

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ**НОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ МИРОВЫХ ПОСТОЯННЫХ (1955 г.)**

С 6 по 11 сентября 1956 г. в Турине (Италия) состоялся Международный конгресс по мировым постоянным, который был созван в честь известного итальянского физика Авогадро. В конце прошлого года были опубликованы основные доклады на этом конгрессе в виде дополнительного тома журнала «Nuovo Cimento»¹. Общим вопросам определения констант как теоретическим, так и экспериментальным, было посвящено около двадцати докладов. В двух докладах американских физиков: Дю-Монда (J. W. M. Du Monde) «Современные источники прецизионных универсальных физических констант» и Когена (E. R. Cohen) «Математический анализ универсальных физических констант», связанных между собой, рассматривались физические и математические основы определения мировых констант. В заключение их докладов приведены таблицы новейших значений основных физических констант (стр. 134—139), которые мы здесь воспроизводим.

1. Таблица вспомогательных физических констант

Волновое число Ридберга для бесконечной массы

$$R_{\infty} = (109\,737,309 \pm 0,012) \text{ см}^{-1}.$$

Волновые числа Ридберга для легких ядер

$$R_H = (109\,677,576 \pm 0,012) \text{ см}^{-1},$$

$$R_D = (109\,707,419 \pm 0,012) \text{ см}^{-1},$$

$$R_{^3\text{He}} = (109\,717,345 \pm 0,012) \text{ см}^{-1},$$

$$R_{^4\text{He}} = (109\,722,267 \pm 0,012) \text{ см}^{-1}.$$

Скорость света

$$c = (299\,793,0 \pm 0,3) \text{ км/сек.}$$

Атомная масса нейтрона

$$M_n = 1,008982 \pm 0,000003 \text{ (физическая шкала).}$$

Атомная масса водорода

$$H = 1,008142 \pm 0,000003 \text{ (физическая шкала).}$$

Отношение атомных масс водорода и протона

$$H/M_p = 1,00054461 \text{ (при вычислениях использована атомная масса электрона } Nm = 0,00054875) \text{ (физическая шкала).}$$

Атомная масса протона

$$M_p = 1,007593 \pm 0,000003 \text{ (физическая шкала).}$$

Атомная масса дейтерия

$$D = 2,014735 \pm 0,000006 \text{ (физическая шкала).}$$

Отношение атомных масс дейтерия и дейтона

$$D/M_d = 1,00027244 \text{ (при вычислениях использовано значение атомной массы электрона } Nm = 0,00054875) \text{ (физическая шкала).}$$

Отношение магнитных моментов электрона и протона без диамагнитной поправки

$$[M_p/(Nm\mu')] (1 + a/2\pi - 2,973a^2/\pi^2) = 658,2288 + 0,0004.$$

Аномальный магнитный момент электрона

$$\mu_c/\mu_0 = (1 + \alpha/2\pi - 2,973\alpha^2/\pi^2) = 1,001\,14536$$

(при вычислениях использовано значение $1/\alpha = 137,037$). Газовая константа, отнесенная к молю

$$R_0 = (8,316\,96 \pm 0,000\,34) \cdot 10^7 \text{ эрг} \cdot \text{моль}^{-1} \text{ град}^{-1} \text{ (физическая шкала).}$$

Стандартный объем идеального газа

$$V_0 = (22\,420,7 \pm 0,6) \text{ см}^3 \text{ атм} \cdot \text{моль}^{-1} \text{ (физическая шкала).}$$

II. Таблица основных физических констант (1955 г.)

Постоянная Авогадро

$$N = (6,024\,86 \pm 0,000\,16) \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \text{ (физическая шкала).}$$

Постоянная Ломшмидта

$$L_0 = N/V_0 = (2,687\,19 \pm 0,000\,10) \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3} \text{ (физическая шкала).}$$

