{-\tau p}$.

Передаточная функция, описывающая взаимодействие объектов А и В, равна $W(p) = \dfrac{e^{-\tau p}}{1-e^{-2\tau p}}$ или $W(p) = \dfrac{e^{\tau p}}{e^{2\tau p}-1}$, а характеристическое уравнение системы взаимодействующих объектов А и В имеет вид: $e^{2\tau p} - 1 = 0$.

При $e^{2\tau p} = 1$ или $\tau = 0$ система неустойчива, что возможно только при бесконечной скорости распространения взаимодействия. Т.о., свойство устойчивости систем реализуется при конечной скорости распространения взаимодействия.

Отметим, что для устойчивости системы необходимо ограничение скорости взаимодействия любой константой. В соответствии с современными физическими представлениями скорость распространения всех видов взаимодействия ограничена скоростью света.

Утверждение 17.22. *Скорость взаимодействия:*

конечна и одинакова при любом расположении в пространстве взаимодействующих объектов (это является следствием устойчивости, однородности и изотропности пространства);

одинакова в любой момент времени (это является следствием однородности времени);

конечна и одинакова во всех инерциальных системах координат (последнее является следствием из принципа информационной эквивалентности инерциальных систем координат).

Доказательство следует из утверждения 16.20 и закона простоты сложных систем.

Утверждение 17.23. *Из однородности времени следует закон сохранения энергии.*

Это физическое утверждение следует из определения однородности времени и теоремы Нетер.

Утверждение 17.24. *Из однородности пространства следует закон сохранения импульса.*

Это утверждение следует из определения однородности пространства и теоремы Нетер.

Утверждение 17.25. *Допустимость преобразования собственного вращения означает изотропность пространства.*

Это утверждение следует из определения изотропности пространства.

Утверждение 17.26. *Из изотропности пространства следует закон сохранения момента импульса.*

Это утверждение следует из определения однородности пространства и теоремы Нетер.

Утверждение 17.27. *Закон сохранения заряда является следствием инвариантности лагранжиана относительно глобального калибровочного преобразования типа $\varphi' = e^{i\alpha Q}\varphi$, где Q - заряд частицы, описываемой полем φ, а α - произвольное число, не зависящее от пространственно-временных координат частицы.*

Примечание 17.5. Группа таких фазовых преобразований $U(1)$ – унитарная группа порядка 1 (мультипликативная абелева группа всех комплексных чисел, равных по модулю единице: $\left\{z \in C : \left|z\right| = 1\right\}$. Элементы группы $U(1)$ определяют фактически величину угла: комплексное число z можно записать как $z = e^{i\varphi}$ (причём φ будет уже действительным), а умножение комплексных чисел перейдёт в сложение углов. Таким образом, группу $U(1)$ можно понимать как группу поворотов окружности, или же группу поворотов $SO(2)$ всей плоскости вокруг начала координат.

Утверждение 17.28. *Термодинамическое уравнение Гиббса (ос-*

новное термодинамическое тождество) следует из законов сохранения неопределенности (информации) и энергии

Предположим, что при переходе системы из начального состояния в конечное состояние формируются частицы (кванты излучения с нулевой массой покоя), каждая из которых содержит I_p=1 бит и имеет энергию $E_p = h\nu$. В силу закона сохранения неопределенности (информации) сформировавшиеся частицы должны обладать информацией равной $\Delta I = I' - I''$, т.е. должно сформироваться $n = I' - I'' = \Delta I$ квантов излучения. В силу закона сохранения энергии сформировавшиеся кванты излучения должны обладать энергией $nh\nu$, равной $\Delta U = U'' - U'$. Таким образом, $nh\nu = \Delta U$. Будем считать, что система представляет собой абсолютно черное тело. Средняя энергия излучения связана с температурой теплового излучения абсолютно черного тела $E_p = h\nu = 2,7kT$ [84].

Поскольку $n = \Delta I$, то $\Delta I \cdot 2,7kT = \Delta U$, или $T = \dfrac{\Delta U}{2,7k\Delta I}$.

При $\Delta S = k\Delta I$ $T = \dfrac{\Delta U}{2,7\Delta S}$ или $\Delta U = 2,7T\Delta S$. В дифференциальном виде $T = \dfrac{dU}{2,7kdI}$ или $dU = 2,7kTdI$. При $\mathrm{d}S = kdI$

$T = \dfrac{dU}{2,7dS}$ или $dU = 2,7TdS$.

Таким образом, из законов сохранения неопределенности (информации) и энергии в частном случае при $\mathrm{d}S = kdI$, следует термодинамическое уравнение Гиббса (основное термодинамическое тождество): $dU = 2,7TdS$.

Обобщение на более общий случай $dU = TdS - PdV + \sum_j \mu_j dN_j$ производится путем учета выполняемой работы и учета добавления частиц в систему без совершения работы и добавлением в правую часть соответствующих слагаемых.

Следует отметить отличие приводимого выражения от стандартной формы термодинамического уравнения Гиббса

(основного термодинамического тождества) – наличие в правой части коэффициента 2,7.

Предположим, что при переходе системы из начального состояния в конечное состояние формируются частицы (адроны: барионы и мезоны с ненулевой массой покоя), каждая из которых содержит I_p бит и имеет энергию $E_p = m_p c^2 + \frac{m_p c^2}{2}$. В силу закона сохранения неопределенности (информации) сформировавшиеся частицы должны обладать информацией равной $\Delta I = I' - I''$, т.е. должно сформироваться $n = \frac{\Delta I}{I_p}$ частиц. В силу закона сохранения энергии сформировавшиеся частицы должны обладать энергией $nE_p = nm_p c^2 + n\frac{m_p c^2}{2}$, равной $\Delta U = U'' - U'$.

Таким образом, $\frac{\Delta I}{I_p} m_p c^2 + \frac{\Delta I}{I_p}\frac{m_p c^2}{2} = \Delta U$. Будем считать, что каждая частица имеет три степени свободы. Тогда $\frac{m_p c^2}{2} = \frac{3}{2}kT$.

Поскольку $\frac{\Delta I}{I_p} m_p c^2 + \frac{\Delta I}{I_p}\frac{m_p c^2}{2} = \Delta U$, то $\frac{\Delta I}{I_p} m_p c^2 + \frac{\Delta I}{I_p}\frac{3}{2}kT = \Delta U$,

или $\Delta U - \frac{\Delta I}{I_p} m_p c^2 = \frac{3}{2}\frac{\Delta I \cdot k}{I_p}T$. При $\Delta S = k\Delta I$

$\Delta U - \frac{\Delta I}{I_p} m_p c^2 = \frac{3}{2I_p}T\Delta S$. В дифференциальном виде

$dU - \frac{dI}{I_p} m_p c^2 = \frac{3}{2I_p}TdS$.

Таким образом, из законов сохранения неопределенности (информации) и энергии, в частном случае при $dS = kdI$, следует

термодинамическое уравнение Гиббса (основное термодинамическое тождество): $dU - \frac{dI}{I_p} m_p c^2 = \frac{3}{2I_p} TdS$.

Обобщение на более общий случай $dU = TdS - PdV + \sum_j \mu_j dN_j$ производится путем учета выполняемой работы и учета добавления частиц в систему без совершения работы и добавлением в правую часть соответствующих слагаемых.

Следуя отметить отличия приводимого выражения от стандартной формы термодинамического уравнения Гиббса (основного термодинамического тождества) – наличие в левой части дополнительного слагаемого $-(dI / I_p) m_p c^2$ и в правой части коэффициента $3 / 2I_p$.

Примечание 17.6. Поскольку закон сохранения энергии следует из закона сохранения неопределенности (информации), то термодинамическое уравнение Гиббса (основное термодинамическое тождество) следует из закона сохранения неопределенности (информации).

Т.о., из информационных законов простоты сложных систем, сохранения неопределенности (информации) следуют физические законы сохранения энергии, импульса, момента импульса, заряда, термодинамическое уравнение Гиббса (основное термодинамическое тождество).

Утверждение 17.29. *Отражения, несобственные вращения, обращение времени в изолированной (замкнутой) системе запрещены и физически нереализуемы.*

Отражения, несобственные вращения, обращение времени запрещены и физически нереализуемы, поскольку определители соответствующих преобразований равны минус единице.

Примечание 17.7. В соответствии с законом сохранения неопределенности (информации) изолированная (замкнутая) физическая система не может перейти из состояния $\psi(x)$ в состояние $\psi(-x)$ (отражение), из состояния $\psi(x)$ в состояние $\psi(-Ux)$ (несобственное вращение) и из состояния $\psi(x,t)$ в состояние $\psi(x,-t)$ (обращение времени), но системы, описываемые волновыми

функциями $\varphi(x) = \psi(-x)$, $\varphi(x) = \psi(-Ux)$, $\varphi(x,t) = \psi(x,-t)$ существовать могут.

Утверждение 17.30. *Если наблюдаемые A и B совместны, $\{\psi_{nm}\}$ образуют полную систему собственных векторов наблюдаемых $\hat{A}$ и $\hat{B}$ и $c_{nm} = (\psi_{nm}, \psi)$ для произвольного состояния ψ, то неопределенность наблюдаемых $\hat{A}$ и $\hat{B}$ состояния ψ динакова и равна*

$$N(\psi) = -\sum_{nm} \left|c_{nm}\right|^2 \ln\left|c_{nm}\right|^2 .$$

Совместные наблюдаемые A и B определяются коммутирующими операторами $\hat{A}$ *и* $\hat{B}$ $\hat{A}\,\hat{B} = \hat{B}\,\hat{A}$.

Пусть $\{\psi_{nm}\}$ образуют полную систему собственных векторов наблюдаемых A и B. Тогда произвольный вектор состояния ψ представляется в виде: $\psi = \sum_{nm} c_{nm}\psi_{nm}$, где $c_{nm} = (\psi_{nm}, \psi)$.

Следовательно, неопределенность наблюдаемых A и B одинакова и равна $N(\psi) = -\sum_{nm} \left|c_{nm}\right|^2 \ln\left|c_{nm}\right|^2$.

Утверждение 17.31. *Если состояние объекта в q-представлении задано волновой функцией ψ(q), где q – обобщенная координата квантового объекта, то состояние объекта в p-представлении задается волновой функцией φ(p), причем состояние в дополнительном к q-представлению – p-представлении — связано с состоянием в q-представлении преобразованием Фурье:*

$$\varphi(p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \psi(q)\, e^{-i\,2\pi\, p\, q} dq .$$

В свою очередь, состояние в исходном q-представлении связано с состоянием в дополнительном p-представлении обратным преобразованием Фурье:

$$\psi(q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \psi(q)\, e^{i\,2\pi\, p\, q} dp .$$

Суммарная неопределенность обобщенной и дополнительной координат q' и p' при масштабном преобразовании (умножении аргумента q на число k > 0) равна исходной суммарной неопределенности обобщенной и дополнительной координат q и p

$$N_{q'} + N_{p'} = N_q + N_p .$$

Плотности вероятности обобщенной и дополнительной координат q и p равны $|\psi(q)|^2$ и $|\varphi(p)|^2$ с нормировками $\int_{-\infty}^{\infty}|\psi(q)|^2 dq = 1$, $\int_{-\infty}^{\infty}|\varphi(p)|^2 dp = 1$.

Неопределенность обобщенной координаты q

$$N_q = -\int_{-\infty}^{\infty}|\psi(q)|^2 \log_2|\psi(q)|^2 dq ,$$

и дополнительной координаты p

$$N_p = -\int_{-\infty}^{\infty}|\varphi(p)|^2 \log_2|\varphi(p)|^2 dp ,$$

а суммарная неопределенность q и p

$$N_{qp} = N_q + N_p = -\int_{-\infty}^{\infty}|\psi(q)|^2 \log_2|\psi(q)|^2 dq - \int_{-\infty}^{\infty}|\varphi(p)|^2 \log_2|\varphi(p)|^2 dp .$$

Масштабное преобразование функции (умножение аргумента на число k > 0) приводит к обратному изменению аргумента ее Фурье-образа и обратно пропорциональному изменению его модуля (теорема подобия). Если $\psi(q) \Leftrightarrow \varphi(p)$, то $\psi(kq) \Leftrightarrow \frac{1}{k}\varphi\left(\frac{p}{k}\right)$.

Для получения плотности вероятности обобщенной координаты kq необходимо нормировать функцию $\psi(kq)$ (умножив ее на число α) в соответствии с условием $\int_{-\infty}^{\infty}|\alpha\,\psi(kq)|^2 dq = \frac{\alpha^2}{k}\int_{-\infty}^{\infty}|\psi(kq)|^2 k dq = 1$, или $\frac{\alpha^2}{k} = 1$, т.е. $\alpha = \sqrt{k}$ и плотность вероятности обобщенной координаты q' равна $k|\psi(kq)|^2$. Аналогичным образом для получения плотности вероятности дополнительной координаты обобщенной координаты q/k необходимо нормировать функцию $\psi(kq) \Leftrightarrow \frac{1}{k}\varphi\left(\frac{p}{k}\right)$ (умножив ее

на число β) в соответствии с условием $\int\limits_{-\infty}^{\infty}\left|\beta\frac{1}{\mathrm{k}}\varphi\left(\frac{p}{k}\right)\right|^2 dp=\frac{\beta^2}{k}\int\limits_{-\infty}^{\infty}\left|\varphi\left(\frac{p}{k}\right)\right|^2\frac{p}{k}dp=1$, или $\frac{\beta^2}{k}=1$, т.е. $\beta=\sqrt{k}$ и плотность вероятности дополнительной координаты p равна $\frac{1}{k}\left|\varphi\left(\frac{p}{k}\right)\right|^2$.

Неопределенность обобщенной координаты q при масштабном преобразовании (умножении аргумента q на число $k>0$) равна

$$N_{q'}=-\int\limits_{-\infty}^{\infty}k|\psi(kq)|^2\log_2 k|\psi(kq)|^2 dq=-\int\limits_{-\infty}^{\infty}|\psi(kq)|^2(\log_2 k+\log_2|\psi(kq)|^2)dkq=$$

$$=-(\log_2 k)\int\limits_{-\infty}^{\infty}|\psi(kq)|^2 dkq-\int\limits_{-\infty}^{\infty}|\psi(kq)|^2\log_2|\psi(kq)|^2 dkq=N_q-\log_2 k\ .$$

Неопределенность дополнительной координаты p -

$$N_p=-\int\limits_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{k}\left|\varphi(\frac{p}{k})\right|^2\log_2\frac{1}{k}\left|\varphi(\frac{p}{k})\right|^2 dp=-\int\limits_{-\infty}^{\infty}\left|\varphi(\frac{p}{k})\right|^2(\log_2\frac{1}{k}+\log_2\left|\varphi(\frac{p}{k})\right|^2)\frac{dp}{k}=$$

$$=-\int\limits_{-\infty}^{\infty}\left|\varphi(\frac{p}{k})\right|^2\log_2\left|\varphi(\frac{p}{k})\right|^2)\frac{dp}{k}-\log_2\frac{1}{k}\int\limits_{-\infty}^{\infty}\left|\varphi(\frac{p}{k})\right|^2\frac{dp}{k}=N_{p'}+\log_2 k$$

Доказательство утверждения 17.28 следует из суммирования неопределенностей обобщенной координаты q' и дополнительной координаты p' при умножении аргумента q на число $k>0$

$$N_{q'p'}=N_{q'}+N_{p'}=N_q-\log k+N_p+\log k=N_q+N_p=N_{qp}\ .$$

При уменьшении неопределенности квантового объекта в основном (дополнительном) представлении неопределенность того же объекта в дополнительном (основном) представлении увеличивается так, что суммарная неопределенность сохраняется.

Оценим в общем случае суммарную неопределенность наблюдаемых, задаваемых некоммутирующими операторами.

Утверждение 17.32. *Если операторы $\hat{A}$ и $\hat{B}$ не коммутируют друг с другом: $\hat{A}\,\hat{B}-\hat{B}\,\hat{A}=[\hat{A},\hat{B}]=C\neq 0$, то суммарная неопределенность наблюдаемых A' и B', определяемых операторами $\hat{A}'=k\hat{A}$, $\hat{B}'=\frac{1}{k}\hat{B}$ ($k>0$), равна исходной суммарной неопределенности наблюдаемых A и B, определяемых операторами $\hat{A}$ и $\hat{B}$*

$$N_{A'} + N_{B'} = N_A + N_B .$$

Несовместные наблюдаемые A и B определяются не коммутирующими операторами $\hat{A}$ и $\hat{B}$ $\hat{A}\,\hat{B} \neq \hat{B}\,\hat{A}$.

Если наблюдаемые A и B имеют непрерывный спектр $\{\lambda_A\}$ и $\{\lambda_B\}$, то для вектора состояния ψ собственные вектора ψ_{λ_A} и собственные значения λ_A наблюдаемой A определяются из уравнения $\hat{A}\psi = \lambda_A \psi_{\lambda_A}$.

Т.к. разложение состояния ψ по собственным векторам имеет вид: $\psi = \int c_{\lambda_A} \psi_{\lambda A} d\lambda_A$, где $c_{\lambda A} = \left(\psi_{\lambda A}, \psi\right)$, то плотность вероятности $w\left(\lambda_A\right) = \left|c_{\lambda_A}\right|^2$, причем $\int w\left(\lambda_A\right) d\lambda_A = \left(\psi, \psi\right) = 1$, а условие ортонормированности заменяется условием нормировки на δ-функцию: $\left(\psi_{\lambda' A}, \psi_{\lambda A}\right) = \delta\left(\lambda'_A - \lambda_A\right)$.

Аналогичным образом, для вектора состояния ψ собственные вектора $\psi_{\lambda B}$ и собственные значения λ_B наблюдаемой B определяются из уравнения:

$$\hat{B}\psi = \lambda_B \psi_{\lambda B} .$$

Состояние ψ раскладывается по собственным векторам аналогичным образом: $\psi = \int c_{\lambda_B} \psi_{\lambda B} d\lambda_B$, где $c_{\lambda B} = \left(\psi_{\lambda B}, \psi\right)$.

При этом плотность вероятности $w\left(\lambda_B\right) = \left|c_{\lambda_B}\right|^2$, и

$$\int w\left(\lambda_B\right) d\lambda_B = \left(\psi, \psi\right) = 1 .$$

Условие ортонормированности заменяется условием нормировки на δ-функцию: $\left(\psi_{\lambda' B}, \psi_{\lambda B}\right) = \delta\left(\lambda'_B - \lambda_B\right)$.

Неопределенности наблюдаемых A и B равны

$$N_A = -\int w\left(\lambda_A\right) \ln w\left(\lambda_A\right) d\lambda_A , \quad N_B = -\int w\left(\lambda_B\right) \ln w\left(\lambda_B\right) d\lambda_B .$$

Для получения плотности вероятности наблюдаемой a в состоянии $\psi(k\lambda_A)$ необходимо нормировать функцию $\psi(k\lambda_A)$ (умножив ее на число α) в соответствии с условием

$\int \left|\alpha\,\psi(k\lambda_A)\right|^2 dq = \frac{\alpha^2}{k}\int \left|\psi(k\lambda_A)\right|^2 k d\lambda_A = 1$ или $\frac{\alpha^2}{k} = 1$, т.е. $\alpha = \sqrt{k}$ и плотность вероятности наблюдаемой A в состоянии ψ равна $k\left|\psi(k\lambda_A)\right|^2$.

