

Пи-Теория фундаментальных физических констант: метрологические аспекты

© В.Б. Смоленский 2015

Аннотация: в мае месяце этого года будут опубликованы значения фундаментальных физических констант (ФФК), которые КОДАТА рекомендует для международного использования. В статье представлены предсказательные результаты оригинальных теоретических исследований автора по определению численных значений ФФК, полученные с помощью аналитического метода Пи-Теории фундаментальных физических констант. Приведены конечные формулы и высокоточные результаты аналитических расчетов. Представлена таблица сравнения результатов расчетов с данными CODATA 2010.

Конечные формулы и итоговые результаты

Пи-Теория фундаментальных физических констант (далее – Пи-Теория) исходит из того, что физическая реальность представляет собой единую параметрическую пространственно-временную материальную среду (далее – Среда).

Пояснение: если обозначение параметра имеет нижний индекс “ π ”, то это, во-первых, означает, что это параметр Пи-Теории, а во-вторых, что этот параметр имеет теоретическое значение, которое может использоваться вместо истинного значения параметра. Скалярный параметр – это числовой параметр. В Пи-Теории есть только один-единственный свободный параметр – скалярный параметр Среды r_{fr} . Все получаемые в Пи-Теории результаты являются решениями алгебраических уравнений.

Таблица 1. Представлены конечные формулы для определения значений безразмерных ФФК.

| № | Наименование параметра и конечная формула Пи-Теории |
|---|---|
| 1 | Скалярный параметр Среды r_{fr} (свободный параметр): $r_{fr} = \pi$. |
| 2 | Скалярный параметр элементарного заряда $\alpha_{\pi 0}$. Является действительным корнем уравнения $\varphi_{\pi 0}^3 \cdot \pi^2 \cdot \alpha_{\pi 0} \cdot \bar{\beta}_{\pi} = (1 + \Delta y_{\pi 0} \cdot \alpha_{\pi 0})^3,$ в котором: $\varphi_{\pi 0} = \sqrt{2} \cdot \pi$; $\Delta y_{\pi 0} = \sqrt[4]{2 \cdot \pi}$; $\bar{\beta}_{\pi} = 1 + \bar{\beta}_{\pi 0}$; $\bar{\beta}_{\pi 0} = \alpha_{\pi 0} / \varphi_{\pi 0}$. |
| 3 | Скалярный параметр структуры пространства – времени $f_{\pi s 0}$: $f_{\pi s 0} = \alpha_{\pi 0} \cdot \bar{\beta}_{\pi}.$ |
| 4 | Константа параметрического смещения $\Delta y_{\pi e}$: $\Delta y_{\pi e} = \Delta_{\pi x} / \Delta y_{\pi 0}^3.$ |
| 5 | Коэффициент $\Delta_{\pi x}$. Определяется из уравнения $\frac{1}{\varphi_{\pi 0}} \cdot \alpha_{\pi x 1,2}^2 + \alpha_{\pi x 1,2} - \bar{\beta}_{\pi} = 0$ в виде $\Delta_{\pi x} = \alpha_{\pi x 1} / \alpha_{\pi x 2}$. |
| 6 | Константа параметрической связи $\beta_{\pi e}$: $\beta_{\pi e} = 1 + \beta_{\pi 0 e}; \beta_{\pi 0 e} = \bar{\beta}_{\pi 0} / \bar{\beta}_{\pi}^3.$ |
| 7 | Скалярный параметр элементарного заряда $\alpha_{\pi e}$. Действительный корень уравнения $\varphi_{\pi 0}^3 \cdot \pi^2 \cdot \alpha_{\pi e} \cdot \beta_{\pi e} = (1 + \Delta y_{\pi e} \cdot \alpha_{\pi e})^3.$ |
| 8 | Скалярный параметр структуры пространства – времени $f_{\pi s e}$: $f_{\pi s e} = \alpha_{\pi e} \cdot \beta_{\pi e}.$ |
| 9 | Скалярный параметр структуры пространства – времени $\tilde{f}_{\pi s}$: $\tilde{f}_{\pi s} = \sqrt[4]{f_{\pi s 0} \cdot f_{\pi s e}^3}.$ |