Заряд электрона

$$e = (4,80286 + 0,00009) \cdot 10^{-10} \text{ ед. CGSE},$$

$$e' = e/c = (1,60206 \pm 0,00003) \cdot 10^{-20} \text{ эл.м.един.}$$

Масса покоя электрона

$$m = (9,1083 \pm 0,0003) \cdot 10^{-28} \text{ г.}$$

Масса покоя протона

$$m_p = M_p/N = (1,67239 \pm 0,00004) \cdot 10^{-24} \text{ г.}$$

Масса покоя нейтрона

$$m_n = M_n/N = (1,67470 \pm 0,00004) \cdot 10^{-24} \text{ г.}$$

Постоянная Планка

$$h = (6,62517 \pm 0,00023) \cdot 10^{-27} \text{ эрг сек},$$

$$h/2\pi = (1,05443 \pm 0,00004) \cdot 10^{-27} \text{ эрг сек.}$$

Переводной множитель от X-единиц Зигбана к миллиангстремам:

$$\Lambda = \lambda_g/\lambda_s = 1,002039 \pm 0,000014.$$

Постоянная Фарадея

$$\left. \begin{aligned} F = Ne &= (2,89366 \pm 0,00003) \cdot 10^{14} \text{ ед. CGSE} \cdot \text{моль}^{-1}, \\ F' = Ne/c &= (9652,19 \pm 0,11) \text{ ед. CGSM} \cdot \text{моль}^{-1} \end{aligned} \right\} \text{ (физическая шкала).}$$

Отношение заряда электрона к его массе

$$e/m = (5,27305 \pm 0,00007) \cdot 10^{17} \text{ ед. CGSE/г},$$

$$e/mc = (1,75890 \pm 0,00002) \cdot 10^7 \text{ ед. CGSM/г.}$$

Отношение h/e

$$h/e = (1,37942 \pm 0,00002) \cdot 10^{-17} \text{ эрг сек (ед. CGSE)}^{-1}.$$

Постоянная тонкой структуры

$$\alpha = e^2/\hbar c = (7,29729 \pm 0,00003) \cdot 10^{-3},$$

$$1/\alpha = 137,0373 \pm 0,0006,$$

$$\alpha/2\pi = (1,161398 \pm 0,000005) \cdot 10^{-3},$$

$$\alpha^2 = (5,32504 \pm 0,00005) \cdot 10^{-5},$$

$$1 - (1 - \alpha^2)^{\frac{1}{2}} = (0,266252 \pm 0,000002) \cdot 10^{-4}.$$

Атомная масса электрона

$$Nm = (5,48763 + 0,00006) \cdot 10^{-4} \text{ (физическая шкала).}$$

Отношение массы водорода к массе протона *)

$$H/M_p = \left[1 - \frac{Nm}{H} \left(1 - \frac{1}{2} \alpha^2 \right) \right]^{-1} = 1,000544613 \pm 0,000000006.$$

*) Энергия связи электрона в водородном атоме включена в эту величину. Масса электрона, находящегося в водородном атоме, не равна m , а равна $m(1 - 1/2\alpha^2 + \dots)$.

Атомная масса протона

$$M_p = H - Nm = 1,007593 \pm 0,000003 \text{ (физическая шкала).}$$

Отношение массы протона к массе электрона

$$M_p/(Nm) = 1836,12 \pm 0,02.$$

Приведенная масса электрона в водородном атоме

$$\mu = mM_p/H = (9,1034 \pm 0,0003) \cdot 10^{-28} \text{ г.}$$

Постоянная Шредингера для неподвижного ядра

$$2m/\hbar^2 = (1,63836 \pm 0,00007) \cdot 10^{27} \text{ эрг}^{-1} \text{ см}^{-2}.$$

Постоянная Шредингера для водородного атома

$$2\mu/\hbar^2 = (1,63748 \pm 0,00007) \cdot 10^{27} \text{ эрг}^{-1} \text{ см}^{-2}.$$

Радиус первой Боровской орбиты

$$a_0 = \hbar^2/(me^2) = a/(4\pi R_\infty) = (5,29172 \pm 0,00002) \cdot 10^{-9} \text{ см.}$$

Радиус электронной орбиты 1H в нормальном состоянии отнесенный к центру масс

$$a'_0 = a_0 (1 - a^2)^{\frac{1}{2}} = (5,29158 \pm 0,00002) \cdot 10^{-9} \text{ см.}$$

