

О теоретическом определении фундаментальных физических констант

© В.Б. Смоленский 2016

В статье представлен метод теоретического определения фундаментальных физических констант. Приведены результаты аналитических расчётов, в том числе: постоянная тонкой структуры, длина волны Комптона, масса электрона, элементарный заряд, постоянная Планка, масса Планка, длина и время Планка, гравитационная постоянная и времена жизни нейтрона.

Ключевые слова: постоянная тонкой структуры, длина волны Комптона, масса электрона, элементарный заряд, постоянная Планка, масса Планка, длина и время Планка, гравитационная постоянная, времена жизни нейтрона, барионная асимметрия Вселенной

Пояснения:

– если в тексте обозначение параметра имеет нижний индекс « π », то это означает, что этот теоретический параметр имеет численное значение, которое может использоваться вместо истинного значения параметра.

– используются единицы измерения длины $u_{\pi l} = 1,0[\text{см}]$, массы $u_{\pi m} = 1,0[\text{г}]$, времени $u_{\pi t} = 1,0[\text{с}]$ и

массовой поверхностной плотности $u_{\pi \rho S} = \frac{u_{\pi m}}{u_{\pi l}^2}$ Унитарной системы единиц.

1. Основные соотношения

Запишем выражение

$$k_{\pi 0}^{n-1} \cdot \lambda_{\pi} \cdot (1 \pm \Delta y_{\pi} \cdot \alpha_{\pi})^n = (\sqrt{2} \cdot \pi)^n \cdot \lambda_{\pi 0}^n, \quad (1.1)$$

в котором

$$k_{\pi 0} = \lambda_{\pi} \cdot \alpha_{\pi} \cdot \beta_{\pi}; \quad \lambda_{\pi 0}^n = \pi^{n-1} \cdot k_{\pi 0}^n; \quad (1.2)$$

α_{π} , β_{π} , Δy_{π} – числовые параметры; λ_{π} , $k_{\pi 0}$, $\lambda_{\pi 0}$ – параметры с размерностью длины; $n = 1, 2, 3, \dots$ – числа натурального ряда.

Известно [1, с. 37] алгебраическое уравнение с неизвестным x степени n вида:

$$f(x) \equiv a_0 \cdot x^n + a_1 \cdot x^{n-1} + \dots + a_{n-1} \cdot x + a_n = 0 \quad (a_0 \neq 0). \quad (1.3)$$

Здесь n – целое неотрицательное число, a_0, a_1, \dots, a_n – действительные числа, $f(x)$ – многочлен [2, с. 7] степени n от одного переменного x вида:

$$f(x) = (1+x)^n = 1 + n \cdot x + \frac{n \cdot (n-1)}{2!} \cdot x^2 + \frac{n \cdot (n-1) \cdot (n-2)}{3!} \cdot x^3 + \dots + \frac{n!}{(n-r)! r!} \cdot x^r + \dots \quad (1.4)$$

$$f(x) = (1-x)^n = 1 - n \cdot x + \frac{n \cdot (n-1)}{2!} \cdot x^2 - \frac{n \cdot (n-1) \cdot (n-2)}{3!} \cdot x^3 + \dots + (-1)^r \cdot \frac{n!}{(n-r)! r!} \cdot x^r + \dots \quad (1.5)$$

Если n – целое положительное число, то выражения (1.4) и (1.5) состоят из *конечного* числа членов. Алгебраическое уравнение вида (1.3) называется *действительным*, если все его коэффициенты a_i – *действительные числа*. Известно [1, с. 39] что соответствующий уравнению (1.3) действительный многочлен $f(x)$ вида (1.4) и (1.5) при всех действительных значениях x принимает действительные значения. В статье используются только действительные алгебраические уравнения вида (1.3).