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

$$f_{\pi s} = \sqrt[3]{f_{\pi se}^4 / f_{\pi s0}} .$$

- 11 Коэффициент асимметрии
- k_{π}
- :

$$k_{\pi} = \sqrt[4]{\tilde{f}_{\pi s} / f_{\pi s}} .$$

- 12 Коэффициент абсолютной стабильности
- $k_{\pi st}$
- :

$$k_{\pi st} = k_{\pi}^9 .$$

- 13 Скалярный параметр элементарного заряда
- α_{π}
- :

$$\alpha_{\pi} = \alpha_{\pi e} / k_{\pi} .$$

- 14 Константа параметрической связи
- β_{π}
- :

$$\beta_{\pi} = f_{\pi s} / \alpha_{\pi} .$$

- 15 Постоянная масштабной инвариантности
- ψ_{π}
- :

$$\psi_{\pi} = k_{\pi \psi} \cdot \psi_{\pi 0} ,$$

$$\text{где } k_{\pi \psi} = \frac{2 \cdot \alpha_{\pi}^6}{\sqrt{\pi} \cdot f_{\pi s}^6} , \psi_{\pi 0} = 4 \cdot \pi^6 \cdot f_{\pi s}^9 .$$

- 16 Константа параметрического смещения
- Δy_{π}
- . Определяется прямым расчетом из уравнения

$$\varphi_{\pi 0}^3 \cdot \pi^2 \cdot f_{\pi s} = (1 + \Delta y_{\pi} \cdot \alpha_{\pi})^3 .$$

- 17 Скалярный параметр сильного заряда
- $\alpha_{\pi s}$
- . Действительный корень уравнения

$$\varphi_{\pi 0}^3 \cdot \pi^2 \cdot \alpha_{\pi s} \cdot \beta_{\pi} = (1 + \Delta y_{\pi} \cdot \alpha_{\pi s})^3 .$$

- 18 Коэффициент зарядовой асимметрии
- $k_{\pi q}$
- :

$$k_{\pi q} = \alpha_{\pi x} / \alpha_{\pi y} ,$$

где коэффициенты $\alpha_{\pi x}$ и $\alpha_{\pi y}$ являются действительными корнями уравнений

$$\varphi_{\pi 0}^3 \cdot \pi^2 \cdot \alpha_{\pi x} \cdot \bar{\beta}_{\pi} = (1 + \Delta y_{\pi 0} \cdot \alpha_{\pi x})^3 \text{ и } \varphi_{\pi 0}^3 \cdot \pi^2 \cdot \alpha_{\pi y} \cdot \beta_{\pi e} = (1 + \Delta y_{\pi e} \cdot \alpha_{\pi y})^3 \text{ соответственно.}$$

- 19 Аномалия магнитного момента
- $a_{\pi ex}$
- . Определяется прямым расчетом из уравнения

$$(1 + \Delta y_{\pi e} \cdot \alpha_{\pi e})^3 = k_{\pi q}^4 \cdot (1 + \Delta y_{\pi e} \cdot a_{\pi ex})^3 .$$

- 20 Электромагнитная константа асимметрии
- $\Delta_{\pi a}$
- :

$$\Delta_{\pi a} = \alpha_{\pi e} - a_{\pi ex} .$$

- 21 Аномалия магнитного момента электрона
- $a_{\pi e}$
- :

$$a_{\pi e} = \alpha_{\pi} - \Delta_{\pi a} .$$

- 22 Аномалия магнитного момента
- $a_{\pi \mu x}$
- :

$$a_{\pi \mu x} = \frac{f_{\pi se}^3}{a_{\pi ex}^2} .$$

- 23 Аномалия магнитного момента мюона
- $a_{\pi \mu}$
- :

$$a_{\pi \mu} = a_{\pi \mu x} \cdot \left(\sqrt[4]{(1 + \Delta y_{\pi} \cdot \alpha_{\pi})^3} \right)^3 \cdot k_{\pi}^4 .$$