Расстояние между протоном и электроном в нормальном состоянии 1H

$$a''_0 = a'_0 R_\infty / R_H = (5,29446 \pm 0,00002) \cdot 10^{-9} \text{ см.}$$

Комптоновская длина волны электрона

$$\lambda_{C., e} = h/(mc) = a^2/2R_\infty = (24,2626 \pm 0,0002) \cdot 10^{-11} \text{ см.},$$

$$\lambda_{C., e} = \lambda_{C., e}/2\pi = (3,86151 \pm 0,00004) \cdot 10^{-11} \text{ см.}$$

Комптоновская длина волны протона

$$\lambda_{C., p} = h/m_p c = (13,2141 \pm 0,0002) \cdot 10^{-14} \text{ см.},$$

$$\lambda_{C., p} = \lambda_{C., p}/2\pi = (2,10308 \pm 0,00003) \cdot 10^{-14} \text{ см.}$$

Комптоновская длина волны нейтрона

$$\lambda_{C., n} = h/m_n c = (13,1959 \pm 0,0002) \cdot 10^{-14} \text{ см.},$$

$$\lambda_{C., n} = \lambda_{C., n}/2\pi = (2,10019 \pm 0,00003) \cdot 10^{-14} \text{ см.}$$

Классический радиус электрона

$$r_0 = e^2/(mc^2) = a^3/(4\pi R_\infty) = (2,81785 \pm 0,00004) \cdot 10^{-13} \text{ см.},$$

$$r_0^2 = (7,94030 \pm 0,00021) \cdot 10^{-26} \text{ см}^2.$$

Томсоновское сечение

$$(8/3) \pi r_0^2 = (6,65205 \pm 0,00018) \cdot 10^{-25} \text{ см}^2.$$

Расщепление дублета тонкой структуры в водороде

$$\begin{aligned} \Delta E_H &= (1/16) R_H \alpha^2 [1 + \alpha/\pi + (5/8 - 5,946/\pi^2) \alpha^2] = (0,365871 \pm 0,000003) \text{ см}^{-1} = \\ &= (10968,56 \pm 0,10) \text{ эц}^{-1}. \end{aligned}$$

Расщепление тонкой структуры в дейтерии

$$\begin{aligned} \Delta E_D &= \Delta E_H R_D / R_H = (0,365970 \pm 0,000003) \text{ см}^{-1} = \\ &= (10971,54 \pm 0,10) \text{ эц}^{-1}. \end{aligned}$$

Зеемановское смещение на гаусс

$$e/4\pi mc^2 = (4,66885 \pm 0,00006) \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1} \text{ гаусс}^{-1}.$$

Постоянная Больцмана

$$\begin{aligned} k &= R_0/N = (1,38044 \pm 0,00007) \cdot 10^{-16} \text{ эрг град}^{-1} = (8,6167 \pm 0,0004) \cdot 10^{-5} \text{ эв град}^{-1}, \\ 1/k &= (11605,4 \pm 0,5) \text{ град эв}^{-1}. \end{aligned}$$

Первая константа излучения

$$c_1 = 8\pi h c = (4,9918 \pm 0,0002) \cdot 10^{-15} \text{ эрг см.}$$

Вторая константа излучения

$$c_2 = hc/k = (1,43880 \pm 0,00007) \text{ см град}.$$

Константа атомной теплоемкости

$$c_2/c = h/k = (4,79931 \pm 0,00023) \cdot 10^{-11} \text{ сек град.}$$

Постоянная Вина *)

$$\lambda_{\max} T = c_2/4,96511423 = (0,289782 \pm 0,000013) \text{ см град.}$$

Постоянная Стефана Больцмана

$$\sigma = (\pi^2/60) (k^4/h^3c^2) = (0,56687 \pm 0,00010) \cdot 10^{-4} \text{ эрг} \cdot \text{см}^{-2} \text{ град}^{-4} \text{ сек}^{-1}.$$