Запишем (1.1) в виде

$$\frac{(1 \pm \Delta y_{\pi} \cdot \alpha_{\pi})^n}{(\sqrt{2} \cdot \pi)^n} \cdot k_{\pi 0}^{n-1} \cdot \lambda_{\pi} = \lambda_{\pi 0}^n. \quad (1.6)$$

Обозначим левую часть уравнения (1.6) как

$$\lambda_{\pi S}^{n-1} = \frac{(1 \pm \Delta y_{\pi} \cdot \alpha_{\pi})^n}{(\sqrt{2} \cdot \pi)^n} \cdot k_{\pi 0}^{n-1}, \quad (1.7)$$

тогда (1.6) запишется:

$$\lambda_{\pi S}^{n-1} \cdot \lambda_{\pi} = \lambda_{\pi 0}^n. \quad (1.8)$$

С учётом (1.2), выражение (1.7) запишется как

$$\lambda_{\pi S}^{n-1} = \frac{(1 \pm \Delta y_{\pi} \cdot \alpha_{\pi})^n \cdot (\alpha_{\pi} \cdot \beta_{\pi})^{n-1}}{(\sqrt{2} \cdot \pi)^n} \cdot \lambda_{\pi}^{n-1}. \quad (1.9)$$

В то же время, с учётом (1.2) и (1.8), $\lambda_{\pi S}^{n-1}$ можно записать в виде

$$\lambda_{\pi S}^{n-1} = \pi^{n-1} \cdot (\alpha_{\pi} \cdot \beta_{\pi})^n \cdot \lambda_{\pi}^{n-1}. \quad (1.10)$$

Приравняв (1.9) и (1.10), получим:

$$(\sqrt{2} \cdot \pi)^n \cdot \pi^{n-1} \cdot \alpha_{\pi} \cdot \beta_{\pi} = (1 \pm \Delta y_{\pi} \cdot \alpha_{\pi})^n. \quad (1.11)$$

Известно [1, с. 38], что общие формулы выражающие корни алгебраических уравнений через их коэффициенты и содержащие только *конечное число* операций сложений, вычитаний, умножений, делений и извлечений корня существуют только для уравнений степени $n \leq 4$. Имея это в виду, запишем уравнение (1.1) для случая $n = 3$ в виде:

$$k_{\pi 0}^2 \cdot \lambda_{\pi} \cdot (1 \pm \Delta y_{\pi} \cdot \alpha_{\pi})^3 = (\sqrt{2} \cdot \pi)^3 \cdot \lambda_{\pi 0}^3, \quad (1.12)$$

тогда $\lambda_{\pi 0}^3$ из (1.2) запишется как

$$\lambda_{\pi 0}^3 = \pi^2 \cdot k_{\pi 0}^3, \quad (1.13)$$

а (1.6) как

$$\frac{(1 \pm \Delta y_{\pi} \cdot \alpha_{\pi})^3}{(\sqrt{2} \cdot \pi)^3} \cdot k_{\pi 0}^2 \cdot \lambda_{\pi} = \lambda_{\pi 0}^3. \quad (1.14)$$

Обозначив площадь s_{π} как

$$s_{\pi} = \frac{(1 \pm \Delta y_{\pi} \cdot \alpha_{\pi})^3}{(\sqrt{2} \cdot \pi)^3} \cdot k_{\pi 0}^2, \quad (1.15)$$

запишем (1.14), с учётом (1.15), как

$$s_{\pi} \cdot \lambda_{\pi} = \lambda_{\pi 0}^3. \quad (1.16)$$

С учётом (1.2), (1.15) запишется как

$$s_{\pi} = \frac{(1 \pm \Delta y_{\pi} \cdot \alpha_{\pi})^3 \cdot (\alpha_{\pi} \cdot \beta_{\pi})^2}{(\sqrt{2} \cdot \pi)^3} \cdot \lambda_{\pi}^2. \quad (1.17)$$

В то же время, учитывая (1.2), (1.13) и (1.16), площадь s_{π} можно записать как

$$s_{\pi} = \pi^2 \cdot (\alpha_{\pi} \cdot \beta_{\pi})^3 \cdot \lambda_{\pi}^2. \quad (1.18)$$

Обозначим в (1.18) элементарный скалярный радиус $r_{\pi s}$ как

$$r_{\pi s} = \alpha_{\pi} \cdot \beta_{\pi}. \quad (1.19)$$

С учётом (1.19), элементарная скалярная длина окружности $l_{\pi s}$ равна

$$l_{\pi s} = 2 \cdot \pi \cdot \alpha_{\pi} \cdot \beta_{\pi}, \quad (1.20)$$

элементарная скалярная площадь равна

$$s_{\pi s} = 4 \cdot \pi^2 \cdot r_{\pi s}^2, \quad (1.21)$$

а элементарный скалярный объем $v_{\pi s}$ равен

$$v_{\pi s} = \pi^2 \cdot r_{\pi s}^3. \quad (1.22)$$

Приравняв (1.17) и (1.18), получим уравнение:

$$(\sqrt{2} \cdot \pi)^3 \cdot \pi^2 \cdot \alpha_{\pi} \cdot \beta_{\pi} = (1 \pm \Delta y_{\pi} \cdot \alpha_{\pi})^3. \quad (1.23)$$