- 24 Коэффициент электрослабой асимметрии
- $k_{\pi w}$
- :

$$k_{\pi w} = k_{\pi} \cdot \left(\frac{1 + f_{\pi se}}{1 + f_{\pi s}} \right)^2 \cdot \left[1 + \left(-\frac{(\pi - 1)^2}{\pi} \right)^4 \cdot \frac{4}{\varphi_{\pi 0}} \cdot f_{\pi s}^4 \right] .$$

| № | Наименование параметра и конечная формула Пи-Теории |
|----|---|
| 25 | Скалярный параметр слабого заряда $\alpha_{\pi w}$: $\alpha_{\pi w} = k_{\pi w}^3 - 1.$ |
| 26 | Отношение масс электрона и протона $r_{\text{пер}}$: $r_{\text{пер}} = \left[\frac{f_{\pi s} \cdot (1 + \Delta y_{\pi} \cdot \alpha_{\pi})^3}{\sqrt[3]{\pi^2}} \right] \cdot \left(1 - \frac{\alpha_{\pi}}{\alpha_{\pi s}} \right) \cdot k_{\pi st}.$ |
| 27 | Отношение масс электрона и нейтрона $r_{\text{пен}}$: $r_{\text{пен}} = \left[\frac{f_{\pi s} \cdot (1 + \Delta y_{\pi} \cdot \alpha_{\pi})^3}{\sqrt[3]{\pi^2}} \right] \cdot \left(\frac{a_{\pi e} + \alpha_{\pi w}}{a_{\pi e} + \Delta_{\pi a}} \right).$ |
| 28 | Отношение масс нейтрона и протона $r_{\text{ппр}}$: $r_{\text{ппр}} = \left(1 - \frac{\alpha_{\pi}}{\alpha_{\pi s}} \right) \cdot \left(\frac{a_{\pi e} + \Delta_{\pi a}}{a_{\pi e} + \alpha_{\pi w}} \right) \cdot k_{\pi st}.$ |
| 29 | Отношение магнитных моментов протона и нейтрона $r_{\pi\mu, \text{pn}}$: $r_{\pi\mu, \text{pn}} = \left[-\frac{(\pi - 1)^2}{\pi} \right] \cdot \frac{(1 + \alpha_{\pi w})^2}{(1 + \Delta_{\pi a})^2}.$ |

Таблица 2. Представлены результаты теоретических расчетов безразмерных ФФК.

