

ВАЖНЕЙШИЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

О СТАТЬЕ Г. ГАМОВА, Д. ИВАНЕНКО И Л. ЛАНДАУ “МИРОВЫЕ ПОСТОЯННЫЕ И ПРЕДЕЛЬНЫЙ ПЕРЕХОД”

© 2002 г. Л. Б. Окунь*

Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва, Россия

Поступила в редакцию 19.11.2001 г.

В этом кратком предисловии объясняется, почему редколлегия ЯФ решила воспроизвести на страницах журнала текст труднодоступной современному читателю статьи трех авторов, опубликованной в 1928 г.; кратко рассказывается история ее написания, прослеживается судьба обсуждаемых в ней вопросов с 1881 до 2001 г. и влияние этой статьи на современную фундаментальную физику.

20 октября 1927 г. в “Журнал русского физико-химического общества при Ленинградском университете: часть физика” поступила статья [1] Георгия Антоновича Гамова (1904–1968), Дмитрия Дмитриевича Иваненко (1904–1994) и Льва Давидовича Ландау (1908–1968) “Мировые постоянные и предельный переход” (в оглавлении журнала дано и название статьи по-немецки: “Über die Weltkonstanten und den Grenzübergang”). Статья была написана в качестве шуточного подарка студентке, за которой все трое молодых друзей ухаживали. (Незадолго до кончины Д.Д. Иваненко я по телефону расспрашивал его об истории написания статьи, но фамилию студентки он вспомнить не смог или не захотел.) В дальнейшем пути авторов разошлись, но ни один из них ни разу не сослался на статью [1] в своих последующих публикациях. Она не была включена и в двухтомник трудов Л.Д. Ландау [2]. Единственный след в творчестве Гамова мировые константы c , G , h оставили в качестве инициалов мистера Томпкинса — героя ряда научно-популярных книг, опубликованных Гамовым.

Но в статье, к которой сами авторы отнесли как к пустяку, содержались весьма серьезные идеи, имевшие глубокие исторические корни, идеи, оказавшие серьезное влияние на дальнейшее развитие фундаментальной физики и продолжающие вызывать споры среди профессиональных физиков-теоретиков и в наши дни.

Первым, кто указал на важность мировых констант, был известный ирландский физик Джордж Джонстон Стони (1826–1911), многолетний секретарь Ирландского Королевского Общества. Он придумал и ввел в физику термин “электрон” и измерил величину элементарного электрического

заряда e . Используя эту величину, а также известные значения скорости света c и гравитационной константы G , Стони предложил [3] естественные (т.е. даваемые самой природой) единицы длины, времени и массы:

$$l_S = e\sqrt{G}/c^2, \quad t_S = e\sqrt{G}/c^3 \text{ и} \\ m_S = e/\sqrt{G}.$$

Выражение для m_S было получено приравнением потенциалов Кулона и Ньютона:

$$\frac{e^2}{r} = G \frac{m_S^2}{r},$$

выражение для l_S — из размерных соображений приравнением, так сказать, “максимальной кинетической энергии” $m_S c^2$ и кулоновской энергии e^2/l_S . Что касается t_S , то очевидно, что оно равно l_S/c . Интересно, что выражение для энергии в виде $m_S c^2$ появилось задолго до теории относительности (по существу оно неявно присутствовало еще в обсуждении черных дыр Лапласом [4]).

Когда в 1899 г. Макс Планк открыл константу h ¹⁾, названную впоследствии его именем, он ввел [5] четыре мировые естественные единицы (длины, времени, массы и температуры), которые в современных обозначениях имеют вид:

$$l_P = \hbar/(m_P c), \quad t_P = \hbar/(m_P c^2), \quad m_P = \sqrt{\hbar c/G}, \\ T_P = m_P c^2/k.$$

Здесь k — известная константа Больцмана:

$$k \simeq 8.6 \times 10^{-5} \text{ эВ/К},$$

K — градус Кельвина.

*E-mail: okun@heron.itep.ru

¹⁾В дальнейшем мы будем говорить об $\hbar = h/2\pi$.

Планк, по-видимому, не знал о единицах Стони, которые, как легко проверить, отличаются от планковских множителем $\sqrt{\alpha}$, где $\alpha = e^2/(\hbar c) \simeq 1/137$. Горячим сторонником единиц Планка был А. Эддингтон [6]. В противовес ему П. Бриджмен [7] считал, что к реальной физике эти единицы отношения не имеют. Дальнейшее развитие физики показало, что правда была на стороне Эддингтона.

В статье [1] авторы возвращаются от планковских единиц к универсальным мировым константам c , G , \hbar и обсуждают логическую структуру будущей единой теории в терминах этих констант. Идеи Гамова, Иваненко и Ландау были подхвачены и развиты в ряде статей их друга Матвея Петровича Бронштейна (1906–1938), расстрелянного во время сталинских репрессий. Бронштейн представил в графическом виде на плоскости классификацию физических теорий [8–10]. Его графическая схема представляла как бы развертку куба. Впервые пространственное изображение куба было опубликовано А. Зельмановым [11, 12] и обсуждалось Г. Гореликом [13] и автором [14].