2. Протопараметры

2.1. Скалярный параметр структуры пространства-времени

Запишем уравнение (1.23) в виде

$$(\sqrt{2} \cdot \pi)^3 \cdot \pi^2 \cdot \alpha_{\pi 0} \cdot \bar{\beta}_{\pi} = (1 + \Delta y_{\pi} \cdot \alpha_{\pi})^3, \quad (2.1.1)$$

в котором

$$\bar{\beta}_{\pi} = 1 + \bar{\beta}_{\pi 0}; \quad (2.1.2)$$

$$\Delta y_{\pi 0} = \sqrt[4]{2 \cdot \pi}; \quad (2.1.3)$$

$$\varphi_{\pi 0} = \frac{\alpha_{\pi 0}}{\beta_{\pi 0}}, \quad (\varphi_{\pi 0} = \sqrt{2} \cdot \pi). \quad (2.1.4)$$

Правая часть (2.1.1) представляет собой многочлен (1.4) для случая $n = 3$ [2, с. 8]:

$$(1 + x)^3 = 1 + 3 \cdot x + 3 \cdot x^2 + x^3. \quad (2.1.5)$$

Обозначив $x = \Delta y_{\pi 0} \cdot \alpha_{\pi 0}$, запишем (2.1.5) в виде

$$(1 + \Delta y_{\pi 0} \cdot \alpha_{\pi 0})^3 = 1 + 3 \cdot \Delta y_{\pi 0} \cdot \alpha_{\pi 0} + 3 \cdot \Delta y_{\pi 0}^2 \cdot \alpha_{\pi 0}^2 + \Delta y_{\pi 0}^3 \cdot \alpha_{\pi 0}^3. \quad (2.1.6)$$

Уравнение (2.1.5) записывается в общем виде как [3, с. 304]:

$$a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d = 0 \quad (a \neq 0). \quad (2.1.7)$$

Используя любой из известных методов решения кубических уравнений, (например, решение Кардано [1, с. 43] или поисковую процедуру – например, метод половинного деления [3, с. 472]) найдем параметр $\alpha_{\pi 0}$ – действительный корень уравнения (2.1.1).

Запишем уравнение (1.23) в виде:

$$(\sqrt{2} \cdot \pi)^3 \cdot \pi^2 \cdot \alpha_{\pi e} \cdot \beta_{\pi e} = (1 - \Delta y_{\pi e} \cdot \alpha_{\pi e})^3, \quad (2.1.8)$$

в котором параметр $\beta_{\pi e}$

$$\beta_{\pi e} = 1 + \frac{\bar{\beta}_{\pi 0}}{\beta_{\pi}^3}. \quad (2.1.9)$$

Правая часть (2.1.8) представляет собой многочлен (1.5) для случая $n = 3$ [2, с. 8]:

$$(1 - x)^3 = 1 - 3 \cdot x - 3 \cdot x^2 - x^3. \quad (2.1.10)$$

Обозначив $x = \Delta y_{\pi e} \cdot \alpha_{\pi e}$, запишем (2.1.10) в виде

$$(1 - \Delta y_{\pi e} \cdot \alpha_{\pi e})^3 = 1 - 3 \cdot \Delta y_{\pi e} \cdot \alpha_{\pi e} - 3 \cdot \Delta y_{\pi e}^2 \cdot \alpha_{\pi e}^2 - \Delta y_{\pi e}^3 \cdot \alpha_{\pi e}^3. \quad (2.1.11)$$

Для нахождения коэффициента $\Delta y_{\pi e}$ в (2.1.11) запишем квадратное уравнение

$$\frac{1}{\varphi_{\pi 0}} \cdot \alpha_{\pi x}^2 + \alpha_{\pi x} - \bar{\beta}_{\pi} = 0. \quad (2.1.12)$$