Аналогично плотность вероятности наблюдаемой B в состоянии ψ равна $\frac{1}{k}\left|\psi(\frac{1}{k}\lambda_B)\right|^2$.

Неопределенность наблюдаемой A при масштабном преобразовании (умножении аргумента λ_A на $k > 0$) равна

$$N_{A'} = -\int k\left|\psi(k\lambda_A)\right|^2 \log_2 k\left|\psi(k\lambda_A)\right|^2 d\lambda_A = -\int \left|\psi(k\lambda_A)\right|^2 (\log_2 k + \log_2\left|\psi(k\lambda_A)\right|^2) dk\lambda_A =$$

$$= -(\log_2 k)\int \left|\psi(k\lambda_A)\right|^2 d\lambda_A - \int \left|\psi(k\lambda_A)\right|^2 \log_2\left|\psi(k\lambda_A)\right|^2 dk\lambda_A = N_A - \log_2 k\,.$$

Неопределенность наблюдаемой B при умножении аргумента λ_B на $1/k$ равна

$$N_{B'} = -\int \frac{1}{k}\left|\varphi\left(\frac{\lambda_B}{k}\right)\right|^2 \log_2 \frac{1}{k}\left|\varphi(\lambda_B)\right|^2 d\lambda_B = -\int \left|\varphi\left(\frac{\lambda_B}{k}\right)\right|^2 (\log_2 \frac{1}{k} + \left|\varphi(\lambda_B)\right|^2)\frac{d\lambda_B}{k} =$$

$$= -\log_2 \frac{1}{k}\int \left|\varphi\left(\frac{\lambda_B}{k}\right)\right|^2 \frac{d\lambda_B}{k} - \int \left|\varphi\left(\frac{\lambda_B}{k}\right)\right|^2 \left|\varphi(\lambda_B)\right|^2)\frac{d\lambda_B}{k} = N_B + \log_2 k.$$

Суммируя выражения для неопределенности наблюдаемой A' и наблюдаемой B', определяемых операторами $\hat{A}' = k\hat{A}$, $\hat{B} = \frac{1}{k}\hat{B}$, имеем:

$$N_{A'B'} = N_{A'} + N_{B'} = N_A - \log k + N_B + \log k = N_A + N_B = N_{AB}\,.$$

Утверждение 17.33. *Если операторы $\hat{A}$ и $\hat{B}$ антикоммутируют друг с другом: $\hat{A}\,\hat{B} + \hat{B}\,\hat{A} = 0$, то суммарная неопределенность наблюдаемых A' и B', определяемых операторами $\hat{A}' = k\hat{A}$, $\hat{B} = \frac{1}{k}\hat{B}$ ($k > 0$), равна исходной суммарной неопределенности наблюдаемых A и B, определяемых антикоммутирующими операторами $\hat{A}$ и $\hat{B}$*

$$N_{A'} + N_{B'} = N_A + N_B\,.$$

оказательство аналогично предыдущему.

Утверждение 17.34. *Закон сохранения неопределенности (ин-*

формации) не запрещает переход чистого состояния квантового объекта в смешанное состояние и обратно. То есть, в общем случае закон сохранения неопределенности (информации) не запрещает объективную редукцию (ОР).

Квантовая система в чистом состоянии - это система, имеющая n выделенных (базисных) состояний *(1, 2, ... , n)* и состояния ψ, представимые в виде линейных комбинаций выделенных состояний $\psi = \sum_{i=1}^{n} c_i \left| i \right\rangle$, где $c_1, c_2, ..., c_n$ – произвольные комплексные коэффициенты, сумма квадратов модулей которых равна $\sum_{i=1}^{n} \left| c_i \right|^2 = 1$.

Неопределенность чистого состояния системы равна

$$N(\psi) = -\sum_{i=1}^{n} \left| c_i \right|^2 \log_2 \left| c_i \right|^2 .$$

Квантовая система в смешанном состоянии представляется редуцированной матрицей плотности $\rho = \sum_{i=1}^{n} p_i \left| i \right\rangle \left\langle i \right|$, или

$$\rho = \begin{pmatrix} p_1 & 0 & ... & 0 \\ 0 & p_2 & ... & 0 \\ ... & ... & ... & ... \\ 0 & 0 & ... & p_n \end{pmatrix},$$

где $p_1, p_2, ..., p_n$ – вероятности нахождения системы в чистых состояниях $\left| 1 \right\rangle, \left| 2 \right\rangle, ..., \left| n \right\rangle$. Неопределенность смешанного состояния системы равна

$$N = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log_2 p_i .$$

Если смешанное состояние системы $\rho = \sum_{i=1}^{n} p_i \left| i \right\rangle \left\langle i \right|$ есть результат измерения чистого состояния системы $\psi = \sum_{i=1}^{n} c_i \left| i \right\rangle$ и $p_i = \left| c_i \right|^2$, то редуцированная матрица плотности имеет вид:

$$\rho = \sum_{i=1}^{n} \left| c_i \right|^2 \left| i \right\rangle \left\langle i \right| ,$$

или $\rho = \begin{pmatrix} |c_1|^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & |c_2|^2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & |c_n|^2 \end{pmatrix}$, где $|c_1|^2, |c_2|^2, \dots, |c_n|^2$ – вероятности нахождения системы в чистых состояниях $|1\rangle, |2\rangle, \dots, |n\rangle$. При этом неопределенность смешанного состояния системы равна $N = -\sum_{i=1}^{n} |c_i|^2 \log_2 |c_i|^2$. Т.к. чистое и смешанное состояние системы при $p_i = |c_i|^2$ содержат (несут) одинаковое количество неопределенности (информации), то закон сохранения неопределенности (информации) не запрещает переход чистого состояния квантового объекта в смешанное состояние и обратно, то есть не запрещает объективную редукцию (ОР).

Симметрия Вселенной определяет характер ее расширения. Основные космологические постулаты являются следствием закона простоты сложных систем.

Утверждение 17.35. *Законы простоты сложных систем и сохранения неопределенности определяют самую простую систему космологических моделей, адекватно описывающую Вселенную, когда*

1. *Вселенная является объектом однородным.*
2. *Вселенная является объектом изотропным.*
3. *Вселенная является объектом плоским.*
4. *Вселенная тождественна Метагалактике.*

Начальные условия *1,2* происхождения Метагалактики (Метагалактика – совокупность объектов, расположенных сейчас в пространственном объеме $(10^{28})^3$см^3) были сформулированы из соображений простоты и называются основными космологическими постулатами.

Метагалактика на протяжении всех этапов своей эволюции являлась (и является) объектом однородным и изотропным, а основные космологические постулаты определяют ее эволюцию.

Закон простоты сложных систем требует введения третьего космологического постулата: Метагалактика является плоской ($k = 0$).

Закон простоты сложных систем требует также введения четвертого космологического постулата, совместно с первыми тремя по-

стулатами делающего Вселенную наиболее простой:

Вселенная тождественна Метагалактике.

Данные постулаты приводят к уравнениям Эйнштейна-Фридмана-Леметра

$$\ddot{a}+\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)=-\frac{4\pi\ G}{3}a(3p+\varepsilon),$$

$$\left(\dot{a}\right)^2=\frac{8\pi\ G}{3}\varepsilon a^2.$$

Для излучения $\varepsilon \propto a^{-4}$, для вещества $\varepsilon \propto a^{-3}$, соответственно зависимости масштабного фактора от времени имеют вид: для эры излучения $a=\left(\frac{8\pi G}{3}\right)^{\frac{1}{4}} t^{\frac{1}{2}}$, для эры вещества $a=\left(6\pi G\right)^{\frac{1}{3}} t^{\frac{2}{3}}$.

Утверждение 17.36. *Увеличение масштабного фактора в период инфляции составляет примерно* $\approx 10^{45}$ *раз.*

В типичных моделях стадия инфляционного расширения длится $\approx 10^{-(35-32)}$ с и за это время рассматриваемая область успевает увеличить свой размер в $10^{100\,000}-10^{10\,000\,000\,000}$ раз. Согласно закону конечности информационных характеристик сложных систем числа, превышающие 10^{100}, не имеют физического смысла, т.е. Вселенная может увеличить свои размеры не более, чем в 10^{100} раз. Оценим более точно увеличение масштабного фактора в период инфляции.

Увеличение размера Вселенной от планковского ($\approx 10^{-33}$ см.) до размера Метагалактики $\equiv$ Вселенной в настоящее время ($\approx 10^{28}$ см.) составляет $\approx 10^{61}$ раз. Периоды с преобладанием излучения (эра излучения) и с преобладанием вещества (эра вещества) длятся $\approx 10^{11}$ с и $\approx 10^{17}$ с. Рост масштабного фактора в эру излучения составляет $\approx (10^{11})^{\frac{1}{2}}=10^{5,5}$, а в эру вещества – $\approx (10^{17})^{\frac{2}{3}}=10^{\frac{34}{3}}\approx 10^{11}$. Т.о. общий рост масштабного фактора в эры излучения и вещества составил $\approx 10^{16,5}$.

Следовательно, увеличение масштабного фактора в период инфляции составляет примерно $\approx 10^{45}$ раз, но не $10^{100\,000} - 10^{10\,000\,000\,000}$, а адекватная инфляционная модель должна давать такое увеличение масштабного фактора в $\approx 10^{45}$ раз при продолжительности инфляции около 100 Хаббловских времен ($Ht_{\inf l} \approx 100$).

Увеличению масштабного фактора в $\approx 10^{45}$ соответствует увеличение объема Вселенной в $\approx 10^{45\times 3} = 10^{135}$ раз, что в соответствии с законом сохранения неопределенности достаточно для формирования примерно 10^{80}-10^{90} частиц.

Утверждение 17.37. *В начальные моменты времени во Вселенной существовали неоднородности обычной материи.*

Предположим, что в начальный момент времени t_0 во Вселенной не было неоднородностей обычной материи: $P(x, t_0) \equiv R(x)$. Так как информационная дивергенция $D(P(x)/R(x))$ распределения $P(x)$ относительно равномерного распределения $R(x)$ и информационная дивергенция $D(P(y)/R(y))$ распределения $P(y)$ относительно равномерного распределения $R(y)$ при $y = y(x)$ равны (не равны) нулю одновременно $D(P(x)/R(x)) = 0 \Leftrightarrow D(P(y)/R(y)) = 0$ или $D(P(x)/R(x)) \neq 0 \Leftrightarrow D(P(y)/R(y)) \neq 0$, то информационная дивергенция в произвольный момент времени $t \geq t_0$ также равна нулю. Это означает, что в произвольный момент времени $t \geq t_0$ во Вселенной нет неоднородностей обычной материи, а т.к. в настоящее время в нашей Вселенной, очевидно, есть неоднородности обычной материи (скопления галактик, галактики, звезды, планеты, молекулы, атомы, частицы), то в начальные моменты времени во Вселенной неоднородности обычной материи были.

Примечание 17.8. Данное утверждение справедливо при любой физической природе, при любом механизме образования неоднородностей и любой модели формирования неоднородностей.

Утверждение 17.38. *В начальные моменты времени неоднородности темной материи во Вселенной существовали.*

Доказательство аналогично предыдущему.

Утверждение 17.39. *В начальный и последующие моменты времени неоднородностей в темной энергии не было. Темная энергия*

(вакуум) была распределена равномерно.

Т.к. информационная дивергенция $D(P(x)/R(x))$ темной энергии в настоящий момент времени равна нулю, то в начальный и последующие моменты времени информационная дивергенция $D(P(y)/R(y))$ темной энергии тоже равна нулю.

Утверждение 17.40. *Преобразования расширения (сжатия) увеличивают (уменьшают) неопределенность (информацию).*

Доказательство. См. раздел 10.

Утверждение 17.41. *Кривизна пространства формирует неопределенность (информацию).*

Пусть x'^0, x'^1, x'^2, x'^3 галилеевы координаты (три координаты представляют собой декартовы координаты трёхмерного евклидова пространства, а четвёртая — координату *ct*, где *c* — скорость света, *t* — время события). x^0, x^1, x^2, x^3 - произвольные (криволинейные) координаты. $x^i = x^i(x'^0, x'^1, x'^2, x'^3)$ - преобразование от галилеевых координат к криволинейным координатам. Кривизну пространства можно характеризовать дополнительной неопределенностью (информацией) – шенноновской информационной энтропией [7]:

$$\Delta N = -\int ... \int \left|\psi(x'^0, x'^1, x'^2, x'^3)\right|^2 \log_2 J\left(\frac{x^0, x^1, x^2, x^3}{x'^0, x'^1, x'^2, x'^3}\right) dx^0 dx^1 dx^2 dx^3 \text{ бит,}$$

где $\psi(x'^0, x'^1, x'^2, x'^3)$ - волновая функция, описывающая физическую систему в галилеевой системе координат, а $J\left(\frac{x^0, x^1, x^2, x^3}{x'^0, x'^1, x'^2, x'^3}\right)$ - якобиан преобразования от галилеевых координат к криволинейным координатам.

$$J\left(\frac{x^0, x^1, x^2, x^3}{x'^0, x'^1, x'^2, x'^3}\right) = \det\left(\frac{\partial x^i(x'^0, x'^1, x'^2, x'^3)}{\partial x'^j}\right) .$$

Якобиан преобразования от галилеевых к криволинейным координатам равен $J\left(\frac{x^0, x^1, x^2, x^3}{x'^0, x'^1, x'^2, x'^3}\right) = 1/\sqrt{-g}$, где $g = \det(g_{ij})$ – определитель метрического тензора [143, сс. 298-299], а g_{ij} - компоненты метрического тензора, определяющего метрику пространства-времени

$$ds^2 = \sum_{i=0}^{3} \sum_{j=0}^{3} g_{ij} (dx^i)^2 .$$

Кривизна пространства-времени формирует дополнительную неопределенность (информацию), определяемую через метрический тензор искривленного пространства

$$\Delta N = -\int ... \int \left|\psi(x^0, x^1, x^2, x^3)\right|^2 \log_2 J\left(\frac{x^0, x^1, x^2, x^3}{x'^0, x'^1, x'^2, x'^3}\right) dx^0 dx^1 dx^2 dx^3 =$$

$$= -\int ... \int \left|\psi(x^0, x^1, x^2, x^3)\right|^2 \log_2 \sqrt{-g} dx^0 dx^1 dx^2 dx^3 \text{ бит.}$$

Тем самым, искривление пространства порождает информацию. Наиболее наглядно это видно в случае равномерного распределения $\left|\psi(x^0, x^1, x^2, x^3)\right|^2 = const$: $\Delta N = \int ... \int \log_2 \sqrt{-g} dx^0 dx^1 dx^2 dx^3$ бит,

где $\log_2 \sqrt{-g(x)}$ характеризует изменение (прирост) информации из-за кривизны системы координат или пространства. В криволинейном пространстве система координат, в которой прирост объема информации минимален – ортогональная система координат и именно в ней должен оцениваться объем информации, порожденный собственно кривизной пространства.

При определителе g, не зависящем от координат

$\Delta N = -\log_2 J = \log_2 \sqrt{-g}$ бит, а при определителе g, вычисляемом в точке с координатами a, b, c, d

$$\left|\psi(x^0, x^1, x^2, x^3)\right|^2 = \delta(x^0 - a, x^1 - b, x^2 - c, x^3 - d) .$$

$$\Delta N = -\int ... \int \log_2 \sqrt{-g} \delta(x^0 - a, x^1 - b, x^2 - c, x^3 - d) dx^0 dx^1 dx^2 dx^3 =$$

$$= \log_2 \sqrt{-g\left(a, b, c, d\right)} \text{ бит.}$$

Утверждение 17.42. *Объем информации, формируемый в движущейся с ускорением системе координат, равен* $\frac{ax}{c^2}$ *бит*

Определим объем информации, формируемый в этой системе координат. В инерциальной системе отсчета при использовании галилеевых пространственных координат $x^{1,2,3} = x, y, z$ и координаты

времени $x^0 = ct$ [143, с. 298] интервал ds^2 определяется формулой

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

и компоненты метрического тензора равны

$$g_{00} = 1, g_{11} = g_{22} = g_{33} = -1, g_{ik} = 0, \ \mathrm{i} \neq \mathrm{j}.$$

Определитель метрического тензора $g = \det(g_{ij}) = -1$.

Компонента g_{00} метрического тензора в системе отсчета, движущейся в гравитационном поле с нерелятивистским потенциалом φ (с ускорением a), равна $g_{00} = 1 + \frac{2\varphi}{c^2}$ [143, с.318 (87,12)].

При $x' = x - \frac{1}{2}at^2, y' = y, z' - z, t' = t - \frac{a}{c^2}tx$ [144, с.154 (35.42-35.46)]: $ds^2 = (1 - \frac{2ax}{c^2})c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$.

Следовательно, $g_{00} = 1 - \frac{2ax}{c^2}$, $g_{11} = g_{22} = g_{33} = -1, g_{ik} = 0, \ \mathrm{i} \neq \mathrm{j}$.

$$g = g_{00} g_{11} g_{22} g_{33} = -(1 - \frac{2ax}{c^2})$$

и $\Delta N = \log_2 J = -\log_2 \sqrt{-g} = -\log_2 \sqrt{(1 - \frac{2ax}{c^2})} \approx \frac{ax}{c^2}$ бит.

Ускоренная система отсчета порождает объем информации пропорциональный ускорению.

Примечание 17.9. Обратим внимание на аналогию полученного результата с эффектом УНРУ [145].

Эффект Унру (излучение Унру) — предсказываемый квантовой теорией поля эффект наблюдения теплового излучения в ускоряющейся системе отсчёта при отсутствии этого излучения в инерциальной системе отсчёта. Ускоряющийся наблюдатель видит фон излучения, когда неподвижный наблюдатель не видит ничего. Появление теплового излучения в ускоряющейся системе отсчёта есть появление дополнительной информации в этой системе отсчёта.

Утверждение 17.43. *Объем информации, формируемый гравитационным полем с нерелятивистским потенциалом, порождаемым массой M, равен*

$$2G\frac{M}{Rc^2} \text{ бит.}$$

Оценим объем информации, формируемый в галилеевой системе координат, порождаемой массой M. Пусть пространственные координаты $x^{1,2,3} = x, y, z$, а координата времени $x^0 = ct$. Корень квадратный из определителя g метрического тензора со знаком минус в ортогональной системе отсчета, порожденной гравитационном полем с нерелятивистским потенциалом U формируемым массой M, равен $\sqrt{-g} = 1 + \frac{2U}{c^2}$ [143, с.249 (55,37)], а

$$\Delta N = -\int ...\int \left|\psi(x^0, x^1, x^2, x^3)\right|^2 \ln\sqrt{-g}\,dx^0 dx^1 dx^2 dx^3 =$$

$$= -\int ...\int \left|\psi(x^0, x^1, x^2, x^3)\right|^2 \log_2\left(1 + \frac{2U}{c^2}\right) dx^0 dx^1 dx^2 dx^3 =$$

$$= -\log_2\left(1 + \frac{2U}{c^2}\right)\int ...\int \left|\psi(x^0, x^1, x^2, x^3)\right|^2 dx^0 dx^1 dx^2 dx^3 =$$

$$= -\log_2\left(1 + \frac{2U}{c^2}\right) \approx -\frac{2U}{c^2} \text{ бит.}$$

Т.о., объем информации, формируемый в криволинейной системе координат, порождаемой массой M**,** пропорционален нерелятивистскому потенциалу U $I = \Delta N = -2\frac{U}{c^2}$ бит.