Постоянная Саккур—Тетроде

$$S_0/R_0 = \frac{5}{2} + \ln [(2\pi R_0)^2 h^{-3} N^{-4}] = -5,57324 \pm 0,00007,$$

$$S_0 = -(46,3524 \pm 0,0020) \cdot 10^7 \text{ эрг моль}^{-1} \text{ град}^{-1} \text{ (физическая шкала).}$$

Постоянная Саккур—Тетроде

$$S_0/R_0 \text{ хл} = -5,57256 \pm 0,00007,$$

$$S_0 = -(46,3467 \pm 0,0020) \cdot 10^7 \text{ эрг моль}^{-1} \text{ град}^{-1} \text{ (химическая шкала).}$$

Магнетон Бора

$$\mu_0 = he/4\pi mc = \frac{1}{2} e\lambda_{\text{С.}}, e = (0,92731 \pm 0,00002) \cdot 10^{-20} \text{ эрг гаусс}^{-1}.$$

Поправка на аномальный момент электрона

$$1 + \alpha/2\pi - 2,973 \alpha^2/\pi^2 = \mu_e/\mu_0 = 1,001145358 \pm 0,000000005$$

(при вычислении использовалось значение $1/\alpha = 137,0373 \pm 0,6000$).

Магнитный момент электрона

$$\mu_e = (0,92837 \pm 0,00002) \cdot 10^{-20} \text{ эрг гаусс}^{-1}.$$

Ядерный магнетон

$$\mu_n = he/(4\pi m_p c) = \mu_0 Nm/H^+ = (0,505038 \pm 0,000018) \cdot 10^{-23} \text{ эрг гаусс}^{-1}.$$

Магнитный момент протона

$$\mu_p = (2,79275 \pm 0,00003) \text{ ядерных магнетонов} = (1,41044 \pm 0,00004) \cdot 10^{-23} \text{ эрг гаусс}^{-1}.$$

Гиромагнитное отношение протона в водороде (без поправки на диамагнетизм)

$$\gamma' = (2,67523 \pm 0,00004) \cdot 10^4 \text{ рад сек}^{-1} \text{ гаусс}^{-1}.$$

Гиромагнитное отношение протона (с поправкой)

$$\gamma = (2,67530 \pm 0,00004) \cdot 10^4 \text{ рад сек}^{-1} \text{ гаусс}^{-1}.$$

Множитель при выражении (константа Кюри) $^{1/2}x^{1/2}$, дающем магнитный момент отнесенный к молекуле:

$$(3k/Nx)^{1/2} = 2,6178 \pm 0,00010) \cdot 10^{-20} \text{ (эрг} \cdot \text{моль град}^{-1})^{1/2}.$$

Соотношения между энергией и массой

$$1 \text{ э} = (5,61000 \pm 0,00011) \cdot 10^{26} \text{ Мэв},$$

$$1 \text{ электронная масса} = (0,510976 \pm 0,000007) \text{ Мэв},$$

$$1 \text{ единица атомной массы} = (931,441 \pm 0,010) \text{ Мэв},$$

$$1 \text{ протонная масса} = (938,211 \pm 0,010) \text{ Мэв},$$

$$1 \text{ нейтронная масса} = (939,505 \pm 0,010) \text{ Мэв}.$$

Соотношения между квантами энергии E

$$1 \text{ эв} = (1,602206 \pm 0,00003) \cdot 10^{-12} \text{ эрг},$$

$$E\tilde{\nu} = hc = (1,98618 \pm 0,00007) \cdot 10^{-16} \text{ эрг см},$$

$$E\lambda_g = (12397,67 \pm 0,22) \cdot 10^{-8} \text{ эв см},$$

$$E\lambda_s = (12372,44 \pm 0,16) \text{ кв X-единиц},$$

$$E/\nu = (6,62517 \pm 0,00023) \cdot 10^{-27} \text{ эрг сек} = (4,13541 \pm 0,00007) \cdot 10^{-15} \text{ эв} \cdot \text{сек},$$

$$\tilde{\nu}/E = (5,03479 \pm 0,00017) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-1} \text{ эрг}^{-1} = (8066,03 \pm 0,14) \text{ см}^{-1} \text{ эв}^{-1},$$

$$\nu/E = (1,50940 \pm 0,00005) \cdot 10^{26} \text{ сек}^{-1} \text{ эрг}^{-1} = (2,41814 \pm 0,00004) 10^{14} \text{ сек}^{-1} \text{ эв}^{-1}.$$

*) Числовое значение 4,96511423 представляет собой корень трансцендентного уравнения $x = 5(1 - \exp[-x])$.