Как известно [1, с. 43] алгебраическое уравнение 2-й степени записывается в виде:

$$a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0 \quad (a \neq 0). \quad (2.1.13)$$

Корни уравнения определяются по формуле:

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}, \quad (2.1.14)$$

Причём

$$x_1 + x_2 = -\frac{b}{a} \quad \text{и} \quad x_1 \cdot x_2 = \frac{c}{a}. \quad (2.1.15)$$

Отношение корней уравнения (2.1.12) запишем как:

$$\Delta_{\pi x} = \frac{\alpha_{\pi x 2}}{\alpha_{\pi x 1}}. \quad (2.1.16)$$

Находим $\Delta y_{\pi e}$ как

$$\Delta y_{\pi e} = \frac{\Delta_{\pi x}}{\Delta y_{\pi 0}^3}. \quad (2.1.17)$$

Используя любой из известных способов решения кубических уравнений или поисковую процедуру, найдем параметр $\alpha_{\pi e}$ – действительный корень уравнения (2.1.8).

Для определения скалярного параметра структуры пространства-времени $f_{\pi s}$ запишем соотношение:

$$\frac{\alpha_{\pi 0} \cdot \bar{\beta}_{\pi}}{\alpha_{\pi e} \cdot \beta_{\pi e}} = \frac{(\alpha_{\pi e} \cdot \beta_{\pi e})^3}{(\alpha_{\pi} \cdot \beta_{\pi})^3}. \quad (2.1.18)$$

Запишем (2.1.18) в виде

$$(\alpha_{\pi} \cdot \beta_{\pi})^3 = \frac{\alpha_{\pi e}^4 \cdot \beta_{\pi e}^4}{\alpha_{\pi 0} \cdot \bar{\beta}_{\pi}}. \quad (2.1.19)$$

Из (2.1.19):

$$\alpha_{\pi} \cdot \beta_{\pi} = \sqrt[3]{\frac{(\alpha_{\pi e} \cdot \beta_{\pi e})^4}{\alpha_{\pi 0} \cdot \bar{\beta}_{\pi}}}. \quad (2.1.20)$$

Скалярный параметр структуры пространства-времени $f_{\pi s}$:

$$f_{\pi s} = \alpha_{\pi} \cdot \beta_{\pi}. \quad (2.1.21)$$

2.2. Электромагнитная постоянная

Для определения электромагнитной постоянной α_{π} запишем выражение:

$$\frac{[\alpha \cdot \beta]_{\pi}}{\alpha_{\pi 0} \cdot \bar{\beta}_{\pi}} = \frac{(\alpha_{\pi e} \cdot \beta_{\pi e})^3}{[\alpha \cdot \beta]_{\pi}} \quad (2.2.1)$$

Запишем выражение (2.2.1) в виде

$$[\alpha \cdot \beta]_{\pi}^4 = (\alpha_{\pi e} \cdot \beta_{\pi e})^3 \cdot \alpha_{\pi 0} \cdot \bar{\beta}_{\pi}. \quad (2.2.2)$$

Из (2.2.2):

$$[\alpha \cdot \beta]_{\pi} = \sqrt[4]{(\alpha_{\pi e} \cdot \beta_{\pi e})^3 \cdot \alpha_{\pi 0} \cdot \bar{\beta}_{\pi}}. \quad (2.2.3)$$

Обозначим отношение (2.2.3) к (2.1.20) как:

$$k_{\pi}^4 = \frac{[\alpha \cdot \beta]_{\pi}}{\alpha_{\pi} \cdot \beta_{\pi}}. \quad (2.2.4)$$

Коэффициент k_{π} из (2.2.4):

$$k_{\pi} = \sqrt[4]{\frac{[\alpha \cdot \beta]_{\pi}}{\alpha_{\pi} \cdot \beta_{\pi}}}. \quad (2.2.5)$$

Электромагнитная постоянная α_{π} определяется как

$$\alpha_{\pi} = \frac{\alpha_{\pi e}}{k_{\pi}}. \quad (2.2.6)$$

3. Фундаментальные физические константы

Из соотношения

$$\frac{\lambda_{\pi}^3}{2 \cdot \pi^2 \cdot f_{\pi s}^3 \cdot \lambda_{\pi}^2} = 2 \cdot \pi \cdot f_{\pi s} \cdot u_{\pi l} \quad (3.1)$$