Так как нерелятивистский потенциал, формируемый массой M на расстоянии R, равен $U = -G\frac{\mathrm{M}}{\mathrm{R}}$, то объем информацией формируемой кривизной пространства, порождаемой массой M, равен $I = \Delta N = 2G\frac{M}{Rc^2}$ бит.

Утверждение 17.44. *Объем информации, формируемый во вращающейся системе отсчета, равен* $\frac{\Omega^2 r^2}{2c^2} - \log_2 r$, *где* Ω *- скорость*

вращения.

В неподвижной системе отсчета при использовании цилиндрических пространственных координат ct, r', φ', z' интервал ds^2 имеет вид [143, с. 327 (89,1)]:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dr'^2 - r'^2 d\varphi'^2 - dz'^2 .$$

Во вращающейся системе отсчета при координате времени ct и цилиндрических пространственных координат r, φ, z, при совпадении оси вращения с осями z, z' $r = r', \varphi = \varphi' + \Omega t, z = z'$, интервал ds^2 определяется формулой [143, с. 327 (89,2)]:

$$ds^2 = (c^2 - \Omega^2 r^2)dt^2 - 2\Omega r^2 dt d\varphi - dr^2 - r^2 d\varphi^2 - dz^2 .$$

При этом компоненты метрического тензора равны

$$g_{00} = 1 - \frac{\Omega^2 r^2}{c^2}, g_{01} = -2\Omega r^2, g_{11} = -1,$$

$$g_{22} = r^2, g_{33} = -1, g_{ik} = 0, \text{ ij} \neq 01, \text{i} \neq \text{j},$$

а определитель метрического тензора

$$g = \det(g_{ij}) = \left(1 - \frac{\Omega^2 r^2}{c^2}\right) r^2 .$$

Корень квадратный из определителя g метрического тензора со знаком минус во вращающейся системе отсчета равен

$$\sqrt{-g} = \sqrt{\left(1 - \frac{\Omega^2 r^2}{c^2}\right) r^2} .$$

$$\Delta N = -\int ... \int \left|\psi(x^0, x^1, x^2, x^3)\right|^2 \ln \sqrt{-g} dx^0 dx^1 dx^2 dx^3 =$$

$$= -\int ... \int \left|\psi(x^0, x^1, x^2, x^3)\right|^2 \log_2 \sqrt{\left(1 - \frac{\Omega^2 r^2}{c^2}\right) r^2} dx^0 dx^1 dx^2 dx^3 =$$

$$= -\log_2 \sqrt{\left(1 - \frac{\Omega^2 r^2}{c^2}\right) r^2} \int ... \int \left|\psi(x^0, x^1, x^2, x^3)\right|^2 dx^0 dx^1 dx^2 dx^3 =$$

$$= -\log_2 \sqrt{\left(1 - \frac{\Omega^2 r^2}{c^2}\right) r^2} \approx \frac{\Omega^2 r^2}{2c^2} - \log_2 r \text{ бит.}$$

Т.о., объем информации, формируемый во вращающейся системе

отсчета, пропорционален квадрату угловой скорости вращения и квадрату радиуса вращения $I = \Delta N = \dfrac{\Omega^2 r^2}{2c^2} - \log_2 r$ бит.

Утверждение 17.45. *Фазовые переходы формируют неопределенность (информацию).*

При фазовых переходах изменяется тип симметрии, что приводит к увеличению или уменьшению неопределенности во Вселенной, которое должно компенсироваться изменением информации (неоднородностей). При увеличении степени симметрии неопределенность уменьшается, а при уменьшении – возрастает. Поскольку время, в течение которого происходят фазовые переходы относительно невелико, то возникающими или исчезающими неоднородностями являются частицы. При увеличении степени симметрии частицы должны исчезать, а при уменьшении степени симметрии – возникать. Рассмотрим подробнее фазовый переход, происходящий при температуре $T \sim 10^2$ ГэВ [122]: $SU(3) \times SU(2) \times SU(1) \to SU(3) \times SU(1)$, нарушающий симметрию между слабым и электромагнитным взаимодействиями.

Степень симметрии уменьшается на группу $SU(2)$, действующую в гильбертовых пространствах H_2, вектора которых описывают двумерные квантовые системы – кубиты. Если эта система симметрична относительно группы $SU(2)$, то все возможные состояния кубита ψ', получаемые из произвольного состояния $\psi = a|0\rangle + b|1\rangle$,

$\psi' = a'|0\rangle + b'|1\rangle = \begin{pmatrix} a' \\ b' \end{pmatrix} = SU(2) \cdot \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = SU(2) \cdot \psi$, неразличимы и не несут информации. При нарушении симметрии между слабым и электромагнитным взаимодействиями все состояния кубита ψ', получаемые из $\psi = a|0\rangle + b|1\rangle$, становятся различимыми и несут информацию в объеме $I = |a|^2 \log_2 |a|^2 + |b|^2 \log_2 |b|^2$. Максимальный объем информации каждой частицы с двумя базисными состояниями равен одному биту. Поэтому при наличии во Вселенной N частиц при нарушении симметрии между слабым и электромагнитным взаимодействиями во Вселенной формируется N бит информации. (При $N = 10^{90}$ формируется 10^{90} бит информации).

Предположим, что в общем случае степень симметрии уменьши-

лась на группу $SU(n)$, действующей в гильбертовых пространствах H_n, вектора которых описывают n-мерные квантовые системы. Если n-мерная квантовая система симметрична относительно группы $SU(n)$, то все возможные состояния ψ', получаемые из произвольного состояния

$$\psi = a\left|0\right\rangle + b\left|1\right\rangle + ... + d\left|n-1\right\rangle,\ \psi' = a'\left|0\right\rangle + b'\left|1\right\rangle + ... + c'\left|1\right\rangle = SU(n)\cdot\psi\ ,$$

неразличимы и не несут информации. При нарушении симметрии $SU(n)$ все состояния ψ', получаемые $\psi = a\left|0\right\rangle + b\left|1\right\rangle + ... + d\left|n-1\right\rangle$, становятся различимыми и несут информацию в объеме $I = \left|a\right|^2 \log_2\left|a\right|^2 + \left|b\right|^2 \log_2\left|b\right|^2 + ... + c^2 \log_2\left|c\right|^2$. Максимальный объем информации, которым при потере симметрии $SU(n)$ может наделяться каждая частица с n базисными состояниями, равен $\log_2 n$ бит, поэтому при наличии во Вселенной N частиц при нарушении симметрии $SU(n)$ во Вселенной формируется $N \log_2 n$ бит информации.

Утверждение 17.46. *При инфляционном расширении при сохранении числа частиц объем информации во Вселенной растет пропорционально времени расширения* $I(t) \propto t$.

Объем информации на одну частицу, формируемой расширением, равен $3\log_2 \dfrac{R}{R_0}$ бит. При инфляционном расширении $R(t) \propto e^{\alpha t}$ объем информации равен $I = 3\log_2 e^{\alpha (t/t_0)} \propto t$, а при сохранении числа частиц он растет пропорционально времени расширения Вселенной $I(t) \propto t$.

Утверждение 17.47. *При степенном расширении и при сохранении числа частиц объем информации во Вселенной растет пропорционально логарифму времени расширения* $I(t) \propto \log_2 t$.

Объем информации на одну частицу, формируемой расширением, равен $3\log_2 \dfrac{R}{R_0}$ бит, а при степенном расширении $R(t) \propto t^{\beta}$ $I = 3\log_2 (\dfrac{t}{t_0})^{\beta} \propto \log_2 t$. При сохранении числа частиц объем инфор-

мации во Вселенной растет пропорционально логарифму времени расширения

$$I(t) \propto \log_2 t .$$

Утверждение 17.48. *Существуют оптимальные черные дыры, при которых минимален объем информации в области Вселенной массы* $M_{Обл\ Вс}$, *состоящей из обычного вещества и одной черной дыры.*

Доказательство. См. раздел 14.

Примечание 17.9. Оптимальные черные дыры могут существовать при наличии во Вселенной материи по крайней мере двух типов: с нелинейной (например, $I = \gamma \cdot M^{\delta}$ при $\gamma > 0, \delta > 1$) и линейной зависимостью объема информации от массы.

Утверждение 17.49. *Объем информации в оптимальной черной дыре пропорционален квадрату коэффициента, связывающего объем информации с массой в обычном веществе, и обратно пропорционален коэффициенту, связывающего объем информации с массой в черной дыре:*

$$I_{Чд\ опт} = \frac{\beta^2}{4\alpha} .$$

Примечание 17.10. Рассмотрим задачу определения максимальной массы системы «черная дыра – обычное вещество» при заданном объеме информации в системе.

Объемы информации и массы, полученные при решении прямой задачи (минимизация объема информации в системе «черная дыра – обычное вещество» при заданной массе системы – утверждения 1, 2) и двойственной задачи (максимизация массы системы «черная дыра – обычное вещество» при заданном объеме информации в системе), совпадают, что означает однозначность понятия оптимальной черной дыры.

Утверждение 17.50. *Произвольное состояние квантовой системы конечной размерности может быть представлено в виде прямой суммы тензорных произведений кубитов.*

Пусть вектор-состояние квантовой системы $\psi = \sum_{i=1}^{N} c_i \psi_i$ является элементом гильбертова пространства H_n ($\psi \in H_n$), размерность ко-

торого равна n. С учетом нормировочного соотношения $\sum_{i=1}^{N}\left|c_i\right|^2=1$ размерность вектора ψ равна $2n$-1.

Рассмотрим двумерное гильбертово пространство H_2^1, элементами которого являются кубиты $q_1=c_1^1\left|0_1\right\rangle+c_2^1\left|1_1\right\rangle$ и пусть $e_{\alpha 1}=(\left|0\right\rangle,$ $\left|1\right\rangle)$ - базисные вектора в пространстве H_2^1. Для нумерации двумерных гильбертовых пространств и кубитов будем использовать верхний индекс H_2^k и верхний индекс k коэффициентов c_i^k.

Рассмотрим $H_4=H_{2^2}=H_2^1\otimes H_2^2$ и пусть $e_{\alpha 2}$ = $(\left|0_1\right\rangle\left|0_2\right\rangle,$ $\left|0_1\right\rangle\left|1_2\right\rangle,\ \left|1_1\right\rangle\left|0_2\right\rangle,\ \left|1_1\right\rangle\left|1_2\right\rangle)$ - базисные вектора в пространстве $H_{2^2}^1$.

Рассмотрим $H_{2^k}=H_2^1\otimes H_2^2\otimes\ldots\otimes H_2^k$ - тензорное произведение k двумерных гильбертовых пространств и соответственно, $e_{\alpha k}$ = $(\left|0_1\right\rangle\left|0_2\right\rangle\ldots\left|0_{k-1}\right\rangle\left|0_k\right\rangle,$ $\left|0_1\right\rangle\left|0_2\right\rangle\ldots\left|0_{k-1}\right\rangle\left|1_k\right\rangle,$ $\left|0_1\right\rangle\left|0_2\right\rangle\ldots\left|1_{k-1}\right\rangle\left|0_k\right\rangle,$ ... , $\left|1_1\right\rangle\left|1_2\right\rangle\ldots\left|1_{k-1}\right\rangle\left|0_k\right\rangle,$ $\left|1_1\right\rangle\left|1_2\right\rangle\ldots\left|1_{k-1}\right\rangle\left|1_k\right\rangle)$ - базисные вектора в пространстве H_{2^k}.

Определим представление произвольного гильбертова пространства H_n квантовой системы в виде прямой суммы тензорных произведений гильбертовых пространств H_{2^k}.

Разложим число n по степеням двойки:

$$n=\sum_j a_{k_j}2^{k_j}=a_{k_{j\max}}2^{k_{j\max}}+a_{k_{j\max-1}}2^{k_{j\max-1}}+\ldots+a_{k_{j\min}}2^{k_{j\min}},$$

где $a_{k_j}=0{,}1$, , $k_{j\max}$ - максимальный, а $k_{j\min}$ - минимальный ненулевые разряды.

Построим гильбертово пространство H_n в виде прямой суммы тензорных произведений гильбертовых пространств H_{2^k}:

$$H_n=H_2^{1(kj\max)}\otimes H_2^{2(kj\max)}\otimes\ldots\otimes H_2^{kj(kj\max)}\oplus$$

$$\oplus H_2^{1(kj\max-1)} \otimes H_2^{2(kj\max-1)} \otimes \ldots \otimes H_2^{kj(\max-1)} \oplus$$
$$\oplus H_2^{1(kj)} \otimes H_2^{2(kj)} \otimes \ldots \otimes H_2^{kj(kj)} \oplus \ldots \oplus$$
$$\oplus H_2^{1(kj\min)} \otimes H_2^{2(kj\min)} \otimes \ldots \otimes H_2^{kj(kj\min)}.$$

Каждой i-той степени числа 2 соответствует произведение i кубитов. Первая строка представляет тензорное произведение двумерных гильбертовых пространств, соответствующих максимальному ненулевому разряду числа n в двоичном представлении, вторая строка представляет тензорное произведение двумерных гильбертовых пространств, соответствующих следующему ненулевому разряду числа n в двоичном представлении, ... Последняя строка представляет тензорное произведение двумерных гильбертовых пространств, соответствующих минимальному ненулевому разряду числа n в двоичном представлении. По определению, размерность построенного гильбертова пространства равна n.

Поскольку гильбертовы пространства одинаковой размерности изоморфны, то исходное гильбертово пространство H_n, содержащее вектор-состояние ψ, изоморфно пространству H. Общее число кубитов, необходимое для построения гильбертова пространства изоморфного исходному, равно сумме степеней числа два:

$$n = k_{j\max} + \ldots + k_{j\min}.$$

Для окончательного определения вектора ψ необходимо определить его коэффициенты разложения $c_{\alpha k}$ в системе координат, состоящей из базисных векторов $e_{\alpha k} = (\,|0_1\rangle|0_2\rangle\ldots|0_{k-1}\rangle|0_k\rangle,\ |0_1\rangle|0_2\rangle\ldots|0_{k-1}\rangle|1_k\rangle,\ |0_1\rangle|0_2\rangle\ldots|1_{k-1}\rangle|0_k\rangle,\ldots,$ $|1_1\rangle|1_2\rangle\ldots|1_{k-1}\rangle|0_k\rangle,\ \ |1_1\rangle|1_2\rangle\ldots|1_{k-1}\rangle|1_k\rangle\,)$ пространств H_{2^k}: $c_{\alpha k} = (\psi, e_{\alpha k})$.

Получаемое выражение для вектора ψ, в общем случае, не может быть представлено в виде произведения независимых кубитов, а представляет сцепленное (запутанное) состояние.

Утверждение 17.51. *Оценки объема информации в атомах, аминокислотах, азотистых основаниях определяют фундаментальные ограничения на информационную емкость устройств хранения данных.*

В среднем в атомах на 1 бит информации используется $\approx 1,69 \cdot 10^{-28}$ кг массы вещества, в аминокислотах и азотистых основаниях на 1 бит информации используется $\approx 10^{-25}$ кг. Эти оценки информационной емкости белков, ДНК определяют верхнюю границу G информационной емкости V искусственных устройств хранения данных, построенных аналогично живой материи – $V \le G \approx 10^{25}$ бит/кг и устройств, построенных аналогично неживой материи – $V \le G \approx 10^{28}$ бит/кг, т.е. она может быть повышена не более, чем в $\approx 10^{12}$ ($\approx 10^{15}$) раз.

Утверждение 17.52. *Копирование (клонирование) квантовых объектов с неизвестными состояниями невозможно.*

Рассмотрим изолированную систему, которая в начальный момент времени содержит кубит с неизвестным состоянием $\psi = c_1 / 0 > + c_2 / 1 >$, где $/c_1/^2$, $/c_2/^2$ – вероятности состояний $/0 >$ и $/1 >$, а $/c_1/^2 + / c_2/^2 = 1$. Неопределенность неизвестного состояния кубита при заданных c_1 и c_2 равна $N = - (/c_1/^2 \log_2 /c_1/^2 + /c_2/^2 \log_2/c_2/^2) > 0$.

Предположим, что в рамках изолированной системы мы осуществляем копирование (клонирование) исходного объекта с неизвестным состоянием $\psi = c_1 / 0 > + c_2 / 1 >$. Тогда в результате получаем два объекта с идентичными неизвестными состояниями $\psi = c_1 / 0 > + c_2 / 1 >$. Неопределенность каждого из объектов равна $N = - (/ c_1/^2 \log_2 / c_1/^2 + / c_2/^2 \log_2 / c_2/^2) > 0$, а суммарная неопределенность исходного и клонированного объектов равна $2N > 0$.

Тем самым, неопределенность изолированной системы изменилась, что в силу закона ее сохранения невозможно. Следовательно, копирование (клонирование) объектов с неизвестными состояниями в рамках изолированной системы физически нереализуемо. Более того, невозможно и частичное клонирование квантового объекта – когда клонируется часть, подсистема квантового объекта при сохранении исходного объекта.

Утверждение 17.53. *Любые вычисления на квантовом компьютере можно выполнять с сохранением неопределенности.*

Поскольку операторы NOT, CNOT, CCNOT, CSWAP сохраняют неопределенность, то построенные на их основе произвольные схемы вычислений неопределенность также сохраняют. Более того, постро-

енные на основе универсальных операторов NOT, CNOT произвольные схемы вычислений также сохраняют неопределенность, что следует из работы Adriano Barenco, Charles H. Bennett и др. «Elementary gates for quantum computation», в которой показано, что произвольное унитарное преобразование всегда может быть конструировано из двубитового гейта $\Lambda_1\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ CNOT и однобитовой операции $\Lambda_0\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ NOT». Т.к. данные гейты сохраняют неопределенность, то любые вычисления можно выполнять с сохранением неопределенности.

Утверждение 17.54. *Сочетание классического сложения вероятностей различимых альтернатив с классическим выбором одного из нескольких равновероятных путей приводит к квантовомеханическому волновому правилу сложения амплитуд.*

Рассмотрим переход объекта из начального состояния s в конечное состояние f двумя различимыми способами. В соответствии с правилом сложения вероятностей независимых событий вероятность этого перехода равна $\omega_{s\to f} = \omega_{1\, s\to f} + \omega_{2\, s\to f}$, или $|\langle f|s\rangle|^2 = |\langle f|s\rangle_1|^2 + |\langle f|s\rangle_2|^2$.

