

Фундаментальные Физические Постоянные И Их Стабильность

Коржавов Мустафа Жавлиевич¹

Аннотация: С физическими константами мы встречаемся в физических экспериментах и теориях, описывающих устойчивость различных процессов и типов материи. В данной статье рассматривается важность констант, их независимое появление в разных измерениях и их взаимозависимость в пределах достигнутой сегодня точности измерений, а также их стабильность.

Ключевые слова: Физические константы, электрон, скорость света, элементарный заряд, постоянная Авогадро, стабильность, механический эквивалент тепла.

ВВЕДЕНИЕ. В физических теориях, физических законах мы встречаемся с константами, которые характеризуют стабильность различных типов процессов и видов материи. Эти константы важны, так как они проявляются независимо в разных ситуациях и имеют одно и то же значение, по крайней мере в пределах тех точностей измерения, которые достигнуты сегодня. Более того, на данный момент они не могут быть вычислены через другие величины. Именно поэтому они называются фундаментальными физическими постоянными (ФФП). Строго определить это понятие и набор констант не представляется возможным, потому что константы, в основном размерные, присутствуют в определенных физических теориях. В процессе научного прогресса некоторые из этих теорий заменяются более общими со своими константами. При этом обычно возникают соотношения между старыми и новыми константами. Поэтому мы можем говорить не об абсолютном наборе ФФП, а только о наборе, соответствующем современному уровню науки.

Анализ литературы. Фундаментальными физическими постоянными являются константы, дающие информацию о наиболее общих, основополагающих свойствах материи. В настоящее время к фундаментальным постоянным относят следующие.

Гравитационная постоянная $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{Н} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{кг}^2}$: – количественная характеристика универсального, присущего всем объектам Вселенной взаимодействия – тяготения.

Скорость света $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$: –максимально возможная скорость распространения любых взаимодействий в природе.

Элементарный заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$: минимально возможное значение электрического заряда, существующего в природе в свободном состоянии.

Постоянная Планка $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$: –определяет минимальное изменение физической величины, называемой действием, и играет фундаментальную роль в физике микромира.

Масса покоя электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$: –характеристика инерционных свойств легчайшей стабильной заряженной элементарной частицы. Кроме электронов, основными структурными элементами вещества Вселенной являются протоны и нейтроны, поэтому их характеристики – массы покоя m_p и m_n , магнитные моменты μ_p и μ_n , время жизни нейтрона $\tau_n \approx 10^3 \text{ с}$, также считаются фундаментальными физическими постоянными.

¹ И.О.Доцент, Каршинский инженерно-экономический институт



Постоянная Хаббла $H = 50 - 100 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$: – характеристика всей Вселенной, скорости её расширения.

Постоянная Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$: – число структурных элементов (атомов, молекул, ионов) в единице количества вещества – в моле, характеризует структуризацию вещества, его дискретную атомную структуру.

Постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж}/\text{К}$: – связывает макро характеристику системы частиц её температуру T – с микро характеристикой движения составляющих её микрочастиц – их средней кинетической энергией E . Так, средняя кинетическая энергия движения частицы, приходящаяся на одну степень свободы, $E_i = \frac{1}{2}kT$.

Имеется громадное число экспериментальных фактов, свидетельствующих о неизменности фундаментальных физических постоянных во времени. Однако существуют предположения ряда ученых о пределах степени неизменности постоянных. Так, в 1937 г. П. Дирак высказал гипотезу о том, что развитие и расширение Вселенной сопровождаются уменьшением *гравитационной постоянной* G во времени. По расчетам, это уменьшение составляет $\sim 10^{-10}$ гравитационной постоянной за год. Гипотезу Дирака пока проверить прямыми измерениями невозможно, так как достигнутые точности измерений существенно ниже необходимых. Проводятся экспериментальные исследования стабильности протона, масса которого принята за фундаментальную постоянную. Имеются данные, что его *время полураспада* $\tau_p > 10^{31} \text{ лет}$. Очевидно, что степень стабильности фундаментальных констант очень велика. Можно сделать вывод, что наблюдаемые постоянные необратимые изменения Вселенной происходят в рамках, определяемых значениями стабильных фундаментальных физических констант.