найдем длину волны λ_{π}

$$\lambda_{\pi} = 4 \cdot \pi^3 \cdot f_{\pi s}^4 \cdot u_{\pi l}. \quad (3.2)$$

С учётом (3.2) и подстановки постоянной тонкой структуры α в виде

$$\alpha_{\pi th} = 2 \cdot \pi \cdot \alpha_{\pi} \quad (3.3)$$

в формулу для постоянной Ридберга R_{∞} (представлена на сайте National Institute of Standards and Technology (NIST) по адресу <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html>):

$$\lambda_C / 2\pi = \frac{\alpha^2}{4\pi \cdot R_{\infty}}, \quad (3.4)$$

определим из (3.4) постоянную Ридберга $R_{\pi\infty}$ в виде

$$R_{\pi\infty} = \frac{\alpha_{\pi th}^2}{2 \cdot \pi \cdot f_{\pi s}^4} \cdot u_{\pi l}^{-1}. \quad (3.5)$$

Коэффициент согласования $k_{\pi R}$ определим как:

$$k_{\pi R} = \frac{R_{\pi\infty}}{R_{\infty}}. \quad (3.6)$$

Длину волны Комптона $\lambda_{\pi C}$ найдём, с учётом (3.6), в виде

$$\lambda_{\pi C} = k_{\pi R} \cdot \lambda_{\pi}. \quad (3.7)$$

Массу электрона $m_{\pi e}$ найдём, с учётом (1.18), в виде

$$m_{\pi e} = \pi^2 \cdot f_{\pi s}^3 \cdot \lambda_{\pi C}^2 \cdot u_{\pi \rho S}. \quad (3.8)$$

Элементарный заряд e_{π} найдём в виде

$$e_{\pi} = \pm(\sqrt{\alpha_{\pi}}) \cdot (m_{\pi e} \cdot \lambda_{\pi C})^{1/2} \cdot c. \quad (3.9)$$

Массу Планка $m_{\pi P}$, с учётом (1.21), найдём в виде

$$m_{\pi P} = k_{\pi R}^{1/3} \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot f_{\pi s}^2 \cdot u_{\pi l}^2 \cdot u_{\pi \rho S}. \quad (3.10)$$

Постоянную Планка h_{π} найдём в виде

$$h_{\pi} = m_{\pi e} \cdot \lambda_{\pi C} \cdot c. \quad (3.11)$$

С учётом известной формулы для массы Планка

$$m_P = \sqrt{\frac{h \cdot c}{G}} \quad (3.12)$$

и из равенства (3.10) и (3.12):

$$k_{\pi R}^{1/3} \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot f_{\pi s}^2 \cdot u_{\pi l}^2 \cdot u_{\pi \rho S} = \sqrt{\frac{h_{\pi} \cdot c}{G_{\pi}}}, \quad (3.13)$$

найдем из (3.13) гравитационную постоянную G_{π} в виде

$$G_{\pi} = \frac{h_{\pi} \cdot c}{k_{\pi R}^{2/3} \cdot 16 \cdot \pi^4 \cdot f_{\pi s}^4 \cdot u_{\pi l}^4 \cdot u_{\pi \rho S}^2}. \quad (3.14)$$

Из соотношения

$$m_{\pi P} \cdot l_{\pi P} = m_{\pi e} \cdot \lambda_{\pi C} \quad (3.15)$$

найдем длину Планка $l_{\pi P}$ в виде

$$l_{\pi P} = \frac{m_{\pi e}}{m_{\pi P}} \cdot \lambda_{\pi C}, \quad (3.16)$$

а время Планка $t_{\pi P}$ как

$$t_{\pi P} = \frac{l_{\pi P}}{c}. \quad (3.17)$$

Для определения времени жизни нейтрона запишем уравнение (1.23) в виде

$$(\sqrt{2} \cdot \pi)^3 \cdot \pi^2 \cdot f_{\pi S} = (1 + \Delta y_{\pi} \cdot \alpha_{\pi})^3 \quad (\Delta y_{\pi} - \text{параметрическое смещение}). \quad (3.18)$$

Параметр $f_{\pi S}$ из (3.18):

$$f_{\pi S} = \frac{(1 + \Delta y_{\pi} \cdot \alpha_{\pi})^3}{(\sqrt{2} \cdot \pi)^3 \cdot \pi^2}. \quad (3.19)$$