При одинаковой для каждого из способов перехода вероятности перехода (амплитуде вероятности перехода ψ) неопределенность перехода в битах равна $N_{раз\ 2\ s\to f} = -\log_2 2|\psi|^2$.

При двух неразличимых способах перехода из неопределенности перехода двумя различимыми способами вычитается информация выбора одного из двух равновероятных способов перехода $I_{выб\ 2} = -\log_2 2 = -1$.

Следовательно, неопределенность перехода объекта из начального состояния s в конечное состояние f двумя неразличимыми способами будет равна сумме неопределенности перехода двумя различимыми способами и информации выбора одного из двух равновероятных способов передачи (с обратным знаком): $N_{нер\ 2\ s\to f} = N_{раз\ 2\ s\to f} - I_{выб\ 2} = = -\log_2 2|\psi|^2 - \log_2 2 = -\log_2 4|\psi|^2 = -\log_2 |2\psi|^2$.

Стоящая под знаком модуля величина выражает правило сложения амплитуд вероятности перехода.

Рассмотрим переход объекта из начального состояния s в конечное состояние f различимыми m способами. В соответствии с правилом сложения вероятностей независимых событий вероятность этого

перехода равна $\omega_{s\to f} = \Sigma_i\, \omega_{i\, s\to f}$, или $|\langle f|s\rangle|^2 = \Sigma_i\, |\langle f|s\rangle_i|^2$.

При одинаковой для каждого из способов перехода амплитуде вероятности перехода ψ неопределенность перехода в битах равна $N_{раз\ m\ s\to f} = -\log_2 m|\psi|^2$. При неразличимых способах перехода к неопределенности перехода для m различимых способов добавляется информация выбора одного из m равновероятных способов (со знаком минус): $I_{выб\ m} = \log_2 m$.

Следовательно, неопределенность перехода объекта из начального состояния s в конечное состояние f неразличимыми m способами будет равна сумме неопределенности перехода для m различимых способов и неопределенности выбора одного из m равновероятных способов перехода:

$$N_{нер\ m\ s\to f} = N_{раз\ m\ s\to f} - I_{выб\ m}\,.$$

$$N_{нер\ m\ s\to f} = -\log_2 m|\psi|^2 - \log_2 m =$$
$$= -\log_2 m^2\,|\psi|^2 = -\log_2 |m\psi|^2.$$

Стоящая под знаком модуля величина выражает правило сложения амплитуд вероятности перехода. Сочетание классического сложения вероятностей при различимых альтернативах с классическим выбором одного из нескольких равновероятных путей приводит к квантовомеханическому волновому правилу сложения амплитуд.

Утверждение 17.55. *Субъект познания должен быть классическим объектом.*

Субъект познания должен обеспечивать хранение, копирование и передачу информации другому субъекту познания, обладать «врожденной» классической логикой и соответствующим классической логике классическим (колмогоровским) исчислением вероятностей. Квантовые объекты этими свойствами не обладают. Если информация записана в неизвестном состоянии квантового объекта, то нельзя копировать данное состояние для передачи другому субъекту познания, не разрушив его.

Копирование объектов с известными состояниями возможно, так как при этом неопределенность сохраняется. Если состояние кубита или другой квантовой системы известно, то его неопределенность равна нулю. Пусть объект задан волновой функцией $\psi = \sum_i c_i\, \psi_i$. Если состояние объекта известно, то один из коэффициентов c_i равен 1, остальные – 0. Следовательно, неопределенность объекта с известным состоянием равна нулю. Поскольку даже многократное копирование известных состояний не меняет неопределенности, то операция копирования известного состояния кубита или произвольной

квантовой системы физически реализуема. Если квантовый объект копирует информацию в другом субъекте познания, то он заведомо не знает его состояние. Следовательно, субъект познания должен хранить информацию в классическом виде, т.е. должен быть классическим объектом.

Утверждение 17.56. *Познание системы с конечной информацией внешним наблюдателем возможно тогда и только тогда, когда его разнообразие* R_{oo} *превосходит разнообразие наблюдаемой системы:* $R_s < R_{oo}$.

Утверждение 17.57. *Познание части системы с конечной информацией внутренним наблюдателем возможно тогда и только тогда, когда его разнообразие* R_{oi} *превосходит разнообразие наблюдаемой части системы* R_{ps}, $R_{os} < R_{oi}$. *Поскольку внутренний наблюдатель является частью системы, то его разнообразие плюс разнообразие наблюдаемой части системы не может быть больше разнообразия* R_s *всей системы (предполагаем, что разнообразие аддитивно)* $R_{os} + R_{oi} \leq R_s$.

Утверждение 17.58. *В общем случае познаваемая часть системы не может обладать разнообразием, превышающим половину разнообразия системы:* $R_{os} \leq ½ R_s$,, *а разнообразие наблюдателя должно быть не меньше половины разнообразия системы:* $R_{oi} \geq ½ R_s$.

Утверждение 17.59. *Система с конечной информацией эффективно познаваема внутренним наблюдателем при коэффициенте сжатия разнообразия не меньшем величины*
$(R_{os} + R_{oi})/R_{oi}$.

Сжатое разнообразие системы с конечной информацией (сжатые разнообразия наблюдаемой части системы и наблюдателя) должно сконцентрироваться (поместиться, отобразиться) в разнообразии наблюдателя $(R_{os} + R_{oi})/ k \leq R_{oi}$.

Следовательно, коэффициент сжатия разнообразия (информации) при познании системы с конечной информацией должен удовлетворять соотношению $k \geq (R_{os} + R_{oi})/R_{oi}$.

Утверждение 17.60. *Вселенная с конечной информацией эффективно познаваема.*

Предположим, что вся информация о Вселенной содержится в Разуме, масса которого равна массе мыслящих существ и приборов $M_{мсп} \approx 10^{10}$кг. Тогда процесс познания сжимает разнообразие Вселенной более, чем в 10^{40} раз и при этом $k \geq 10^{40}$.

Предположим, что вся информация о Вселенной содержится в Теории всего, масса которой равна массе физической энциклопедии $M_{тв} \approx 10^2$кг, при этом процесс познания сжимает разнообразие Вселенной более, чем в 10^{48} раз, а $k \geq 10^{48}$.

Утверждение 17.61. *Коэффициент сжатия информации в процессе познания Вселенной не может быть более* 10^{76}.

Пусть Вселенная описывается n параметрами и n^2 физическими законами, описывающими взаимосвязи между параметрами (учитываем попарные взаимосвязи). При наличии большего числа взаимосвязанных параметров учитываем большее число законов. Если на описание одного закона необходимо I бит, то для описание всех n^2 физических законов необходимо количество информации $I_{Оп\,Всел} = n^2 I$.

Пусть $n = 100$, $I = 1\ ГБайт$ (это более 3000 страниц текста), тогда $I_{Оп\,Всел} = 10000\,ГБайт \approx 10^{14}\ бит$. Поскольку для записи 1 бита необходима масса не меньшая, чем 10^{-40} кг, то в сделанных предположениях коэффициент сжатия информации в процессе познания Вселенной не может быть более 10^{76}.

Утверждение 17.62. *При передаче по каналу с пропускной способностью* C *измеряемых один раз в секунду величин* $X_1, X_2, ..., X_n$, *значения которых равномерно распределенны в диапазонах* $M_1, M_2, ..., M_n$, *произведение ошибок измерений не может быть меньше*

$$\prod_{i=1}^{n} \Delta X_i \geq \frac{1}{2^C} \prod_{i=1}^{n} M_i \quad .$$

Для двух величин X_1, X_2

$$\Delta X_1 \cdot \Delta X_2 \geq \frac{M_1 \cdot M_2}{2^C} \quad .$$

Обратим внимание на аналогию между полученным выражением и соотношением неопределенностей Гейзенберга.

17.5. Этапы развития Вселенной и логическая структура законов природы

1. Структуре законов природы соответствуют этапы возникновения и развития Вселенной. Из двух событий в жизни Вселенной

раньше происходит то событие, которое логически предшествует другому событию.

В начальные моменты времени действовали информационные законы:

- Закон простоты сложных систем, принцип полевого взаимодействия.
- Закон сохранения неопределенности (информации).
- Закон конечности характеристик сложных систем.
- Закон необходимого разнообразия Эшби.
- Теорема Геделя.
- Закон роста сложности систем.

2. Информационные законы содержались в начальных неоднородностях Вселенной.

3. Информационные законы ограничивали симметрию Вселенной, физические преобразования и процессы взаимодействия частиц: якобиан (определитель) преобразования равен единице, преобразования линейны, взаимодействие частиц определяется принципом полевого взаимодействия, ...

4. Ограничения на симметрию Вселенной и физические преобразования определили физические законы сохранения: энергии, импульса, момента импульса, а также множество и характеристики возникающих при расширении Вселенной частиц и полей.

5. Информационные законы и расширение Вселенной определяют физические законы (содержащие их неоднородности).

6. Расширение Вселенной порождает неоднородности (информацию) в различных типах взаимодействия, частиц и соответствующих им полей, атомов, молекул, звезд, планет, Жизнь,…

17.6. Основные информационные характеристики нашей Вселенной

Систематизируем основные результаты исследования физических систем, полученные автором совместным использованием информационных и физических законов природы.

Взаимосвязь между энтропией, энергией, массой и информацией.

- Связанная информация (микроинформация) связана с энтропией.

На запись, передачу одного бита микроинформации необходимо затратить энергию $E_{min} \geq kT\ ln2$.

- Для передачи, чтения или записи одного бита при температуре *T,* используемая масса $M_{min} \geq (kT\ ln2)/c^2$, а для записи *1* бита при $T = 1$ K

$$M_{бит} \geq E_{бит}/c^2 \approx 10^{-23}\,Дж/(9 \cdot 10^{16}\,м^2/c^2) = 10^{-40}\,кг.$$

- Макроинформация (классическая информация) – запомненный выбор.
- Затраты массы на 1 бит классической информации, формируемой атомами, составляет примерно 10^{-28}кг.
- Затраты массы на 1 бит классической информации, формируемой аминокислотами и азотистыми основаниями, составляет 4,43 10^{-25} и 1,05 10^{-25}кг.
- Связь между массой и энергией взаимно-однозначна.
- Связь между информацией и массой (энергией) не носит взаимно-однозначный характер.

Объем информации в физических системах из n кубитов.

- Произвольное чистое состояние квантовой системы может быть представлено в виде прямой суммы тензорных произведений кубитов.
- Физические системы из n кубитов с равновероятными базисными состояниями содержат не менее n бит (при независимости кубитов) и не более $\frac{n(n+1)}{2}$ бит (при попарно взаимодействующих кубитах) информации.
- В системе из n ограниченно взаимодействующих кубитов, состоящей из $\frac{n}{k}$ групп по k кубитов, каждый из которых взаимодействует только с кубитами своей группы ($k << n$), содержится объем информации пропорциональный количеству битов $I = n \cdot \frac{k+1}{2}$ бит.

Связь между информацией и массой в разных типах материи.

- Масса (энергия) черной дыры содержит неоднородности (информацию) в объеме:

$$I_{Чд} = \alpha_{Чд} M_{Чд}^2 .$$

- Масса (энергия) нейтронной звезды (белого карлика) содержит неоднородности (информацию) в объеме:

$$I_{Нз} = \alpha_{Нз} M_{Нз} \log_2 \beta_{Нз} M_{Нз} .$$

- Масса (энергия) обычного вещества содержит неоднородности (информацию) в объеме:

$$I_{Ов} = \alpha_{Ов} M_{Ов} .$$

- Масса (энергия) темной материи содержит неоднородности (информацию) в объеме: $I_{Тм} = \alpha_{Тм} M_{Тм}$ ($\alpha_{Тм} << \alpha_{Ов}$) существенно меньшем, чем обычное вещество.
- Темная энергия не содержит неоднородностей (информации)

$$I_{Тэ}(M_{Тэ}) = 0 .$$

Начальные неоднородности Вселенной.

- В начальный момент времени существовали неоднородности обычной материи и темного вещества во Вселенной.
- В начальный момент времени не существовали неоднородности темной энергии во Вселенной.
- Поскольку физические законы, полностью определяющие развитие, свойства и характеристики Вселенной, должны содержаться в начальных неоднородностях нашей Вселенной и поскольку физические законы характеризуются объемом классической информации, то этот объем в начальных неоднородностях Вселенной должен быть не меньше объема информации в физических законах.
- Оценки массы начальных неоднородностей Вселенной необходимой для запоминания и хранения законов Эйнштейна ($\approx 10^7$ бит) при температуре Вселенной $\approx 10^{12}$ K (времени существования Вселенной $\approx 10^{-5}$ секунды) дают значения порядка $\approx 10^{-8}$ кг (примерно масса одной планковской частицы).
- При степенном расширении Вселенной в период 10^{-34} с – 10^{-10} с на 1 бит классической информации формируется примерно 160 бит классической информации. Следовательно, для получения 10^7 бит классической информации в момент 10^{-10} с необходимо иметь примерно 10^5 классической информации в момент $10^{-34} c$ - массу порядка 10^7кг, что, по-видимому, невозможно. Поэтому начальная информация должна была в значительной мере сформироваться при инфляционном расширении Вселенной.
- При инфляционном расширении Вселенной в период 10^{-34} с –

10^{-32} с из бита классической информации, содержащейся в ее начальных неоднородностях, формируется объем информации порядка 10^3 бит классической информации.

- При инфляционном расширении в период 10^{-34} с – 10^{-32} с и дальнейшем степенном расширении Вселенной в период $10^{-32}c$ – $10^{-10}c$ на один бит классической информации формируется примерно 10^5 бит классической информации.
- Для получения 10^7 бит классической информации в момент $10^{-10}c$ необходимо иметь примерно 10^2 бит в момент $10^{-34}c$ - массу порядка 10^4кг. Такова оценка массы начальных неоднородностей Вселенной в момент $10^{-34}c$, массы, необходимой для «записи» физических законов природы.
- Это свидетельствует в пользу уточненной гипотезы о начальной информации: «...в момент $10^{-34}c$, вся Вселенная была заключена в области радиусом 10^{-24}см... В этом объеме уже была неоднородность массы порядка 10^4кг, из которой сформировалась вся информация о будущем Вселенной...».

Объем информации в нашей Вселенной.

- Причина и источник формирования информации – расширение Вселенной и ее исходная неоднородность. При расширении Вселенной изменяется ее фазовое состояние (симметрия) и кривизна пространства; формируются различные типы неоднородностей массы и энергии, в частности, возникают фундаментальные и элементарные частицы, галактические, звездные, планетные системы; формируется классическая информация, в том числе, аминокислоты, азотистые основания, белки, ДНК, организмы, цивилизации.
- Наиболее подходящими для формирования и хранения информации структурными единицами материи являются фермионы, а для передачи информации – бозоны.
- При нарушении симметрии между слабым и электромагнитным взаимодействиями во Вселенной формируется 10^{90} бит информации.
- «Информационный» механизм формирования частиц в инфляционной Вселенной порождает количество частиц, сравнимое с общепринятой оценкой числа частиц во Вселенной, порядка 10^{80} – 10^{90}.
- Степенное расширение Вселенной порождает неоднородности в

объеме $\approx 10^{99} - 10^{107}$ бит, из них в обычном веществе – $\approx 10^{90}$ бит.

- Во Вселенной, в звездах содержится всего около 10^{80} бит информации.
- Минимально возможный объем информации во Вселенной с преобладанием вещества $\approx 1{,}7 \cdot 10^{79}$ бит, а с преобладанием излучения $\approx 10^{91}$ бит.
- Максимально возможный объем информации во Вселенной $\approx 10^{120}$ бит.
- Рост объема информации при степенном расширении Вселенной $\propto \log_2 t$.
- Уменьшение плотности информации при степенном расширении Вселенной $\propto \log_2 t / t^2$.
- Рост объема информации при экспоненциальном расширении Вселенной $\propto \alpha t$.
- Уменьшение плотности информации при экспоненциальном расширении Вселенной $\propto t \cdot e^{-3\alpha t}$.

Информационные оценки тенденции изменения массы обычного вещества.

- При стандартной модели расширения Вселенной масса обычного вещества убывает, а при расширении Вселенной с ускорением в начале убывает, достигает минимума, а затем возрастает.

Совместная энтропия матриц смешивания электрослабого взаимодействия и матриц смешивания кварков.

- Оценки совместной энтропии по независимым экспериментальным данным, характеризующим матрицы смешивания электрослабого взаимодействия (1,7849; 1,7787; 1,7645; 1,7945), близки к оценкам совместной энтропии, характеризующим матрицы смешивания кварков (1,7842, 1,7849), что, по-видимому, свидетельствует о единой информационной и физической природе сильного и электрослабого взаимодействия.

Объем информации в некоторых фундаментальных, элементарных частицах и атомах.

Фундаментальные частицы являются элементарными системами (по Цайлингеру).

- В лептоне содержится 1 бит.
- В кварке содержится 1 бит.
- В фотоне – продукте электрослабого взаимодействия – содержится 0,78 бит.
- В фотоне с круговой поляризацией содержится1 бит.
- В Z^0-бозоне – продукте электрослабого взаимодействия – содержится 0,78 бит.

Составные элементарные частицы (адроны) представляют физические системы второго уровня сложности.

- В протоне, нейтроне содержится 9,422 бита (с учетом структуры протона, нейтрона, информации в кварках, цветов кварков, различной возможной ориентации спина протона, нейтрона).

Атомы представляют физические системы третьего уровня сложности.

- В атоме водорода (1-ый элемент) – 11,422 бита, в том числе, 1 бит в структуре атома, 10,422 бита информации в протоне и электроне.
- В атоме гелия – 41,688 бит, в том числе, 4 бита в структуре, 37,688 бита в протонах, нейтронах, электронах.
- В атоме лития – 62,532 бита, в том числе, 6 бит в структуре, 56,532 бит в протонах, нейтронах и электронах.
- В атоме бериллия – 92,798 бита, в том числе, 8 бит в структуре, 84,798 бит в протонах, нейтронах и электронах.
- В атоме бора – 104,22 бита, в том числе, 10 бит в структуре, 94,22 бит в протонах, нейтронах и электронах.
- В атоме углерода (6-ой элемент) – 125,064 бита, в том числе, 12 бит в структуре, 113,064 бит в протонах, нейтронах и электронах.

В приведенных оценках не учитывается объем информации в структуре ядер.

При учете объема информации в протонах, нейтронах и электронах.

- В атоме кислорода (8-ой элемент) – 149,33 бита.
- В атоме железа (26-ой элемент) – 544,21 бита.
- В атоме свинца (82-ой элемент) – 2032,354 бита.
- В атоме урана (92-ой элемент) – 2334,436 бита.
- В атоме мейтнерия (109-ый элемент) – 2615,252 бита.

Во всех приведенных оценках не учитывается внешняя неопределенность электронов.

В среднем в атомах на 1 бит информации используется $\approx 1,69 \cdot 10^{-28}$ кг массы вещества.

Объем информации в звездах.

- В Солнце – $\approx 1{,}3 \cdot 10^{58}$ бит.
- В белом карлике солнечной массы – $\approx 1,24 \cdot 10^{59}$ бит.
- В нейтронной звезде солнечной массы – $\approx 2,38 \cdot 10^{59}$ бит.