Методология исследования. В последние десятилетия основным направлением развития физики является тенденция к объединению четырех известных типов взаимодействий: гравитационного, электромагнитного, слабого и сильного. Действительно, до создания теории электромагнитного и слабого взаимодействий С. Вайнбергом и А. Саламом и разработки некоторых теорий Великого объединения – ТВО, (электромагнитного, сильного и слабого взаимодействий) в качестве набора ФФП рассматривались

$$c, \hbar, \alpha, \alpha_s, \alpha_w, m_p, (\text{или } m_e), \alpha_G, H, \rho, \Lambda, k, I,$$

где c – скорость света в вакууме; $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ – постоянная Планка; $\alpha, \alpha_s, \alpha_w$ и α_G – константы электромагнитного, слабого, сильного и гравитационного взаимодействий; m_p и m_e – массы протона и электрона; H, ρ и Λ – космологические параметры (постоянная Хаббла, средняя плотность материи во Вселенной и космологическая постоянная); k – постоянная Больцмана, I – механический эквивалент тепла.

Наиболее полно и последовательно изучены электромагнитные взаимодействия, которым подвержены все заряженные частицы и фотоны. Переносчик взаимодействия – фотон. Для электромагнитных сил константа взаимодействия численно равна постоянной тонкой структуры $\alpha_e = e^2/\hbar c = 1/137$.

Константы α_w – слабого и α_s – сильного взаимодействий: характеризуют взаимодействие микрочастиц.

Слабое взаимодействие было описано Энрико Ферми в 1934 г. в терминах четырехфермионного контактного взаимодействия, определяемого константой Ферми $G_F = 1.4 \cdot 10^{-49} \text{ эрг} \cdot \text{см}^3$. При очень высоких энергиях вместо фермиевского контактного взаимодействия слабое взаимодействие описывается как обменное, при котором происходит обмен квантом, наделенным слабым зарядом g_w (по аналогии с электрическим зарядом) и действующим между фермионами. Такие кванты были впервые обнаружены в 1983 г. на коллайдере (ЦЕРН). Это заряженные бозоны – W^\pm с массой $m_{W^\pm} = 80 \text{ ГэВ}/c^2$ и нейтральный бозон – Z^0 с массой $m_{Z^0} = 90 \text{ ГэВ}/c^2$. Константы



слабого взаимодействия α_w в этом случае выражается через константу Ферми: $\alpha_w = \frac{m_p^2}{\hbar^3 \cdot c} G_F \approx 1,02 \cdot 10^{-5}$.

Константа сильного взаимодействия α_s в области расстояний ≈ 1 Фм имеет порядок единицы. С уменьшением относительных расстояний константа сильного взаимодействия заметно уменьшается. На расстояниях масштаба 0.1 и 0.001 фм эта константа имеет соответственно следующие значения $\alpha_s(0.1 \text{ фм}) \approx 0.31$, $\alpha_s(0.001 \text{ фм}) \approx 0.105$.

Гравитационное взаимодействие характеризуется гравитационной постоянной $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$, входящей в выражение константы гравитационного взаимодействия $\alpha_G = \frac{Gm_n^2}{\hbar c} = 0,5 \cdot 10^{-38}$, где m_n – масса нуклона. Эта константа имеет очень малую величину для элементарных частиц. Поэтому для массовой шкалы, принятой в физике высоких энергий, гравитационные силы пренебрежимо малы по сравнению с другими фундаментальными взаимодействиями.

Анализ и результаты. Значение средней критической плотности материи во Вселенной ρ_c зависит от значения постоянной Хаббла: $\rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G}$, где H – постоянная Хаббла, G – гравитационная постоянная. При записи критической плотности (и других космологических параметров) часто используют безразмерную постоянную Хаббла h , определённую как $h = H/(100(\text{км/с})/\text{Мпк})$. В этих обозначениях $\rho_c = 1,88 \cdot 10^{-26} \cdot h^2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 1,05 \cdot 10^{-5} \cdot h^2 \frac{\text{ГэВ}}{\text{см}^3}$, причём коэффициенты в этих выражениях не зависят от времени, в отличие от H и h .