Длины волны де Бройля элементарных частиц *).

Электроны $\lambda_{B., e} = (7,27377 \pm 0,00006) \cdot \text{см}^2 \text{сек}^{-1}/e =$
 $= (1,552257 \pm 0,000016) \cdot 10^{-13} \text{ см (эрг)}^{1/2}/E^{1/2} =$
 $= (1,226378 \pm 0,000010) \cdot 10^{-7} \text{ см (эв)}^{1/2}/E^{1/2}.$

Протоны $\lambda_{B., p} = (3,96149 \pm 0,00005) \cdot 10^{-3} \text{ см}^2 \text{сек}^{-1}/e =$
 $= (3,62253 \pm 0,00008) \cdot 10^{-15} \text{ см (эрг)}^{1/2}/E^{1/2} =$
 $= (2,86202 \pm 0,00004) \cdot 10^{-9} \text{ см (эв)}^{1/2}/E^{1/2}.$

Нейтроны $\lambda_{B., n} = (3,95603 \pm 0,00005) \cdot 10^{-3} \text{ см}^2 \text{сек}^{-1}/e =$
 $= (3,60204 \pm 0,00008) \cdot 10^{-15} \text{ см (эрг)}^{1/2}/E^{1/2} =$
 $= (2,86005 \pm 0,00004) \cdot 10^{-9} \text{ см (эв)}^{1/2}/E^{1/2}.$

Энергия нейтронов, имеющих скорость 2200 м/сек

$$E_{2200} = (0,0252973 \pm 0,0000003) \text{ эв},$$

$$T_{2200} = (293,585 \pm 0,012) \text{ }^\circ\text{K} = (20,435 \pm 0,012) \text{ }^\circ\text{C}.$$

Постоянная Ридберга и ее производные

$$R_\infty = (109\,737,309 \pm 0,012) \text{ см}^{-1},$$

$$R_\infty \cdot c = (3,289848 \pm 0,000003) \cdot 10^{15} \text{ сек}^{-1},$$

$$R_\infty hc = (2,17958 \pm 0,00007) \cdot 10^{-11} \text{ эрг},$$

$$Rhc^2 e^{-1} \cdot 10^{-8} = (13,60488 \pm 0,00022) \text{ эв}.$$

Понизационный потенциал водорода

$$I_0 = R_{\text{H}} (hc^2/e) \left(1 + \frac{1}{4} \alpha^2 + \dots \right) \cdot 10^{-8} = (13,59765 \pm 0,00022) \text{ эв}.$$

В докладе Тусси изложены работы Военно-морской исследовательской лаборатории США по определению солнечной постоянной. Значение, полученное ими, равно 2,002 кал/см² мин, тогда как по старым определениям значение солнечной постоянной было равно 1,934. Поскольку вероятная ошибка составляет $\pm 2\%$, автор считает целесообразным принять для солнечной постоянной это значение 2,000 кал/см² мин.

Работа конгресса подробно освещена участником этого конгресса Д. Д. Иваненко в его статье, опубликованной в этом же журнале².

В. А. Угаров

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Supplemento al vol. VI, ser. X del Nuovo Cimento, № 1 (1957).
2. Д. И в а н е н к о. УФН 62, вып. 4, 523 (1957).

*) Эти формулы справедливы только для нерелятивистских скоростей. Если скоростью частицы нельзя пренебречь по сравнению со скоростью света с или, если энергией нельзя пренебречь по сравнению с массой покоя, то следует использовать выражение $\lambda_{B., D} = \lambda_c [\varepsilon + 2]^{-1/2}$, где λ_c — соответствующая длина волны Комптона рассматриваемой частицы, а ε — кинетическая энергия, измеренная в долях массы покоя частицы.