Объем информации в черных дырах.

- Планковская черная дыра содержит один нат информации, т.е. один нат можно считать планковской единицей информации (один бит является шенноновской единицей информации).
- В оптимальной черной дыре, сформированной в системе «излучение (фотоны) – черная дыра», при температуре 2,7К – $\approx 10^{62}$ бит.
- В оптимальной черной дыре, сформированной в системе «водород (протоны) – черная дыра», – $\approx 2,57 \cdot 10^{38}$ бит.
- При температуре излучения $T = m_p \dfrac{c^2}{k \cdot \ln 2 \cdot 9{,}422} = 1{,}555 \cdot \mathrm{E} + 12$ K масса оптимальных черных дыр, возникших в системах «излучение – черная дыра», равна массе оптимальных черных дыр, возникших в системах «водород (протоны) – черная дыра».
- В период перехода от Вселенной с преобладанием излучения к Вселенной с преобладанием вещества (10^4>T >10^3) масса оптимальной черной дыры в системе «излучение – черная дыра» меняется от 2,45 10^{19}кг до 2,45 10^{20}кг.
- В черных дырах солнечной массы – $\approx 7{,}72 \cdot 10^{76}$ бит.
- В черных дырах массой в миллион солнечных – $\approx 7{,}72 \cdot 10^{94}$ бит.

Объем информации в галактиках.

- В галактиках, имеющих 10^{11} звезд, – около 10^{69} бит информации.
- В галактиках, имеющих 10^{11} звезд и в ядрах сверхмассивные черные дыры массой $\approx 10^6 - 10^{10}$ солнечных масс, – $\approx 10^{90} - 10^{107}$ бит информации.

Информационная зависимость температуры излучения от массы.

- Для черной дыры зависимость температуры от массы (информационный спектр С. Хокинга) имеет вид:

$$T = \hbar \cdot c^3 \cdot \ln 2 / (4\pi \cdot 2,7 \cdot G \cdot M \cdot k) .$$

- Для нейтронной звезды зависимость температуры от массы (информационный спектр) имеет вид:

$$T = m_n c^2 /(\log_2 (M / m_n) + 9,422) \cdot k .$$

Информационные ограничения на образование черных дыр из звезд.

- Из Солнца образуется черная дыра массой не более $\approx 8 \cdot 10^{20}$ кг.
- Из белого карлика солнечной массы образуется черная дыра массой не более $\approx 2,5 \cdot 10^{21}$ кг.
- Из нейтронной звезды солнечной массы образуется черная дыра массой не более $\approx 4,17 \cdot 10^{21}$ кг.
- Черная дыра при формировании использует лишь часть массы источника ее образования. Остальная масса преобразуется в обычное вещество, рассеивается в окружающем пространстве и из нее могут формироваться другие объекты.

Информационные ограничения на слияние черных дыр.

- При слиянии двух черных дыр, имеющих массы M_1, M_2 без использования дополнительно обычного вещества, масса сформировавшейся черной дыры меньше, чем $M_{1+2} = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}$.
- При слиянии двух черных дыр, имеющих массы M_1, M_2 с использованием дополнительно обычного вещества, масса сформировавшейся черной дыры больше, чем $M_{1+2} = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}$.

Классическая информация.

- Избыточность классической информации, порождаемой атомами, по отношению к микроинформации составляет при температуре 300K $\approx 10^{10}$ раз.
- Избыточность классической информации, порождаемой жизнью, по отношению к микроинформации составляет при температуре 300K $\approx 10^{13}$ раз.
- Белки и аминокислоты для формирования 1 бита информации

используют массу всего на три порядка больше, чем атомы, т.е. жизнь – это эффективный способ формирования классической информации.

- Избыточность классической информации, порождаемой современной цивилизацией, по отношению к микроинформации составляет $\approx 10^{23-25}$ раз.
- Человек содержит $\approx 10^{25}$ бит классической информации.
- Биомасса Земли содержит $\approx 10^{40}$ бит классической информации. При использовании 100% массы Земли для формирования живого вещества будет сформировано $\approx 10^{50}$ бит классической информации.
- При использовании 1% массы Вселенной для формирования живого вещества будет сформировано $\approx 10^{75}$ бит классической информации.
- Максимально возможный объем классической информации во Вселенной $\approx 10^{77}$ бит.
- $10^{40} - 10^{77}$ бит – диапазон возможного объема классической информации во Вселенной, определяемый по известным в настоящее время данным.
- Эффективность природы по формированию классической информации превосходят эффективность человека и земной цивилизации в $\approx 10^{10}$ раз.
- Объем классической информации, формируемой земной цивилизацией, $<10^{30}$ бит/год, а соотношение объемов информации во Вселенной в год, порождаемой материей и цивилизацией, $\approx 10^{-49}$. Доля информации, формируемой цивилизацией на одну звездную систему, равна 10^{-27}, т.е. в настоящее время вклад цивилизации в формирование информации во Вселенной ничтожен.

Фундаментальные ограничения на характеристики информационных систем.

- Оценки объема информации в атомах, аминокислотах, азотистых основаниях, дифференциальная информационная емкость обычного вещества определяют фундаментальные ограничения на информационную емкость устройств хранения данных.
- Объем информации в атоме водорода и структура и разность энергий базисных состояний атома водорода, рассматриваемого как кубит, накладывают фундаментальные ограничения на память и бы-

стродействие вычислительных устройств.

- Ограничения 10^{28} бит/кг, $\leq 1,5 \cdot 10^{12}$ оп/с можно добавить в ряд фундаментальных природных ограничений, включающих скорость света, элементарный заряд, планковское время, …

Процесс познания Вселенной.

- Вселенная, объем информации в которой конечен, полностью познаваема.
- Субъект познания является классическим объектом (например, земной цивилизацией).
- Поскольку объемы информации, получаемые при теоретических и экспериментальных исследованиях, одинаковы, то теоретический (описание) и экспериментальный (измерение) способы познания имеют одинаковую познавательную силу.
- В процессе познания Вселенной осуществляется сжатие информации не менее, чем в $\approx 10^{20}$ раз и не более, чем в $\approx 10^{76}$ раз.
- Закон тяготения сжимает информацию в $4 \cdot 10^{183}$ раз.
- Возможна интерпретация процесса познания методами квантовой механики (описания и измерения) на базе информационных соотношений. Познание осуществляется через гипотетический информационный канал – «канал познания природы», ограниченная пропускная способность которого определяет невозможность «точного» (в классическом смысле) описания и измерения квантовых объектов. Увеличивая точность (неопределенность) описания/измерения одной из величин, наблюдатель вынужден уменьшать точность (неопределенность) описания/измерения другой.

Информационное единство возможных вселенных.

Поскольку неоднородности должны существовать во вселенных с любыми физическими законами, то подход, базирующийся на информационных характеристиках неоднородностей любой природы и соответствующие закономерности (законы информатики), распространяется на все возможные вселенные.

- Информационные ограничения на возможные физические законы во вселенных с разными физическими законами одинаковы, во всех вселенных действуют законы сохранения энергии, импульса, момента импульса.
- Не означает ли это идентичность всех возможных вселенных или единственность Вселенной?

18. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Информационные методы для исследования физических систем обосновываются, разрабатываются и используются зарубежными и российскими учеными. Результаты, изложенные в настоящей работе, показывают широкие возможности информационного подхода и законов информатики при исследовании физических систем и Вселенной в целом.

2. Вселенная «включает в себя» информацию. Информация – неотъемлемая часть Вселенной, неразрывно связанная с материей (энергией), неоднородности которых являются носителем информации. Наличие информации во Вселенной приводит к необходимости использования информационных методов исследования как самой информации, так и связанной с ней материи и энергии.

3. На физических системах наряду с физическими характеристиками (массой, энергией, зарядом, ...) определены информационные характеристики – информационная энтропия по Шеннону, информационная дивергенция, совместная информационная энтропия, информация связи.

4. Структуре законов природы соответствуют этапы возникновения и развития Вселенной. В начальные моменты времени действовали информационные законы:

- Закон простоты сложных систем, принцип полевого взаимодействия.
- Закон сохранения неопределенности (информации).
- Закон конечности характеристик сложных систем.
- Закон необходимого разнообразия Эшби.
- Теорема Геделя.

5. Информационные законы содержались в начальных неоднородностях Вселенной.

6. Информационные законы ограничивали симметрию Вселенной, физические преобразования и процессы взаимодействия частиц: якобиан (определитель) преобразования равен единице, преобразования линейны, взаимодействие частиц определяется принципом полевого взаимодействия, ...

7. Информационные законы (законы информатики) определяют и ограничивают физические законы и свойства физических систем, в частности, законы сохранения энергии, импульса и момента импуль-

са.

8. Разработана методика и получены оценки информационных характеристик физических систем, в том числе объема информации в физических системах (фундаментальных и элементарных частицах, атомах, молекулах,...).

9. Приведены оценки объема информации в космологических объектах (звездах, черных дырах, галактиках, Вселенной).

10. Выявлен и исследован новый класс объектов – оптимальные черные дыры.

11. Даны оценки объма информации в аминокислотах, азотистых основаниях, показано, что жизнь это эффективный способ формирования классической информации.

12. Оценки объема информации в атомах, аминокислотах, азотистых основаниях, дифференциальная информационная емкость обычного вещества определяют фундаментальные ограничения на информационную емкость и производительность информационных систем.

13. Приведены примеры совместного использования информационного закона – закона сохранения неопределенности (информации) и физического закона – закона сохранения энергии, сформулированы информационные основы строения и познания физических систем и Вселенной в целом.

14. Приведенные оценки можно использовать при моделировании физических систем и процессов, анализе свойств и процессов развития физических систем.

15. Приведенные оценки информационных характеристик физических систем будут уточнены при уточнении описания физических систем (соответствующих волновых функций), в частности, при построении преонной модели элементарных частиц.

16. В работе представлены оригинальные результаты, полученные автором за последние годы, требующие широкого обсуждения и, возможно, уточнения. Развиваемое направление представляется автору настолько важным, что его основная задача в настоящее время – представить полученные результаты научной общественности и получить критические замечания и рекомендации, которые дадут возможность уточнить разрабатываемые методы и ускорить получение новых результатов.

17.Приведенные результаты являются основой и составной частью формируемой в настоящее время новой области фундаменталь-

ных знаний – физической информатики.

18.Применение разработанных автором информационных методов исследования физических систем осуществляется впервые, поэтому необходимо научиться адекватно пользоваться ими.

Автор благодарит научного руководителя ФТИАН академика К.А. Валиева руководителя АКЦ ФИАН академика Н.С. Кардашева, директора ИПИ РАН академика И.А. Соколова, сотрудников ИПИ РАН профессора С.Я. Шоргина, профессора К.К. Колина, д.ф.м.н. В.И. Синицина, д.т.н. В.М. Ченцова, сотрудника ИПУ РАН профессора В.А. Жожикашвили, сотрудников ГАИШ профессора В.М. Липунова, к.ф.м.н. Л.М. Гиндилиса, к.ф.м.н. Абубукерова М.К., сотрудника НИИЯФ к.ф.-м.н. А.Д. Панова, сотрудника СевНТУ к.ф.м.н. Леонтовича А.Л., компанию «ГЕТНЕТ Консалтинг» и ее руководителя М.В. Панина за интерес к данному направлению работ и оказанную помощь.

Благодарю жену, Соломенцеву Н.В., за постоянную поддержку и помощь в оформлении работы.

Приложение 1.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ: ОБЗОР ПЕРВЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Основополагающие результаты

Многие выдающиеся ученые отмечали важность информации. Дж. Уиллер: «Моя жизнь в физике представляется мне разделенной на три периода. В первый из них, растянувшийся с начала моей карьеры и до начала 1950-х годов, я был захвачен идеей, что “Всё — это частицы”. Я искал способы выстроить все базовые элементы материи (нейтроны, протоны, мезоны и т. д.) из самых легких, наиболее фундаментальных частиц — электронов и фотонов. Второй период я называю “Всё — это поля”. Теперь же я захвачен новой идеей: “Всё — это информация” [46]; Э. Стин «…необходимо определить несколько законов, схожих с законами сохранения энергии и момента, но используемых по отношению к информации и определяющих большую часть квантовой механики» [68]; Б.Б. Кадомцев: «При переходе к изучению все более сложных систем именно структурные, информационные аспекты их поведения и развития выступают на первый план, а динамика создает лишь основу для информационного развития. С учетом квантовых процессов в микромире картина развития мира становится еще более сложной и более богатой в смысле ее информационного поведения» [66]. В настоящем разделе излагаются результаты, полученные информационными методами советскими (российскими) и зарубежными авторами. Показаны приоритеты.

Впервые анализ физических процессов с использованием информационных понятий провел А. Эйнштейн. Пользуясь понятием сигнала, он установил, что нужно понимать под синхронно идущими, находящимися в различных местах покоящимися часами и определил понятия *одновременность* и *время* [40].

Л. Сциллард, анализируя мысленный эксперимент с "демоном Максвелла", показал, что энтропия, теряемая газом за счет разделения молекул на медленные и быстрые, в точности равна информации, получаемой "демоном Максвелла". Т.е. сумма энтропии и информации в системе "газ-наблюдатель" – постоянная величина. Физическая характеристика становится мерой познания, причем наблюдатель узнаёт о системе ровно столько, сколько она теряет [41].

И. Фон Нейман ввел понятие *квантовой энтропии*: $S = \rho \ln \rho$, где ρ — матрица плотности, оценивающей неопределенность смешанных состояний [8]. Энтропия Неймана чистого состояния по определению равна нулю, но физики, как правило, для описания и исследований квантовых систем используют эту энтропию.

К. Шеннон ввел понятие *информационная энтропия*. Энтропия H дискретной случайной величины: $H = -\sum p_i \log_2 p_i$, ($H = -\sum p_i \ln p_i$), энтропия H непрерывной случайной величины $H(x) = -\int p(x) \log_2 p(x) dx$ ($H(x) = -\int \mathrm{p(x)} \ln \mathrm{p(x)}\, dx$) [7]. Информационная энтропия Шеннона определяемая в битах (натах) является универсальной мерой неопределенности (информации) в классических и квантовых системах.

Е.Т. Джейнс предложил метод нахождения равновесных распределений вероятности на основе принципа максимума энтропии при наличии дополнительных условий, для учета которых используется метод множителей Лагранжа. [43].

Систематическое применение методов теории информации к анализу физических явлений и процессов было, по-видимому, впервые проведено Л. Бриллюэном. «Мы введем теперь различие между двумя видами информации: 1) свободная информация (free information), возникающая, когда возможные случаи рассматриваются как абстрактные и не имеющие определенного физического значения; 2) связанная информация (bound information), возникающая, когда возможные случаи могут быть представлены как микросостояния физической системы». Л. Бриллюэн показал, что одна двоичная единица информации соответствует энтропии $\Delta S = k \ln 2$ и должна быть оплачена негаэнтропией большей, чем $k \ln 2$ и энергией не меньшей, чем $kT \ln 2$ и дал оценку объема информации, содержащейся в физическом законе [44].

Х. Эверетт первым получил информационное представление соотношения неопределенности Гейзенберга [50].

Р. Пенроуз, С. Хокинг (Hawking), J. Bekenstein, Дж. Прескилл, Д.А. Киржниц и др. использовали информационный подход применительно к процессу образования черных дыр. «Может ли исчезать информация при образовании черной дыры? Куда она может исчезать? Черная дыра искажает проглоченную информацию, но все же не разрушает ее бесследно. В процессе испарения черной дыры информация вырывается из ее объятий» [58-60].

Н. Марголис и Л. Левитин доказали теорему о том, что общее количество элементарных действий, которые система может выполнить в секунду, ограничено энергией: $k_{оп/с} = 2E/\hbar$, где E – превышение средней энергии системы над энергией нижнего состояния, $h = \hbar/2\pi$ = 1,0545 × 10^{-34} с · Дж – уменьшенная постоянная Планка [69].

A. Zeilinger выдвинул следующий принцип как возможный фундамент всей квантовой теории, представив две его формулировки: 1) элементарная система представляет истинностное значение одного суждения; 2) элементарная система несет один бит информации [2].

С. Ллойд выдвинул постулаты [74]: 1) теорема Марголиса–Левитина; 2) общее количество битов $K_{бит}$, доступных для обработки в системе, ограничено энтропией системы: $K_{бит} = S/k\ln 2$, где S - термодинамическая энтропия системы; k = 1,38 · 10^{-23} Дж/К – постоянная Больцмана; 3) скорость перемещения информации ограничена скоростью света с = 2,98 · 10^{8} м/с. Эти три предела применены для оценки способности Вселенной обрабатывать информацию. В частности, оценено и общее количество битов, доступных во Вселенной для вычисления, и число элементарных логических действий, которые могут быть выполнены на этих битах за время существования Вселенной. Общее количество битов ≈ 10^{90} в материи *(результат автора, 1989г. [16]),* ≈ 10^{120}, если тяготение принято во внимание) и ≈ 10^{120} операций.

S. Hsu и A. Zee, D. Scott и J. Zibin обсуждают проблему представления послания Создателя неоднородностями реликтового излучения и оценивают объем послания. Они считают, что 10^{5} бит информации [78], 300 бит [79] могут быть закодированы в космическом микроволновом фоне.

Автор систематизирует знания по сложным системам, информационным методам их исследований на базе законов информатики и проводит исследования сложных систем на основе этих законов [4, 9, 19]. Основными результатами автора являются: утверждение о существовании законов природы более общих, чем физические, – законов информатики, определяющих, ограничивающих физические явления и процессы и предшествующих физическим законам; формулировка законов информатики; оценка объема информации во Вселенной.

Количество ученых, использующих информационный подход и информационные методы в физических исследованиях, быстро воз-

растает. В начале 2010г. появилось много интересных работ, в том числе работы [146-151].