Если на трех ортогональных осях отложить c (вернее, $1/c$), \hbar и G , то вершина (000) отвечает нерелятивистской механике, $(c00)$ — специальной теории относительности, $(0\hbar 0)$ — нерелятивистской квантовой механике, $(c\hbar 0)$ — квантовой теории поля, $(c0G)$ — общей теории относительности. Наибольший интерес представляет вершина $c\hbar G$, которая отвечает релятивистской квантовой гравитации. Именно здесь сосредоточены в течение последних десятилетий усилия тех многочисленных физиков-теоретиков, которые пытаются построить так называемую “Теорию Всего” (ТОЕ — Theory of Everything). Они надеются, что в рамках этой теории им удастся построить последовательный подход к суперструнам и вычислить многочисленные фундаментальные параметры Стандартной модели (такие как калибровочные константы связи типа α , отношения масс лептонов и кварков и т.д., см., например, [15, 16]).

Недавно к идее куба теорий независимо пришел известный немецкий физик-теоретик Юрг Мартин Фрелих. Свои мысли он изложил в лекции при вручении ему медали Макса Планка [17]. В отличие от описанных выше работ, Фрелих пристраивает к кубу теорий еще четвертое измерение (для константы Больцмана k) и называет полученную конструкцию “Гиперкуб Планка”. По моему мнению, статус k в современной физике коренным образом отличается от статуса c , \hbar или массы Планка. Согласно статистической физике, температура представляет собой среднюю энергию ансамбля частиц. Поэтому k — это пересчетный множитель из электрон-вольт или джоулей в градусы Кельвина. Конечно,

c , G , \hbar также играют роль пересчетных множителей, но для них эта роль второстепенная. Основная роль c — предельная скорость сигналов в вакууме. Когда скорость частицы близка к c , начинает работать теория относительности. Роль кванта действия или углового момента \hbar состоит в том, что в случае, когда эти величины близки к \hbar , вступает в игру квантовая механика. При энергии порядка mrc^2 существенную роль должны играть квантово-релятивистские эффекты в гравитации. Что же касается k , то нет такой физической величины с размерностью k , для которой k является критическим значением. Планк включил k в число четырех фундаментальных констант, поскольку оно входит на равных основаниях с \hbar в отношение $\hbar\omega/kT$ и поскольку сто лет тому назад ни квантовой механики, ни теории относительности еще не было.

В заключение я хотел бы остановиться на еще одной важной роли работы Гамова, Иваненко и Ландау. Читатель, продумавший ее содержание, никогда не сможет согласиться с тем, что международная система единиц СИ [18–21] должна служить в качестве основы для преподавания физики (см. критику этой системы в работах [22–24]).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Г. Гамоу, Д. Иваненко, Л. Ландау, Журн. Русск. физ.-хим. о-ва, ч. физич. **60**, 13 (1928).
2. Л. Д. Ландау, *Собрание трудов* (Наука, Москва, 1969), т. 1, 2.
3. G. J. Stoney, *Philos. Mag. and J. of Science* **11**, 381 (1881).
4. P. S. Laplace, *Exposition du Systems du Monde* (Ed. J. B. M. Duprat, Paris, 1976), Vol. 2, p. 305 [Рус. пер.: П. С. Лаплас, *Изложение системы мира* (Наука, Москва, 1982)].
5. М. Планк, *Избранные труды* (Наука, Москва, 1975), с. 232.
6. A. S. Eddington, *Report on Gravitation*, Proc. Phys. Soc. London **30**, 91 (1918).
7. П. В. Бриджмен, *Анализ размерностей*, пер. со 2-го англ. изд. под ред. С. И. Вавилова (Ленинград; Москва, 1934), гл. 8, с. 105.
8. М. П. Бронштейн, *Успехи астрономических наук*, сб. III (1933), с. 3–30 (особенно с. 25).
9. М. П. Бронштейн, *К вопросу о возможной теории мира как целого*, в кн.: *Основные проблемы космической физики* (ОНТИ, Киев, 1934), с. 186–218 (особенно с. 210).
10. M. Bronshtein, *Phys. Z. Sowjetunion* **9**, 140 (1936).
11. А. Зельманов, *Космология*, в кн.: *Развитие астрономии в СССР* (Наука, Москва, 1967), с. 320–390 (особенно с. 323).
12. А. Зельманов, *Многообразие материального мира и проблема бесконечности Вселенной*, в кн.: *Бесконечность и Вселенная* (Мысль, Москва, 1969), с. 274–324 (особенно с. 302).

13. Г. Е. Горелик, *Размерность пространства* (МГУ, Москва, 1983), гл. 5.
14. L. B. Okun, *Sov. Phys. Usp.* **34**, 818 (1991).
15. S. Weinberg, *Overview of Theoretical Prospects for Understanding the Values of Fundamental Constants*, in *The Constants of Physics*, Ed. by W. H. McCrea and M. J. Rees, Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A **310**, 249 (1983).
16. M. J. Duff, L. B. Okun, and G. Veneziano, *physics/0110060*.
17. J. Fröhlich, *Phys. Blätter* **57**(7/8), 53 (2001).
18. *Symbols, Units, and Nomenclature in Physics: Document U.I.P. 20 (1978)*, International Union of Pure and Applied Physics, S.U.N. Commission.
19. Review of Particle Properties, *Phys. Rev. D* **45** (Pt. II), III.4 (1992).
20. *Обозначения, единицы измерения и терминология в физике: Документ U.I.P. 20 (1978) Союза чистой и прикладной физики*, УФН **129**, 289 (1979).
21. *The NIST Reference on Constants, Units, and Uncertainty*, <http://physics.nist.gov/cuu/Units/inter-national/html>
22. Д. В. Сивухин, УФН **129**, 335 (1979).
23. М. А. Леонтович, *Вестн. АН СССР* **6**, 123 (1964).
24. Л. Б. Окунь, *Физика элементарных частиц* (Наука, Москва, 1988), Приложение I, с. 141.