Время жизни $\tau_{\pi nS}$ короткоживущего нейтрона $n_{\pi S}$ определим, с учётом (3.19), как

$$\tau_{\pi nS} = \frac{k_{\pi R}^{1/3}}{f_{\pi S}} \cdot u_{\pi t} = \frac{(\sqrt{2} \cdot \pi)^3 \cdot \pi^2 \cdot k_{\pi R}^{1/3}}{(1 + \Delta y_{\pi} \cdot \alpha_{\pi})^3} \cdot u_{\pi t}, \quad (3.20)$$

Время жизни $\tau_{\pi nL}$ долгоживущего нейтрона $n_{\pi L}$ определим из (3.20), при условии $\Delta y_{\pi} \cdot \alpha_{\pi} = 0$, в виде

$$\tau_{\pi nL} = (\sqrt{2} \cdot \pi)^3 \cdot \pi^2 \cdot k_{\pi R}^{1/3} \cdot u_{\pi t}. \quad (3.21)$$

Отметим, что при наличии у нейтрона двух времён жизни барионная асимметрия Вселенной находит свое естественное объяснение.

В **Таблице** представлены результаты теоретических расчётов фундаментальных констант (курсивом выделены протоконстанты).

Таблица

Наименование параметра	Символ	Численное значение (СГС)
<i>скалярный параметр структуры пространства-времени</i>	$f_{\pi S}$	$1,161\ 712\ 977\ 019\ 596\ 928\ 9703 \cdot 10^{-3}$
<i>электромагнитная постоянная</i>	α_{π}	$1,161\ 409\ 733\ 400\ 893\ 939\ 4882 \cdot 10^{-3}$
постоянная тонкой структуры	$\alpha_{\pi th}$	$7,297\ 352\ 572\ 519\ 857\ 423\ 5458 \cdot 10^{-3}$
длина волны	λ_{π}	$2,258\ 941\ 438\ 338\ 421\ 412\ 6297 \cdot 10^{-10}$ см
постоянная Ридберга	$R_{\pi \infty}$	$1,178\ 679\ 395\ 222\ 205\ 270\ 7871 \cdot 10^5$ см ⁻¹
коэффициент согласования*	$k_{\pi R}$	1,074 091 696 0293
длина волны Комптона	$\lambda_{\pi C}$	$2,426\ 310\ 240\ 7358 \cdot 10^{-10}$ см
масса электрона	$m_{\pi e}$	$9,109\ 382\ 325\ 3407 \cdot 10^{-28}$ г
элементарный заряд e_{π}	e_{π}	$4,803\ 204\ 354\ 1651 \cdot 10^{-10}$ г ^{-1/2} см ^{3/2} с ⁻¹
постоянная Планка	h_{π}	$6,626\ 069\ 154\ 6019 \cdot 10^{-27}$ г см ² с ⁻¹
масса Планка	$m_{\pi P}$	$5,456\ 379\ 113\ 3014 \cdot 10^{-5}$ г
длина Планка	$l_{\pi P}$	$4,050\ 706\ 001\ 8742 \cdot 10^{-33}$ см
время Планка	$t_{\pi P}$	$1,351\ 170\ 082\ 4289 \cdot 10^{-43}$ с
гравитационная постоянная	G_{π}	$6,672\ 177\ 502\ 9339$ г ⁻¹ см ³ с ⁻²
время жизни короткоживущего нейтрона $n_{\pi S}$	$\tau_{\pi nS}$	881,552 698 044 с
время жизни долгоживущего нейтрона $n_{\pi L}$	$\tau_{\pi nL}$	886,423 939 853 с

* – значение R_{∞} (CODATA 2010) с сайта NIST: $R_{\infty} = 1,097\ 373\ 156\ 8539(55) \cdot 10^5$ см⁻¹ (СГС), скорость света в вакууме $c = 2,997\ 924\ 58 \cdot 10^{10}$ см · с⁻¹ (СГС).

Список литературы

1. Г. Корн, Т. Корн. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М., “Наука”, 1974
2. Г.Б. Двайт. Таблицы интегралов и другие математические формулы. М., “Наука”, 1977
3. Математический энциклопедический словарь. М., “Советская энциклопедия”, 1988