2. Обзор первых результатов

Подход 1. (автор). Исходные положения: закон сохранения энергии, закон сохранения неопределенности (информации), основной принцип квантовой механики Цайлингера: элементарные физические системы содержат (несут) 1 бит информации. Основные результаты: для описания физических систем используются – информационная энтропия, информационная дивергенция, совместная информационная энтропия, информация связи. При подходе 1 для оценки объема информации в физической системе не требуется использования голографического принципа. Методика оценки объема неопределенности (информации) в физических объектах иерархической структуры заключается в следующем. Сначала оценивается объем неопределенности (информации) в объектах нижнего уровня (лептонах и кварках). Согласно основному принципу квантовой механики Цайлингера считаем, что в объектах нижнего уровня – фундаментальных частицах содержится 1 бит неопределенности (информации). Далее оценивается объем неопределенности (информации) в объектах второго уровня. Он равен сумме неопределенности (информации) объектов нижнего уровня плюс объем неопределенности (информации), заключенной в структуре объекта второго уровня иерархии (мезоны, барионы). Объем информации в структуре объекта второго уровня оценивается по волновой функции объекта второго уровня и по графу, отображающему структуру объекта второго уровня. Аналогично оценивается объем неопределенности (информации) в объектах следующих уровней. Даны прямые оценки объема информации в физических системах (2009) [39]. Показано, что объем информации, формирующейся в системе отсчета, движущейся с ускорением, равен $I(x') = -\log_2 J = -\log_2 \sqrt{-g'} = \log_2 \sqrt{1 - \frac{2ax}{c^2}} \approx \frac{ax}{c^2}$ (настоящая книга). Обратим внимание на аналогию с эффектом УНРУ [149]. Появление теплового излучения в ускоряющейся системе отсчёта при отсутствии этого излучения в инерциальной системе отсчёта есть появление дополнительной информации в ускоряющейся системе отсчёта при отсутствии этой информации в инерциальной системе

отсчёта. Из информационных предпосылок определен вид гравитационного потенциала $\propto \frac{1}{r}$ (2008, 2009) [33, 39], определен вид напряженности гравитационного поля $\propto \frac{1}{r^2}$ (2008, 2009) [33, 39]. Показана необратимость времени (1989) [4]. Показано, что законы информатики определяют действие физических законов сохранения (энергии, импульса, момента импульса). Открыто существование нескольких типов материи с разной зависимостью объема информации от массы (в том числе, линейная для обычного вещества $I \propto M$, квадратичная для черных дыр $I \propto M^2$, линейно-логарифмическая для нейтронных дыр и белых карликов $I \propto M \log_2 M$) (2007-2009) [19, 33, 39]. Показано существование пятого типа взаимодействия – информационного взаимодействия (2007-2009) [19, 39]. Разработаны информационные модели космологических объектов (черных дыр, нейтронных звезд, белых карликов, звезд солнечного типа) (2007-2009) [19, 33, 39]. Выведена формула Хокинга для черных дыр (информационный спектр излучения) (2007) [19]. Выведена формула для информационного спектра излучения нейтронных звезд и белых карликов (2009) [39]. Разработаны методики и даны оценки объема информации в космологических объектах (2007-2009) [19, 33, 39]. Получены информационные ограничения на образование и слияние черных дыр (2009) [39]. Открыто существование и исследованы характеристики оптимальных черных дыр (минимизирующих объем информации в области Вселенной, Вселенной в целом) (2007) [19]. Дана оценка массы начальных неоднородностей Вселенной (2009) [19]. Показано, что расширение Вселенной является причиной и источником формирования информации, причем разнообразные физические процессы в расширяющейся Вселенной обеспечивают формирование информации (1989 - 2009) [4, 19, 33, 39]. Даны оценки максимально и минимально возможных, текущего объемов информации во Вселенной (1989) [4, 19, 33, 39]. Даны оценки основных информационных характеристик Вселенной (1989 - 2009) [4, 19, 33, 39]. Из информационных предпосылок определена необходимость описания физических систем (квантовой механики) (2009) неклассической вероятностной логикой [39]. Показано, что во всех возможных Вселенных действуют законы информатики и, тем самым, физические законы сохранения.

Подход 2. (Verlinde, Maccone, Lisi). Исходные положения: Первый закон термодинамики, Второй закон термодинамики, Голографический принцип, формула Хокинга, эффект Унру. Голографи́ческий при́нцип – предположение, выдвинутое в 1993г. нидерландским физиком-теоретиком Г.т' Хофтом (Gerard 't Hooft). Оно состоит из двух основных утверждений: Вся информация, содержащаяся в некой области пространства, может быть представлена как `Голограмма' - теория, которая `живёт' на границе этой области. Теория на границах исследуемой области пространства должна содержать, самое большее, одну степень свободы (один бит) на планковскую площадь. Формула Хокинга: излучению вблизи горизонта событий чёрной дыры можно сопоставить определённую температуру $T_{BH} = \frac{\hbar c^3}{8\pi kGM}$. Эффект Унру (излучение Унру): предсказываемый квантовой теорией поля эффект наблюдения теплового излучения в ускоряющейся системе отсчёта при отсутствии этого излучения в инерциальной системе отсчёта [145]. Температура наблюдаемого излучения Унру выражается той же формулой, что и температура излучения Хокинга, но зависит не от поверхностной гравитации, а от ускорения системы отсчета $T = \frac{\hbar a}{2\pi kc}$. Объем информации в физических системах оценивается на основе голографи́ческого при́нципа. Основные результаты: исходя из принципа максимальной энтропии определена необходимость вероятностного описания физических систем (квантовой механики) (2006) [146], из информационных предпосылок определены: закон всемирного тяготения (2009-2010) [147-149], второй закон Ньютона (2009-2010) [147-149], уравнения Фридмана (2010) [150], показана необратимость времени (2009) [151].

3. Выводы

Работы автора и зарубежных ученых подтверждают первичность информационных законов (законов информатики).

Информационные законы определяют и ограничивают физические законы. Информационные законы имеют всеобщий, универсальный характер, действуют во всех возможных вселенных, даже во вселенных с разными физическими законами.

Приведенные сведения показывают, что приоритет получения

информационными методами физических результатов принадлежит автору, хотя последние результаты зарубежных ученых очень интересны и важны.

Использование информационных законов (законов информатики) совместно с физическими законами позволит раскрыть все тайны природы, в частности, построить теорию квантовой гравитации.

Приложение 2. Использование законов информатики для анализа моделей генезиса нефти

В настоящем разделе излагаются основные результаты автора книги [152] Р.Б. Сейфуль-Мулюкова по использованию законов информатики для исследования свойств и генезиса нефти. «… Для объяснения особенностей характеризующих нефть, и её происхождение, недостаточно знания физических, химических законов и структуры геологической среды её нахождения. Необходимо посмотреть на нефть как на сложную систему на основе законов информатики».

1. Законы информатики и нефть

Свойства, присущие нефти как сложной системе, отражают объективно существующие законы информатики [19]. Они всеобъемлющи, первичны по отношению к законам физики, химии, геологии и других наук, поскольку основаны на фундаментальной категории – информации, связанной с материей, временем, пространством, энергией и движением. Частные законы объясняют черты строения и состава веществ, процессов и явлений мироздания. Законы информатики отражают общие особенности сложной системы, объясняя ее строение и поведение, не противореча законам химии, физики, геологии и др.

Законами информатики, адекватно отражающими свойства нефти, являются закон простоты сложных систем, закон неопределенности (информации) и закон необходимого разнообразия.

Закон простоты сложных систем реализуется в принципах модульного, иерархического построения и симметрии модулей.

Нефть составлена по модульному, иерархическому принципу. Нижний уровень вещества составляют элементарные частицы микромира – протоны, нейтроны ядра и электроны орбиталей, одинаковые у всех химических элементов. Последующий уровень – атомы водорода и углерода, составляющие простейшие углеводородные последовательности. Следующий, более высокий уровень составляют молекулы основных углеводороддов, а также гетероциклических соединений. Верхним уровнем является сама смесь углеводородных молекул, именуемая нефтью.

`2. Законы информатики и познание генезиса, возраста и свойств нефти

Из совокупности законов информатики и их приложений к объяснению конкретных свойств, особенностей нефти и её места в геологической истории, заслуживают внимания законы *познаваемости, простоты и необходимого разнообразия сложных систем*.

Закон познаваемости дает возможность понять различие геологических времен, каждое из которых оказывало определяющее влияние на образование и состав углеводородных последовательностей. Большинство сторонников биосферной модели считают достаточным доказательство наличия углерода, как бы находящегося на различных стадиях катагенетического преобразования, в отложениях любого возраста, для того чтобы считать их перспективными для поиска залежей нефти, идентичной современной.

Закон *простоты* сложных систем доказывает, что современная нефть явление уникальное и присущее только новейшей геологической эпохе. На каждом этапе эволюции углеводородных последовательностей природа отбирала (разрешала, допускала) такую их совокупность, которая была самой простой из всех возможных в условиях данной, определенной эпохи. При этом, согласно принципу Амбарцумяна, структура совокупности углеводородных последовательностей усложнялась от более древних эпох к более молодым. Если нефть вендского времени была бы аналогична современной, её сложность превосходила бы сложность системы, допустимую условиями венда, что справедливо также для палеозойской и мезозойской нефти. Полагать, что в венде или палеозое образовалась нефть по сложности химического состава идентичная современной – значит противоречить закону простоты сложных систем.

Закон *необходимого разнообразия* (закон Эшби) можно считать справедливым и для нефти, поскольку она отличается разнообразием углеводородного состава (более 500 углеводородных веществ), которое необходимо, как основа ее существования. Если удалить из нефти любой её компонент - алканы, нафтены, арены или гетероциклы, то это будет углеводород, но уже не нефть. Крекинг

нефти это последовательное разделение нефти на фракции: бензин, керосин, дизельное топливо, масла и т.д., каждое из которых имеет свой состав, но не является нефтью. Битум битуминозной породы - бывшая нефть, из которой удалены легкие компоненты, а легкий, светлый углеводородный конденсат без тяжелых фракций тоже не нефть. Каждый из основных компонентов нефти имеет свои условия образования, развития и способ (смысл) вхождения в состав нефти.

3. Оценки объема информации в нефти

Динамику процесса эволюции сложной системы отражает объём информации, который можно выразить в битах. Молекула вещества состоит из атомов, которые в свою очередь из электронов, нейтронов и протонов, одинаковых у всех элементов. Объем информации в атомах и молекулах можно оценить в битах [19, 39]. Объем информации атома любого элемента равен сумме объемов информации протонов, нейтронов, электронов и информации в структуре атома. Все молекулы углеводородов, гетероциклов и примесей нефти состоят из атомов, поэтому оценка объёма информации исходных, промежуточных и конечных веществ в моделях процесса генезиса нефти отражает эти процессы.

Изменение объёма информации при образовании нефти по ювенильной модели. Р.Б. Сейфуль-Мулюков показал, что простейшими углеводородными последовательностями, создаваемыми на начальных этапах их образования, являются: CH_4 – метан, C_2H_6 – этан и C_2H_2 – ацетилен. Самым простым и стойким является метан, молекула, которого состоит из одного атома углерода и четырех атомов водорода. Пользуясь значениями объёмов информации в атомах углерода и водорода, создающих молекулу метана, определено, что она содержат 154 бита информации.

Молекула бутана содержит 550 бит информации. Объем информации в условной молекуле массы жидкой нефти, складывается из объёма информации атомов основных элементов, слагающих условную молекулу. При этом для расчета, используется эмпирическая формула, дающая возможность рассчитать количество атомов каждого элемента, участвующего в строении условной молекуле вещества, для расчета объёма её информации.

Динамика изменения объёма информации в единице условной массы от начальных стадий образования углеводородных

последовательностей до битуминозной породы, по модели неорганического синтеза, выглядит следующим образом:

- на глубине образования первого простейшего углеводорода 156 бит;
- на глубинах существования газообразных углеводородов 550 бит;
- на уровне глубин главной зоны нефтенакопления (1500-3500м); полная совокупность углеводородных последовательностей – в условной молекуле нефти – 6171 бит;
- верхний уровень близкий к поверхности Земли, нефть, лишенная легких компонентов – битум битуминозной породы – 6219 бит.

Изменение объёма информации при образовании нефти по биосферной модели. По биосферной модели исходным веществом являются нерастворимые органические липидные остатки бактерий и животных, лигнинные и липидные остатки растений.

Динамика изменения объёма информации от начальных стадий накопления липидных остатков, созревания органического вещества в «нефтематеринской» породе до кульминационной в виде нефти и, наконец, в битуме битуминозной породы по органической схеме выгладит следующим образом:

- на уровне биосферы, исходное вещество – липид - 8360 бит;
- на ранней стадии катагенеза керогена– 6379 бит;
- на поздней стадии катагенеза керогена– 7371 бит;
- на уровне главной зоны нефтенакопления (1500-3500м) как полная совокупность углеводородных последовательностей – нефть – 6171 бит;
- на верхнем уровне близком к поверхности Земли, битум битуминозной породы – 6219 бит.

Последовательности содержания объема информации дают основание сделать следующие выводы.

Ювенильная модель от образования первых углеводородных последовательностей и в процессе дальнейшего усложнения их состава и структуры в литосфере и в земной коре подкрепляется соответствующим изменением объёма информации. Его увеличение соответствует усложнению структуры и состава углеводородных последовательностей от простейших до нефти и битума, во всем вертикальном диапазоне их распространения. Увеличение объёма информации отражает естественный природный процесс последовательного изменения структуры и сложности вещества.

Природный процесс биосферной модели вида: *Липид живого → осадок обогащенный* $C_{орг}$ *→ кероген → микронефть → нефть → битум* с точки зрения динамики изменения объёма информации не соответствует общим закономерностям развития материи, а следовательно не может быть реализован.

4. Выводы

Т.о., использование информационного подхода позволило обосновать модель неорганического, глубинного происхождения нефти и, в то же показало противоречивость схемы органического синтеза объективно существующим законам информатики, а следовательно, ее нереализуемость.

Вышеизложенное дает основание представить ювенильную модель, объясняющей генезис углеводородных последовательностей, но и представить некоторые закономерности распределения нефтеносности в недрах и вытекающие из них направления поисков её промышленных скоплений.

Формирование всей совокупности углеводородных последовательностей происходит в настоящее время в литосфере.

Наиболее благоприятным показателем нефтеносности недр является объём информации условной молекулы нефти на уровне 4800 - 5100 бит.

Оценка объема информации может быть получена на предварительных этапах разведки по данным об элементном составе нефти в нефтепроявлениях или на основании единичных притоков в разведочных скважинах. Нефть, объём информации условной молекулы которой превышает 5100 бит, отражает неблагоприятные условия недр для сохранения всей совокупности углеводородных последовательностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кардашев Н.С.* Информация, компьютеры и цивилизации во Вселенной. Совместное заседание семинара по космической философии НКЦ SETI и секции "Поиски внеземных цивилизаций" НСА РАН. – М.: ГАИШ, 7 апреля 2006.
2. *Zeilinger, A.* A Foundational Principle for Quantum Mechanics", Foundations of Physics 29 (4): 631-43. (1999).
3. *Глушков В.М.* О кибернетике как науке // Кибернетика, мышление, жизнь. - М.: Мысль. - С. 53-62. 1964.
4. *Гуревич И.М.* Законы информатики – основа исследований и проектирования сложных систем связи и управления. Методическое пособие. – М.: ЦООНТИ «Экос», 1989.
5. *Встовский Г.В.* Элементы информационной физики». – М.: МГИУ, 2002.
6. *Колин К.К.* Природа информации и философские основы информатики. // Открытое образование, № 2(49). -М.: 2005. - С. 43-51.
7. *Шеннон К.* Математическая теория связи. Работы по теории информации и кибернетики. Издательство иностранной литературы, М. 1963 – с. 243 – 332.
8. *Фон Нейман М.* Математические основы квантовой механики. «Наука», М. 1964.
9. *Гуревич И.М.* «Законы информатики – основа строения и познания сложных систем». – М.: «Антиква», 2003.
10. *Гуревич И.М.* Об основных законах информатики. Тезисы докладов отраслевого научно-технического Семинара 16-20 ноября 1987. Проблемы, методы и опыт создания автоматизированных систем управления связью. Ч.1.- ЦООНТИ «Экос». М, 1987.
11. *Гуревич И.М.* Законы информатики – основа исследования и проектирования сложных систем. Информационные технологии. № 11. Приложение. 2003.
12. *Гуревич И.М.* Физики познают и используют Законы информатики. Информационные технологии. № 12. М. 2004.
13. *Гуревич И.М.* О познаваемости сложных систем: Познаваема ли Вселенная? Наука и культура, 06.VII.2004. http://www.pereplet.ru/text/gurevich/gurevich.html.
14. *Гуревич И.М.* Введение в физическую информатику. Сб. научной сессии ИПИ РАН. М. 2005.
15. *Гуревич И.М.* Информационные характеристики сцепленных со-

стояний. Журнал Информационные технологии. № 5. М. 2006.
16. *Гуревич И.М.* Информационная оценка “силы” взаимодействия сцепленных состояний. Сборник докладов конференции «Проблемы кибернетики и информатики». Баку. 2006.
17. *Гуревич И.М.* Законы информатики в проблеме познания сложных систем. Системы и средства информатики. Специальный выпуск. Научно- методические проблемы информатики. ИПИ РАН. 2006.
18. *Гуревич И.М.* Операции над q-битами и сохранение неопределенности. Информационные технологии. № 3. М. 2007.
19. *Гуревич И.М.* «Законы информатики – основа строения и познания сложных систем». Издание второе уточненное и дополненное. М. «Торус Пресс». 2007. 400 с.
20. *Гуревич И.М.* Информационная модель черной дыры. Труды конференции ВАК-2007. Казань. 2007.
21. *Гуревич И.М.* Структура Вселенной с минимальной информацией. Труды конференции ВАК-2007. Казань. 2007.
22. *Гуревич И.М.* Сжатие информации «Разумом» в процессе познания Вселенной. Бюлл. Специальной астрофизической обсерватории, 60-61, 2007, 145-167.
23. *Гуревич И.М.* О возможности сохранения «Разума» при космических катастрофах. Бюлл. Специальной астрофизической обсерватории, 60-61, 2007, 173-174.
24. *Gurevich I.* About restrictions on volume of the information in the Universe. 58 th International Astronautical Congress – 2007 (IAC 2007).
25. *Гуревич И.М.* Объем информации в сцепленных (запутанных) состояниях. Материалы международной научно-практической конференции "Инфотех – 2007". Севастополь, 2007г.
26. *Гуревич И.М.* Информационные модели в космологии. Материалы международной научно-практической конференции "Инфотех – 2007". Севастополь, 2007г.
27. *Гуревич И.М.* Информационные характеристики Вселенной. Доклад на семинаре ГАИШ. 25.05.2007г.
28. *Гуревич И.М.* Об информационных моделях в космологии. Системы и средства информатики. Вып. 17. ИПИ РАН Москва. 2007г. 164-183.
29. *Гуревич И.М.* Масса (материя), энергия, информация. Информационные и физические законы. Доклад на естественно-научном

семинаре Института философии РАН. 25.12.2007.
30. *Gurevich I.* Volume of information in various types of quantum states. II Международная конференция «Проблемы кибернетики и информатики». Баку. Сентябрь 2008г.
31. *Gurevich I.* Estimation of information volume in cosmology objects. II Международная конференция «Проблемы кибернетики и информатики». Баку. Сентябрь 2008.
32. *Гуревич И.М.* Информационные характеристики физических систем Системы и средства информатики. Дополнительный выпуск. ИПИ РАН Москва. 2008г.
33. *Гуревич И.М.* Оценка основных информационных характеристик Вселенной. Информационные технологии. № 12. Приложение. 2008.
34. *Гуревич И.М.* Информационные модели физических систем состоящих из обычного вещества и черных дыр. Доклад на заседании общемосковского семинара астрофизиков имени Я.Б. Зельдовича 7.03.2008г.
35. *Гуревич И.М.* Информационные методы исследования физических систем. Материалы международной научно-практической конференции «Информационные технологии и информационная безопасность в науке, техники и образовании «ИНФОТЕХ – 2009». Севастополь. 7-12 сентября 2009г. Стр. 94-97.
36. *Гуревич И.М.* Информационные характеристики физических систем. Материалы международной научно-практической конференции «Информационные технологии и информационная безопасность в науке, техники и образовании «ИНФОТЕХ – 2009». Севастополь. 7-12 сентября 2009г. Стр. 98-101.
37. *Гуревич И.М.* Оценка начальных неоднородностей Вселенной. Материалы международной научно-практической конференции «Информационные технологии и информационная безопасность в науке, техники и образовании «ИНФОТЕХ – 2009». Севастополь. 7-12 сентября 2009г. Стр. 102-105.
38. *Гуревич И.М.* Основные информационные характеристики нашей Вселенной. Материалы международной научно-практической конференции «Информационные технологии и информационная безопасность в науке, техники и образовании «ИНФОТЕХ – 2009». Севастополь. 7-12 сентября 2009г. Стр. 106-109.
39. *Гуревич И.М.* Информационные характеристики физических систем. «11-й ФОРМАТ. Москва. 2009. 170 с.