Космологическая постоянная – физическая постоянная, характеризующая свойства вакуума, которая вводится в общей теории относительности. Размерность космологической постоянной соответствует размерности обратной площади, или обратному квадрату длины (в СИ – м^{-2}). $\Lambda = 1,0905 \cdot 10^{-52} \text{ м}^{-2}$.

Механический эквивалент теплоты – количество работы, эквивалентное единице количества переданной в процессе теплообмена теплоты (*калории*). Результаты измерений показали, что $1 \text{ кал} = 4,188 \text{ Дж}$. Постоянная Больцмана k играет большую роль в теории информации, термодинамике, проблеме энтропии, теории черных дыр и др.

Фундаментальные постоянные не выводятся из физических теорий, а определяются исключительно путем эксперимента. Хотя делаются попытки их теоретического определения, положительного результата пока нет. Эйнштейн считал, что в идеальной научной картине мира не должно быть произвольных постоянных, не определенных теоретически. После утверждения в 1983 г. нового определения метра, связанного с определенной длиной волны света λ (а не с платино-иридиевым стержнем, как это было ранее) эту роль частично играет также и скорость света c ($\lambda = ct$). Теперь ее можно тоже рассматривать и как переводной множитель между единицами времени (частоты) и длины, так как она определяется с абсолютной (нулевой) погрешностью измерений. Этот набор констант сложился до 70-х годов двадцатого века, когда основной тенденцией было всестороннее изучение отдельных фундаментальных физических взаимодействий.

Точность определения ФФП весьма различна. Наиболее точно измеренной константой была и остается скорость света в вакууме. Когда существовали отдельные эталоны единицы времени и длины (до 1983 г.), она была измерена с погрешностью 10^{-10} . Сейчас она считается (по определению) заданной с нулевой неопределенностью; ее значение – 299792458 м/с .

Микроскопические (атомные) константы e , \hbar , m_e известны с неопределенностью $10^{-7} \div 10^{-8}$, а именно:

значение $e = 1,60217653 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, относительная стандартная неопределенность – $8,5 \cdot 10^{-8}$;

значение $\hbar = 6,6260693 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$, относительная стандартная неопределенность – $1,7 \cdot 10^{-7}$;



значение $m_e = 1.67262171 \cdot 10^{-27}$ кг, относительная стандартная неопределенность – $1,7 \cdot 10^{-7}$;

Наконец, некоторые ФФК или их комбинации могут рассматриваться как естественные масштабы, характеризующие основные единицы физических величин: времени, длины и массы, которые в принципе достаточны для описания всех физических явлений. Такими масштабами могут быть, например, планковские масштабы длины $L \sim 10^{-33}$ см, массы $m_L \sim 10^{-5}$ г и времени $\tau_L \sim 10^{-43}$ с, которые определяются как комбинации в некоторых степенях c , \hbar и G , связанных с основными физическими законами и теориями (Максвелла, СТО Эйнштейна, квантовой теорией и ОТО Эйнштейна). Планковская длина — это масштаб длины, на котором квантовая гравитация становится актуальной. Планковская длина приблизительно равна размеру чёрной дыры, где квантовые и гравитационные эффекты находятся в одном масштабе: длина волны Комптона и радиус Шварцшильда одинаковы.

Важную роль ФФК играют в создании системы единиц измерений и в их реализации – эталонах единиц основных физических величин (кроме эталона k_2), что, в свою очередь, составляет основу современной метрологии. В 1832 г. Гаусс впервые измерил магнитное поле Земли используя десятичную систему, основанную на трех единицах измерения в механике: сантиметре, грамме и секунде (СГС), – которая до сих пор часто используется физиками. Конечно, можно использовать разные системы единиц, что и делается на практике исходя из удобства. Так, в каждой области физики используют единицы, соизмеримые по величине с амплитудой описываемых ею эффектов; например, в астрономии и астрофизике – световой год и массу Солнца вместо метра и килограмма системы СИ, в атомной физике – нанометры, а не метры, в ядерной физике – мегаэлектронвольты (МэВ), а не джоули и т. д. Хотя, как мы уже говорили, систему единиц, предложенную Планком и основанную на универсальных константах c , \hbar и G , можно считать привилегированной, или естественной.