40. *Энштейн А.* К электродинамике движущихся тел. Собрание научных трудов. Т.1. Наука. М. 1965.
41. *Szillard L. Z.* Physik. 1929. V. 53. P. 840.
42. *Шредингер Э.* Природа и греки. Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика». Москва-Ижевск. 2001.
43. *Janes E.T.* Information theory and statistical mechanics. I. Phys. Rev. 1957. V.106. №4. Pp. 620-630. II. Phys. Rev. 1957. V.108. №2. Pp. 171-190.
44. *Бриллюэн Л.* Наука и теория информации. Государственное издательство физико-математической литературы. М. 1960.
45. *Wheeler J. A.,* Geometrodynamics,. Academic Press, New York, pp. 88, 129 (1962).
46. *Wheeler J.A.,* In Complexity, Entropy, and the Physics of Information, W.H. Zurek, ed., Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity volume VIII, Addison Wesley, Redwood City (1988).
47. *Wheeler J.A.,* «Geons, Black Holes & Quantum Foam: A Life in Physics». New York, W.W. Norton & Company, 1998, pp. 63-64].
48. *Bremermann H.O.* Optimization trough Evolution end Recombination in Self – Organizing Sistems. Spartan Books. – Washington D, C., 1962.
49. *Эшби У. Росс.* Несколько замечаний. Общая теория систем. Мир. М. 1966.
50. *Everett. H.* The theory of the universal wave function. In B S De Witt and N Graham, editors. The many world interpretation of quantum mechanics. Princeton University Press, Princeton, 1973.
51. *Hirschman I.I.* A note on entropy. Am. J. Math. **79**, 152-156. (1957).
52. *Beckner W.* Inequalities in Fourier analysis. Ann. Math. 102, 159-182. (1975).
53. *Bialynicki-Birula I* . and *Mycielski J.,* Uncertainty relations for information entropy in wave mechanics. Comm. Math. Phys. 44, 129-132. (1975).
54. *Deutsch D.* Uncertainty in quantum measurements. Phys. Rev. Lett., 50, 631-633, 1983.
55. *Uffink Й.* "Measures of Uncertainty and the Uncertainty Principle", PhD thesis, University of Utrecht, 1990. http://www.phys.uu.nl/igg/jos/.
56. *Холево А.С.* Введение в квантовую теорию информации. Независимый московский университет. Высший колледж математической физики. МЦНМО. 2002.

57. *Холево А. С.* "Статистическая структура квантовой теории", ИКИ, 2003. (перев. с англ.) http://www.rcd.ru.
58. *Пенроуз Р.* Новый ум короля. УРСС. Москва. 2003. (Oxford University Press. 1989).
59. *Хокинг С., Пенроуз Р.* Природа пространства и времени. НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». Удмуртский государственный университет. Ижевск. 2000.
60. *Киржниц Д.А*. Горячие "черные дыры". Новое в понимании природы теплоты. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова.
61. *Хармут Х.* Применение методов теории информации в физике. Мир. М. 1989.
62. *Bennet C.H., Brasssard G., Crepeau C., Jorsa R., Peres A., Wootters W.K*. Phis. Rev.Lett. 70 1985 (1993)
63. *Bennet C.H., Bernstein H.J., Popescu S., Schumacher B.* Phis. Rev.Lett. A 53 2046 (1996).
64. *Валиев К.А., Кокин А.А*. Квантовые компьютеры: Надежда и реальность. Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика». - Москва-Ижевск: 2001.
65. *Валиев К.А.* Квантовые компьютеры и квантовые вычисления. УФН. Том 175. № 1, 2005.
66. *Кадомцев Б.Б.* Динамика и информация. Успехи физических наук. М. 1999.
67. *Кардашев Н.С.* Астрофизический аспект проблемы поиска внеземных цивилизаций // Внеземные цивилизации. - М.: Наука, 1969.
68. *Стин Э.* «Квантовые вычисления», Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика». - Москва-Ижевск: 2000.
69. *Margolus N., Levitin L.B.* Phys. Comp. 96. T. Toffoli, M. Biafore, J. Leao, eds. (NECSI, Boston) 1996; Physica D 120, 188-195 (1998).
70. *Колин К.К.* Информационный подход как фундаментальный метод научного познания. //Межотраслевая информационная служба, № 1, 1998.
71. *Brukner C., Zeilinger A.* “Conceptual Inadequacy of the Shannon Information in Quantum Measurements", Physical Review A 63: 022113. (2001).
72. *Timpson C.G.* The Applicability of Shannon Information in Quantum. Phil. Sci. 70(5):1233-44, 2002.
73. *Zeh H. D.* The Wave Function: It or Bit? ArXiv:quant-ph/0204088 v2

2 Jun 2002.
74. *Lloyd Seth.* Computational capacity of the universe. arXiv:quant-ph/0110141 v1 24 Oct 2001.
75. *Голицын Г.А, Левич А.П.* Вариационные принципы в научном знании. Философские науки. № 1. М. 2004.
76. *Розенталь И.Л., Архангельская И.В.* Геометрия, динамика, Вселенная. «Едиториал УРСС». М. 2003.
77. *Архангельская И.В., Розенталь И.Л., Чернин А.Д.* Космология и физический вакуум. – М.: КомКнига, 2006. – 216 с.
78. *S. Hsu1, and A. Zee,* Message in the Sky. arXiv:physics/0510102 v2 6 Dec 2005.
79. *D. Scott_ and J. P. Zibin.* The Real Message in the Sky. arXiv:physics/0511135 v1 15 Nov 2005.
80. *Ландау Л.Д., Лившиц Е.М.* Квантовая механика. Нерелятивистская теория. Наука. Москва, 1974.
81. *Дирак П.* Принципы квантовой механики. Физматгиз, Москва, 1960.
82. *Садбери А.* Квантовая механика и физика элементарных частиц. – М.: Мир, 1989.
83. *Борисов А. В.* Основы квантовой механики. Учебное пособие. - М.: Изд-во физического факультета МГУ, 1999.
84. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс Э.* «Фейнмановские лекции по физике, т. 8, 9, «Мир», Москва, 1967, 1968.
85. *Тарасов Л.В.* Основы квантовой механики. «Высшая школа», Москва, 1978.
86. *Стратонович Р.Л.* Теория информации. – М.: Советское радио, 1975.
87. *Чернавский Д.С.* Синергетика и информация. "Наука" Москва. 2001.
88. *Биллингсгей П.* Эргодическая теория и информация. «Мир», Москва, 1969.
89. *Колмогоров А.Н.* Три подхода к понятию количества информации. Проблемы передачи информации, 1965 – Вып. 1 – Т.1 –с. – 3-11.
90. *Чисар И., Кернер Я.* Теория информации. Москва. Мир. 1985. 400с. с. 27.
91. *Кульбах С.* Теория информации и статистика. Москва. Наука. 1967. 408 с. с. 33.
92. *И. М. Гельфанд.* Лекции по линейной алгебре. М., "Наука", 1999.

93. *Манита А. Д.* Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие. -- М.: Издат. отдел УНЦ ДО, 2001. -- 120 с.
94. Физический энциклопедический словарь. Т. 3. «Советская энциклопедия». Москва.
95. *Митюгов В.В.* Физические основы теории информации, «Сов.радио», М., 1975г.
96. *Нильсен М., Чанг И.* Квантовые вычисления и квантовая информация. «Мир», Москва, 2006. 822
97. *Берд К.* Инфо-космо-логия. Компьютерра. № 20. 2004.
98. Нелипа Н.Ф. Физика элементарных частиц. Высшая школа. Москва, 1977.
99. *Хуанг К.* Кварки, лептоны и калибровочные поля. Мир. Москва, 1985.
100. *Гоппа В.Д.* Введение в алгебраическую теорию информации. “Наука”. Москва, 1995.
101. *Коккеда Я.* Теория кварков. Мир. Москва. 1971. (Kokkedee J.J.J. The quark model. University of Nijmegen. The Netherlands. W.A.Benjamin,inc., New York – Amsterdam. 1969.
102. *Хелзен Ф., Мартин А.* Кварки и лептоны. Введение в физику частиц. Мир. Москва. 1987.
103. *Б.С. Ишханов, Э.И. Кэбин*. Физика ядра и частиц. XX век. М., 2000.
104. *Б.С. Ишханов, Э.И. Кэбин*. Шпаргалка для отличника http://nuclphys.sinp.msu.ru/spargalka/
105. Таблица Менделеева. http://www.xumuk.ru/tm.html.
106. *Кардашев Н.С.* Космология и проблемы SETI. АКЦ ФИАН. Материалы конференции "SETI-XXI". 2002. http://www.astronet.ru/db/msg/1177502.
107. *Сахаров А. Д.* Нарушение CP-инвариантности. C-асимметрия и барионная асимметрия Вселенной // Письма в ЖЭТФ. - 1967. - Т.5, вып.1. - С.32-35.
108. *Новиков И.Д., Фролов В.П.* Физика черных дыр. Наука. Москва. 1986.
109. Черные дыры/выпуск 169. 19-30 сентября 2007. http://xray.sai.msu.ru/~polar/sci_rev/bh.html.
110. Излучение Хокинга. http://en.wikipedia.org/wiki /Hawking_radiation.
111. Июньский гамма-всплеск не желает вписываться в теорию. http://elementy.ru/news/430418.

112. http://crydee.sai.msu.ru/~mir/Star_Life.site/Structure/Star_models/Dwarfs/wdmod.htm
113. *Шапиро С., Тьюколски.С.* Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды. Физика компактных объектов в двух частях. Мир. Москва. 1985. 256с., 257-656 с.
114. Гамма-излучение.http://elementy.ru/posters/ spectrum/gamma.
115. *Томилин К. А.* Планковские величины. 100 лет квантовой теории. История. Физика. Философия. Труды международной конференции, М.: НИА-Природа, 2002, с.105-113.
116. *Лесков С.* Найдено место для Бога. http://pda.inauka.ru/analysis/article60920.
117. *Зельдович Я.Б., Новиков И.Д.* Строение и эволюция вселенной. М. Наука , 1975.
118. *Зельдович Я.Б.* Возможно ли образование Вселенной "из ничего"? Природа. №4. 1988. http://vivovoco.rsl.ru/VV/ PAPERS/NATURE/ ZELD/ZELDOVICH.HTM.
119. *Бухбиндер И. Л.* Фундаментальные взаимодействия. Соросовский образовательный журнал. N 5. 1997г.
120. ККМ матрица смешивания. http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%9A%D0%9C_%D0%BC%D0%B0%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%86%D0%B0.
121. *Замиралов В.С.* Основные понятия теории групп и их представлений и некоторые приложения к физике частиц. http://nuclphys.sinp.msu.ru/thgr/index.html#c.
122. Введение в физику элементарных частиц. Часть II. 2005 . Кафедра физики элементарных частиц физического факультета МГУ. http://hep.msu.dubna.ru/main/file.php/41/L9-9.doc.
123. Фундаментальные физические постоянные (1998). УФН. Март 2003. Т.173, №3.
124. *Иванов И.* Стандартная модель выдержала еще одну проверку. 30.05.05. http://elementy.ru/news/25660.
125. *Ali A. (DESY), Борисов А. В., Сидорова М. В.* (МГУ). Редкие распады псевдоскалярных мезонов в теориях, обобщающих стандартную модель. " Физика фундаментальных взаимодействий" (ИТЭФ, 5.12.05).
126. *Долгов А.Д., Зельдович Я.Б., Сажин М.В*. Космология ранней Вселенной. Издательство Московского университета. 1988. 199 с.
127. *Постнов К.А.* Лекции по Общей Астрофизике для Физиков. Раздел 12. Курс кафедры астрофизики и звездной астрономии "Об-

щая астрофизика" (для студентов физического факультета). http://www.astronet.ru/db/msg/1170612/index.html.

128. Гуревич Л.Э., Чернин А.Д. Происхождение галактик и звезд. «Наука», М.,1983.
129. Линде А.Д. «Физика элементарных частиц и инфляционная космология». Наука. Москва, 1990.
130. Linde A. Inflationary Cosmology. arXiv:0705.0164v2 [hep-th] 16 May 2007. http://arxiv.org/abs/0705.0164v2. 60 p. (p. 11),
131. Линде А. Инфляция, квантовая космология и антропный принцип. http://www.astronet.ru/db/msg/1181084/index.html.
132. Википедия, http://ru.wikipedia.org/wiki/.
133. Новиков И.Д. Эволюция Вселенной. «Наука», М., 1990. 192 с.
134. *Черепащук А. М., Чернин А. Д.*. Вселенная, жизнь, черные дыры. Издательство: Век 2, Фрязино. 2004.
135. *Блюменфельд Л.А.* Информация, термодинамика и конструкция биологических систем. (МГУ им. М.В.Ломоносова). Опубликовано в Соросовском образовательном журнале, N 7, 1996г. http://astronet.ru/db/msg/1176261/index.html.
136. *Соколов И.А.* О методологии исследований. Предисловие к книге «Законы информатики – основа строения и познания сложных систем». Издание второе уточненное и дополненное. М. «Торус Пресс».2007.
137. *Ландау Л.Д., Лившиц Е.М.* Статистическая физика. Наука. Москва, 1964.
138. *Ehrenfest P.* – Ann. Phys., 1920, Bd 61, S. 440.
139. *Эренфест П.* Относительность. Кванты. Статистика. Москва. Наука. 1972. с. 477.
140. *Горелик Г.Е.* Почему пространство трехмерно: Наука. Москва. 1982. 168 с. (с. 75-77).
141. *Васильев А.Н.* Эволюция Вселенной. С-ПбГУ. http://www.astronet.ru:8101/db/msg/1210286.
142. *Гуревич И.М., Литвак И.И., Шахова Н.А.* Некоторые соотношения между ошибками измерений, возникающими при передаче результатов измерений по каналу с ограниченной пропускной способностью. Труды РИАН СССР, № 4. Москва. 1974.
143. *Ландау Л.Д., Лившиц Е.М.* Теория поля. Наука. Москва, 1967. 460с.

144. *Фок В.А.* Теория пространства и времени и тяготения. Государственное издательство технико-теоретической литературы. Москва. 1955. 504с.
145. *Фролов В.П.* Гравитация, ускорение, кванты. «Знание». Москва. 1988. 64 с.
146. *A. Garrett Lisi.* Quantum mechanics from a universal action reservoir. 0605068v1 [physics.pop-ph] 8 May 2006. February 2, 2008.
147. *Erik Verlinde.* On the Origin of Gravity and the Laws of Newton. arXiv:1001.0785v1 [hep-th] 6 Jan 2010. Institute for Theoretical Physics University of Amsterdam/ Valckenierstraat 65. 1018 XE, Amsterdam. The Netherlands.
148. *Lee Smolin.* Newtonian gravity in loop quantum gravity. 1001.3668v1 [gr-qc] 20 Jan 2010. Perimeter Institute for Theoretical Physics, 31 Caroline Street North, Waterloo, Ontario N2J 2Y5, Canada. January 21, 2010.
149. *Jarmo Makela.* Notes Concerning ”On the Origin of Gravity and the Laws of Newton” by E. Verlinde. 1001.3808v1 [gr-qc] 21 Jan 2010. Vaasa University of Applied Sciences, Wolffintie 30, 65200 Vaasa, Finland.
150. *Rong-Gen Caia, Li-Ming Caob, and Nobuyoshi Ohta*. Friedmann Equations from Entropic Force. arXiv:1001.3470v1 [hep-th] 20 Jan 2010. Key Laboratory of Frontiers in Theoretical Physics, Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences, P.O. Box 2735, Beijing 100190, China Department of Physics, Kinki University, Higashi-Osaka, Osaka 577-8502, Japan.
151. *Lorenzo Maccone*/ A quantum solution to the arrow-of-time dilemma. arXiv:0802.0438v3 [quant-ph] 25 Aug 2009. QUIT, Dip. A. Volta, 27100 Pavia, and Institute for Scientific Interchange, 10133 Torino, Italy.
152. *Сейфуль-Мулюков Р.Б.* Нефть – углеводородные последовательности: анализ моделей генезиса и эволюции. «11-й ФОРМАТ. Москва. 2010. 176 с.
153. *Теряев Е.Д., Филимонов Н.Б.* Наномехатроника: состояние, проблемы, перспективы // Мехатроника, автоматизация, управление. - 2010. - № 1. - С. 2-14.
154. *Дрекслер К.Э.* Машины создания. Грядущая эра нанотехнологии.
http://filosof.historic.ru/books/item/f00/s00/z0000328
155. *Эрлих Г. В.* Мифы нанотехнологий. 4 июня 2010,

http://www.nanometer.ru/2010/06/04/12756380321857_214259.html
156. *Гуревич И.М.* Оценка объема неопределенности (информации) в элементарных частицах, атомах и молекулах/И.М. Гуревич//Вестн. СевНТУ. Сер. Физика и математика: сб.научн.тр.- Севастополь, 2009. - Вып. 99.- С.121-129.
157. Атом водорода. http://ru.wikipedia.org/wiki.

Summary

1. Information methods for research of laws and properties of Nature

Along with matter and energy the Universe contains, includes information. Information is an integral part of the Universe. Each physical system along with physical characteristics has information characteristics. Information is linking inseparably with matter and energy. Scientists while studying physical characteristics and physical laws at the some time study informational characteristics and informational laws. The fundamental results were obtained by the outstanding scientists: Einstein A., Neumann M., Shannon C., Wheeler J., Janes E., Brillouin L., Everett. H., Zeilinger A ., … The main result of the author's studies consists of informatics laws formulation and the fact that informatics laws are more general, than physical laws. The research of complex systems, including physical systems, is carried in context of informatics laws. Informatics laws define, limit physical phenomena and processes. Informatics laws precede physical laws. The number of scientists using the information approach and information methods in physical researches quickly increases.

The starting positions. Information as phenomenon is physical heterogeneity. Information characteristics of heterogeneity are: Shannon's information entropy, information divergence, joint entropy, communication information. The informatics laws of Nature are: the law of simplicity of complex systems;. the law of uncertainty (information) conservation; the law of finiteness of complex systems characteristics; W. Ashby's law of necessary variety and. the theorem of K. Gödel. A. Zeilinger's main principle of quantum mechanics is: elemental physical systems contain (carry) one bit of information.

The law of finiteness of complex systems characteristics and W. Ashby's principle of necessary variety impose restrictions on topology and symmetry of the Universe: time is one-dimensional Euclidean space. Space is three-dimensional Euclidean space. The Universe is four-dimensional pseudo-Euclidean space. The laws of simplicity of complex systems and information conservation impose restrictions on physical transformations of space-time and transformation of internal symmetry: jacobian transformations are equal to 1. Transformations are linear. Equality to one of the determinants of linear transformation defines, that

among the space-time transformations only translations and own rotations are physically possible. Irreversibility of time, not the own rotations, reflexions are forbidden and physically can not be possible. Equality to one of the determinants of linear transformation defines, that among transformations of internal symmetry, only unimodular transformations are physically possible.

Restrictions on the space-time symmetry define physical laws of conservation. Time is homogeneous. Space is homogeneous, isotropic and flat. The homogeneity of time defines the law of energy conservation. The homogeneity of space defines the law of impulse conservation. Isotropic spaces define the law of impulse momentum conservation. The principle of field interaction imposes restrictions on interaction process. The interaction of particles is realized by interaction of corresponding fields. A particle «does not need to know interaction laws because it should feel the field».

The laws of simplicity of complex systems and information conservation allow to select the simplest models that describes the Universe. The Universe is identical to Metagalaxy; the Universe is a homogeneous object, the Universe is an isotropic object, the Universe is a flat object. Increase in the scale factor of inflationary expansion of the Universe makes approximately $\approx 10^{45}$ times.

. It is shown, that the estimations of the joint entropy of electroweak interaction mixing matrix, according to different independent experimental data, are equal to the estimations of the joint entropy of mixing matrix of quarks. It testifies to the uniform informational and physical nature of strong and electroweak interaction.

The basic information principles of quantum mechanics construction are defined taking into account Zeilinger's principle.

Necessity of using together the law of energy conservation and the law of uncertainty (information) conservation is defined.

Hawking's formula for the black holes (information spectrum of radiation) is deducted. The formula for the information spectrum of radiation of neutron stars and white dwarfs is deducted.

The existence of several types of substance with different dependence of information content I from mass M is disclosed, including, linear for usual substance and for dark substance $I \propto M$, square for black holes $I \propto M^2$, linearly-logarithmic for neutron stars and white dwarfs $I \propto M \log_2 M$, zero for dark energy $I \equiv 0$.

Consumption of energy (mass) for the creation of microinformation and classical information (remembered, played back) for different types of matter is determined.

The standard model of the Universe expansion stipulates the decrease of mass of usual substance. At the Universe expansion with acceleration the mass of usual substance in the beginning decreases, reaches a minimum, and then increases.

Existence of optimal black holes is determined. Optimal black holes minimise the volume of information in a part of the Universe, and the Universe as a whole. Characteristics of optimal black holes are researched.

The structure of the Universe with the information minimum is determined. Limitations on the volume of information in the Universe are defined.

The procedure for the estimation of information volume of physical objects consists of the following. At first the volume of information in the lower level objects is estimated – the fundamental particles (leptons and quarks). According to Zeilinger's principle, we consider, that in the lower level objects one bit of information contains. Further on the volume of information in the objects of the second level is estimated. It is equal to the total of the information volume of objects of lower level plus the volume of information contained in the structure of objects of the second level of hierarchy (mesons, baryons). The volume of information in the structure of objects of the second level is estimated on the wave function of the objects of the second level. The volume of information in objects of following levels is similarly estimated.

The use of holographic principle is not required at the author's approach for the estimation of information volume in physical systems.

Direct estimates of information content in physical systems are given.

It is shown, that the space uncertainty (information) on the particle layout in space spots the Newtonian gravitational potential (the first derivative of information on radius), strength of gravitational field (the second derivative of the information on radius): the type of gravitational potential is $\propto 1/r$, the type of strength of gravitational field is $\propto 1/r^2$. The same is true for Coulomb interaction potential and field intensity strength of Coulomb interaction.

To the four types of interaction such as gravitational, electromagnetic, strong and weak which are known one more must be added - information interaction.

. The information models of cosmological objects (black holes, neutron stars, white dwarfs, stars of solar type) are developed. The method is developed and the estimate of information volume in cosmological objects is recieved.

.The informational limitations on forming and merging of black holes is received.

Existence of initial discontinuities of the Universe (with the use of information divergency) is proved. The estimation of initial discontinuities of the Universe's mass is given.

Expansion of the Universe from initial heterogeneity generates new heterogeneity (information). The Universe expansion is the reason and source of information formation. Various physical processes in the expanding Universe form information.

. The curvature of the Universe also generates heterogeneity (information).

It is shown, that the volume of information, shaped in a frame of reference, moving with acceleration, is equal to $I = -\log_2 J = -\log_2 \sqrt{1 - ax / c^2} \approx ax / c^2$. Where J-jacobian, a-acceleration, x-coordinate, c-speed of light. We will pay attention to analogy to the effect Unru. Appearance of thermal radiation in an accelerated frame of reference in the absence of this radiation in a counting inertial system is the appearance of additional information in an accelerated frame of reference in the absence of this information in a counting inertial system.

From the informational point of view the necessity of physical systems description (quantum mechanics) by means of nonclassical probabilistic logic is defined.

It is shown, that in all possible Universes the informatics laws and following from them physical conservation laws operate.

The logic structure of nature's laws governs the stages of the Universe's emergence and development. From two events in the Universe life there is earlier that event, which logically precedes the other. During the initial moments of time information laws of nature operated. The information laws either have been set in initial "design" of the Universe, or were contained in initial heterogeneity of the Universe, or have been set from the outside of the Universe.

Expansion of the Universe from the initial heterogeneity has generated heterogeneity (information): various types of interaction; various types of

particles and fields corresponding to them; various types of atoms, molecules; various types of stars, planets; Life, …

The estimates of the main informational characteristics of the Universe are given.

2. Information in our Universe

Information is inseparably linked with matter and energy. Information is physical heterogeneity steady for certain time, heterogeneity of matter and energy. The energy necessary for formation of one bit of microinformation is equal to $E_{bit} = kT \ln 2$. The mass necessary for formation of one bit of the microinformation is equal to $m_{bit} = kT \ln 2 / c^2$. The values of energy and mass of the carrier of 1 bit of microinformation are resulted at temperatures 3K (300K). The minimum energy for 1 bit is equal to 4,14199 10^{-21} joule. The minimum mass for 1 bit is equal to 4,6 10^{-40} (4,6 10^{-38})kg. On the average in atoms $\approx 1,69 \cdot 10^{-28}$ kg of mass of substance is used for 1 bit of information (for example, in atom of hydrogen $\approx 1,6 \cdot 10^{-28}$ kg is used, in atom of lithium - $\approx 1,93 \cdot 10^{-28}$ kg). It is approximately by $\approx 10^{12}$ times more than the mass necessary for formation of one bit of microinformation.

The reason and source of information formation is expansion of the Universe and initial heterogeneity. At symmetry infringement between weak and electromagnetic interactions in the Universe 10^{90} bits is formed. The information mechanism of particles formation in the inflationary Universe generates the quantity of particles, comparable with the standard estimation of the number of particles in the Universe, - an order of 10^{80} - 10^{90}. The minimum possible volume of information in the Universe with prevalence of substance is $\approx 1,7 \cdot 10^{79}$, in the Universe with prevalence of radiation is $\approx 10^{91}$ bits. The greatest possible volume of information in the Universe is $\approx 10^{120}$ bits. The growth of information volume at sedate expansion of the Universe is $\propto \log_2 t$. Reduction of density of information at sedate expansion of the Universe is $\propto (\log_2 t) / t^2$. The growth of information volume at inflation expansion of the Universe is $\propto \alpha t$.

Reduction of density of information at inflation expansion of the Universe is $\propto te^{-3\alpha t}$.

Information volume in some fundamental, elementary particles and atoms. Fundamental particles are the most simple physical systems (elementary systems by Zeilinger A.).

There is 1 bit in a lepton.

There is 1 bit in a quark.

One photon with circular polarisation contain 1 bit.

One photon, Z^0 -bozone - products of electroweak interaction contains 0,78 bits.

Elementary particles represent physical systems of the second level of complexity.

There are 9,422 bits in a proton, a neutron (taking into account the volumes of information in the structure of proton, neutron, information in quarks, colors of quarks).

Atoms represent physical systems of the third level of complexity.

There are 11,422 bits in the atom of hydrogen (1st element) - (taking into account the volumes of information in the structure of atom, in proton and in electron).

There are 39,688 bits in the atom of helium (2nd element).

There are 109,642 bits in the atom of carbon (6th element) .

There are 544,21 bits in the atom of iron (26th element).

There are 2334,436 bits in the atom of uranium (92nd element).

In the above-mentioned cases the structure of atoms and external uncertainty electrons is not considered.

The estimations of the joint entropy of electroweak interaction mixing matrix (1,7849; 1,7787; 1,7645; 1,7945) according to different independent experimental data, are close to the estimations of the joint entropy of quarks mixing matrix (1,7842, 1,7849).

Information volume in stars. The Sun contains $\approx 1,3 \cdot 10^{58}$ bits.

The White dwarf with the mass of solar mass contains $\approx 1,24 \cdot 10^{59}$ bits.

The Neutron star of solar mass contains $\approx 2,38 \cdot 10^{59}$ bits.

Information volume in black holes. The Plank's black hole contains one nut of information, thereby it is possible to consider nut as one Plank's information unit (one bit is Shannon's information unit).

Existence of matter of two types: with square-law and linear dependence the volume of information on mass is the source, reason of

existence of the optimal black holes which minimize information volume in any region of the Universe and in the Universe as a whole.

Information and mass volumes, received at the decision of the direct problem (Minimization of volume of information in the system «usual substance – black hole» at the set mass of system) and the dual problem (maximization of mass of the system «usual substance – black hole» at the set volume of information in the system), coincide.

There are $\approx 10^{62}$ bits in the optimal black hole generated in the system «radiation (photons) - black hole» at the temperature of radiation - 2,7K. There are $\approx 2,57 \cdot 10^{38}$ bits in the optimal black hole generated in the system «hydrogen (protons) - black hole».

At the temperature of radiation $T = m_p c^2 / 9,422k \ln 2 = 1,555 \cdot \mathrm{E} + 12$ K (at the time from «the big explosion» of the Universe 10^{-5}) the mass of the optimal black holes which have arisen in the systems «radiation - black hole», is equal to the mass of the optimal black holes which have arisen in the systems «hydrogen (protons) - black hole». In transition from «the Universe with prevalence of radiation to the Universe with prevalence of substance (10^4K> T> 10^3K) the mass of the optimal black hole in the system « radiation - black hole» varies from 2,45 10^{+19}kg to 2,45 10^{+20}kg.

The masses of the optimum black holes shaped of various types of atoms of usual substance or mixture of various types of atoms of usual substance, and information contents in them are approximately identical.

The black holes of solar mass contain $\approx 7,72 \cdot 10^{76}$ bits.

The black holes with the mass of one million solar contain $\approx 7,72 \cdot 10^{94}$ bits.

The black holes in centers of galaxies contain $\approx 10^{90} - 10^{107}$ bits.

Information volume in galaxies. In the galaxies having 10^{11} of stars, there are about 10^{69} bits. In the galaxies having 10^{11} of stars and containing in kernels super massive black holes with the mass of $\approx 10^{6} - 10^{10}$ of solar mass, there are $\approx 10^{99} - 10^{107}$ bits.

Information dependence of temperature of radiation on mass. For a black hole the dependence of temperature on mass (S. Hawking's spectrum) looks like $T = (\hbar c^3 \ln 2) / (4\pi GMk)$. For a neutron star the

dependence of temperature on mass (an information spectrum) looks like $T = (m_n c^2) / k(9,422 + \log_2 M / m_n)$.

Information restrictions at creation of black holes from stars. The mass of the black hole formed from the star of the sun's type is no more than $\approx 8 \cdot 10^{20}$ kg. The mass of the black hole formed from the white dwarf of solar mass is no more than $\approx 2,5 \cdot 10^{21}$ kg. The mass of the black hole formed from the neutron star of solar mass is no more than $\approx 4,17 \cdot 10^{21}$ kg.

Note. The black hole at formation uses only part of mass. Other mass in the form of usual substance dissipates in surrounding space and other objects can be formed of it.

Information restrictions at the merge of black holes. At the merge of two black holes having the mass M_1 M_2, without the use of additional usual substance, the mass of the resulting black hole is less, than $\sqrt{M_1^2 + M_2^2}$.

At the merge of two black holes having the mass M_1 M_2, with the use of additional usual substance, the mass of the resulting black hole is more than $\sqrt{M_1^2 + M_2^2}$.

Classical information. Nitrogenous basis contains $\log_2 4 = 2$ bits of the classical information (macroinformation). Amino acids contain $\log_2 20 = 4,32$ bits of the classical information.

For 1 bit of information formed by amino acids and nitrogenous basis it is needed 4,43E-25 and 1,05E-25kg of mass.

Redundancy of classical information formed by life, in relation to micro information at the temperature of 300K is by factor of $\approx 10^{13}$ times more.

Proteins and DNA for formation of 1 bit of information use mass by three orders more than atoms. Hence, life is effective way of classical information formation.

Redundancy of classical information generated by modern civilization, in relation to microinformation is by factor of $\approx 10^{23-25}$ times more.

Efficiency of nature in formation of classical information exceeds efficiency of person, a terrestrial civilization by $\approx 10^{10}$ times.

Proteins of yeast contain about 2000 bits of classical information.

One chromosome of a person contains $(1-5)\cdot 10^{8}$ bits of classical information.

One person contains $\approx 10^{26}$ bits of classical information.

Biomass of the Earth contains about 10^{40} bits of classical information. If 100 % of the Earth's mass is used for formation of live substance it will generate about 10^{50} bits of classical information.

If 1 % of the Universe's mass is used for formation of live substance it will generate approximately 10^{75} bits of classical information.

The greatest possible volume of classical information in the Universe is $\approx 10^{77}$ bits.

$10^{40}-10^{77}$ bits is a range of possible volume of classical information in the Universe, defined by the data known now.

Volume of classical information formed by terrestrial civilization is $<10^{30}$ bits/year. Parity of volumes of information in the Universe in a year, generated by matter and civilization is $\approx 10^{-49}$. The share of information formed by civilization on one star system is equal to 10^{-27}. It shows, that now the contribution of terrestrial civilization to information formation of the Universe is insignificant.

Cognitive process of the Universe. The Universe, information volume of which is finite, is effective and completely knowable [9].

The subject of cognitive process is classical object (for example, terrestrial civilization).

In the course of the Universe cognitive process compression of information is not less, than $\approx 10^{20}$ times and no more, than $\approx 10^{76}$ times.

The gravitation Law, in particular, compresses the information not less than by factor of $4\cdot 10^{183}$ times.

Interpretation of cognitive process by methods of quantum mechanics (the description and measurement) on the basis of information parities is possible. The knowledge is carried out through a hypothetical information channel - «the knowledge channel of nature». The limited throughput of "the knowledge channel of nature» defines as impossible "exact" (in classical sense) descriptions and measurements of quantum objects.

Increasing accuracy (uncertainty) of the description/measurement of one of the components, observer is compelled to reduce accuracy (uncertainty) of the description/measurement of the other component.

Information unity of all possible Universes. As heterogeneity should exist in the universes with any physical laws the approach which is based on information properties of heterogeneities of any nature and corresponding information laws and restrictions, and also physical laws of conservation following from them, such approach extends on all possible Universes. Thereby, physical laws of conservation and information restrictions on other possible physical laws in different Universes are identical. Does it mean that all of possible Universes are identical?

3. Conclusion

The works of the author and foreign scientists (American, Canadian, European, Chinese …) are confirming primacy of informational laws: informational laws (informatics laws) define and restrict physical laws.

Informatics laws have general, universal character, operate in all possible universes, even in the Universes with different physical laws.

The given data show, that the priority use of informational methods of physical systems research belong to the author, though the last results of foreign scientists are very interesting and important.

Informatics laws together with the physical laws will allow to open all secrets of nature, in particular, to construct the theory of quantum gravitation.

СОДЕРЖАНИЕ

Наименование раздела	Стр.
1. Введение	4
2. Информационные характеристики, определяемые на физических системах	6
3. Информационная энтропия – характеристика наблюдаемых и состояний квантовых систем, мера сложности систем	13
4. Информационная дивергенция – мера неоднородности	18
5. Совместная информационная энтропия – характеристика унитарных преобразований	25
6. Информация связи – характеристика взаимодействия сцепленных (запутанных) систем	34
7. Законы информатики - информационные основы исследования физических систем	36
8. Оценка объема информации в физических системах	45
9. Оценка объема информации в космологических объектах	67
10. Расширение Вселенной – причина и источник формирования информации	100
11. Информационное взаимодействие – пятый вид фундаментальных взаимодействий	103
12. Совместная энтропия матриц смешивания	111
13. Начальные неоднородности Вселенной	117
14. Оптимальные черные дыры	127
15. Жизнь как эффективный способ формирования классической информации	142
16. Атомы, молекулы и фундаментальные ограничения на информационные характеристики систем	148
17. Информационные основы строения и познания физических систем и Вселенной в целом	162
18. Заключение	222
Приложение 1. Информационные методы исследования физических систем: обзор первых результатов	225
Приложение 2. Использование законов информатики для исследования свойств и генезиса нефти	232
Литература	237
Summary	248

CONTENTS

The part name	Стр.
1. Introduction	4
2. The information characteristics defined on physical systems	6
3. Information entropy: the characteristic obserables and states of quantum systems, a measure of complexity of systems	13
4. Information divergence: a heterogeneity measure	18
5. Joint information entropy: the characteristic of unitary transformations	25
6. The communication information: the characteristic of interaction of the linked (entanglement) systems	34
7. Informatics laws: information bases of research of physical systems	36
8. Estimation of information volume in physical systems	45
9. Estimation of information volume in cosmological objects	67
10. Universe expansion: the reason and a source of information formation	100
11. Information interaction: the fifth type of fundamental interactions	103
12. Joint entropy of mixing matrixes	111
13. The initial heterogeneity of Universe	117
14. Optimal black holes	127
15. Life as an effective way of the classical information formation	142
16. Atoms, molecules and fundamental restrictions on information characteristics of systems	148
17. Information bases of a structure and cognition of physical systems and Universe as a whole	162
18. The conclusion	222
The application 1. Information methods of research of physical systems: the review of the first results	225
The application 2. Use of informatics for research of oil properties and genesis	232
Literature	237
Summary	248

Научное издание

Гуревич Игорь Михайлович

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Издание второе уточненное и дополненное

Подписано в печать 2010г. Заказ №
Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать офсетная. Усл.печ.л.

Отпечатано в типографии «Кипарис»
г. Севастополь ул. Гидрогрфическая , 10
тел.: +38 0692 52-62-60, (499) +38 0502 985-91-71

ISBN 978-5-902030-93-5

Все вопросы и замечания по содержанию книги
направлять по электронному адресу
iggurevich@gmail.com