Международная система единиц (СИ) основана на семи основных единицах: метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, моль и кандела. Им соответствуют семь основных величин: длина, масса, время, сила электрического тока, термодинамическая температура, количество вещества и сила света. В октябре 2005 года Международный комитет мер и весов (МКМВ) принял рекомендацию о подготовительных мерах по переопределению в 2011 г. килограмма, ампера, кельвина и моля таким образом, чтобы эти единицы были привязаны к точно известным значениям фундаментальных констант. Предполагается дать новые определения этим четырем основным единицам, связывая их с точно определенными значениями (нулевая неопределенность) постоянной Планка h , элементарного заряда e , постоянной Больцмана k и постоянной Авогадро N_A . Это будет означать, что шесть из семи основных единиц СИ будут определены через истинные природные инварианты. Кроме того, не только эти четыре фундаментальные константы будут иметь точно определенные значения, но и неопределенности многих других фундаментальных физических констант будут либо устранены, либо значительно уменьшены. Даны варианты возможных формулировок четырех новых определений, один из которых следующий:

1. килограмм есть такая единица массы, что постоянная Планка равна точно $6,6260693 \cdot 10^{-34}$ Дж·с;
2. ампер есть такая единица силы электрического тока, что элементарный заряд равен точно $1,60217653 \cdot 10^{-19}$ К;
3. кельвин есть такая единица термодинамической температуры, что постоянная Больцмана равна точно $1,3806505 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;
4. моль есть такая единица количества вещества, состоящего из данных структурных элементов (атомов, молекул, ионов, электронов, любых других частиц или точно обозначенных групп частиц), что постоянная Авогадро равна точно $6,0221415 \cdot 10^{23}$ в моле.

Заключение. Другая проблема, связанная с ФФП, – почему их значения лежат в весьма узком интервале, необходимом для возникновения и существования жизни на Земле (для



стабильности атомов, времени жизни звезд главной последовательности, к которой принадлежит и Солнце, современной температуры Земли, существования океанов и т. п.). Есть несколько возможных и до конца не убедительных объяснений. Во-первых, это чисто случайно, что мы живем именно в таком мире и с такими ФФП, хотя вероятность этого факта ничтожна среди всех возможных наборов констант. Во-вторых, жизнь может существовать, по-видимому, в других формах и для других наборов ФФП, о которых мы не знаем. В-третьих, любые другие наборы ФФП могут реализовываться в других вселенных, кроме нашей. Наконец, что существует некоторый космический процесс тонкой настройки ФФП, приводящий к их современным значениям в течение эволюции, возможно, через прохождение многих циклов развития Вселенной.

Список литературы

1. Korjavov M. J. Kvant fizikasida determinizm tamoilini rad etish //Results of National Scientific Research International Journal. – 2022. – Т. 1. – №. 8. – С. 220-229.
2. Коржавов М. Ж. Проблемы классической физики конца XIX века. Возникновение квантовой теории // "England" Modern psychology and pedagogy: problems and solution. – 2023. – Т. 10. – №. 1.
3. Korjavov M. J. Some Methodological Methods of Solving Issues from Quantum Physics //Texas Journal of Multidisciplinary Studies. – 2022. – Т. 5. – С. 188-192.
4. В.В. Чесноков. Физические основы измерений: учеб. пособие / – Новосибирск : СГГА, 2008. – 101 с.
5. Jovliev S.M. Specialty of technological processes and production automation – profession of the XXI century //ResearchJet Journal of Analysis and Inventions. –2021, May. –Т.2. №.05. –С. 15-19.
6. Коржавов М. Ж. Исследование вероятности электрического E2-перехода в изотопах вольфрама. Modern Scientific Research International Scientific Journal 2023 Volume 1 Issue 7, 31-35 pages. <https://academicsresearch.ru/index.php/MSRISJ/issue/view/99>