| № | Наименование параметра | Символ | Числовое значение |
|----|---|-------------------------|---|
| 1 | скалярный параметр Среды | p_{fr} | 3,141 592 653 589 793 238 462 643 383 2795 |
| 2 | скалярный параметр структуры пространства – времени | $f_{\pi s}$ | 1,161 712 977 019 596 928 970 254 553 1147 x 10 ⁻³ |
| 3 | коэффициент асимметрии | k_{π} | 1,000 000 081 371 686 023 215 889 742 3969 |
| 4 | скалярный параметр элементарного заряда | α_{π} | 1,161 409 733 400 893 939 488 207 988 0708 x 10 ⁻³ |
| 5 | константа параметрической связи | β_{π} | 1,000 261 099 601 615 200 373 179 794 6737 |
| 6 | коэффициент электрослабой асимметрии | $k_{\pi w}$ | 1,000 000 081 810 773 063 436 894 140 0978 |
| 7 | скалярный параметр слабого заряда | $\alpha_{\pi w}$ | 2,454 323 392 693 189 976 915 245 746 5274 x 10 ⁻⁷ |
| 8 | коэффициент абсолютной стабильности | $k_{\pi st}$ | 1,000 000 732 345 412 577 634 571 480 525 |
| 9 | скалярный параметр сильного заряда | $\alpha_{\pi s}$ | 1,571 115 208 075 978 141 954 476 726 012 x 10 ¹ |
| 10 | отношение масс электрона и протона | $r_{\text{пер}}$ | 5,446 170 218 699 090 667 403 109 649 777 x 10 ⁻⁴ |
| 11 | электромагнитная константа асимметрии | $\Delta_{\pi a}$ | 1,757 552 613 321 940 865 158 064 577 x 10 ⁻⁶ |
| 12 | аномалия магнитного момента электрона | $a_{\pi e}$ | 1,159 652 180 787 571 998 623 049 923 493 x 10 ⁻³ |
| 13 | аномалия магнитного момента мюона | $a_{\pi\mu}$ | 1,165 920 932 325 338 116 640 429 308 749 x 10 ⁻³ |
| 14 | отношение масс электрона и нейтрона | $r_{\text{пен}}$ | 5,438 673 445 786 830 889 662 641 220 105 x 10 ⁻⁴ |
| 15 | отношение масс нейтрона и протона | $r_{\text{ппр}}$ | 1,001 378 419 386 085 276 312 923 899 0331 |
| 16 | отношение магнитных моментов протона и нейтрона | $r_{\pi\mu, \text{pn}}$ | -1,459 898 124 622 977 783 495 815 120 |
| 17 | постоянная масштабной инвариантности | ψ_{π} | 1,669 642 831 928 813 892 580 472 151 077 x 10 ⁻²³ |

Таблица 3. Представлены расчетные формулы для определения значений размерных ФФК.

| № | Наименование параметра | Символ | Расчетная формула | Ед. СГС |
|--|--|---------------------|---|---|
| 1 | длина волны Комптона* | $\lambda_{\pi C0}$ | $\lambda_{\pi C0} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\psi_{\pi}}{f_{\pi s}}} \cdot l_{\pi u}$ | см |
| 2 | постоянная Ридберга | $R_{\pi \infty 0}$ | $R_{\pi \infty 0} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot \alpha_{\pi}^2}{\lambda_{\pi C0}}$ | см ⁻¹ |
| Коэффициент согласования констант $R_{\pi \infty 0}$ и R_{∞} (CODATA) | | $\kappa_{\pi R}$ | $\kappa_{\pi R} = \frac{R_{\pi \infty 0}}{R_{\infty}}$ | - |
| 3 | постоянная Ридберга | $R_{\pi \infty}$ | $R_{\pi \infty} = \frac{R_{\pi \infty 0}}{\kappa_{\pi R}}$ | см ⁻¹ |
| 4 | длина волны Комптона | $\lambda_{\pi C}$ | $\lambda_{\pi C} = 2 \cdot \pi^2 \cdot \alpha_{\pi}^2 / R_{\pi \infty}$ | см |
| 5 | радиус Бора | $a_{\pi 0}$ | $a_{\pi 0} = \frac{\alpha_{\pi}}{2 \cdot R_{\pi \infty 0}}$ | см |
| 6 | масса электрона* | $m_{\pi e}$ | $m_{\pi e} = \pi^2 \cdot f_{\pi s}^3 \cdot \rho_{\pi Se} \cdot \lambda_{\pi C}^2$ | г |
| 7 | квант циркуляции | $q_{\pi c}$ | $q_{\pi c} = \lambda_{\pi C} \cdot c$ | см ² с ⁻¹ |
| 8 | постоянная Планка | h_{π} | $h_{\pi} = m_{\pi e} \cdot q_{\pi c}$ | г см ² с ⁻¹ |
| 9 | элементарный заряд | e_{π} | $e_{\pi} = (\pm \sqrt{\alpha_{\pi}}) \cdot \sqrt{h_{\pi} \cdot c}$ | г ^{-1/2} см ^{3/2} с ⁻¹ |
| 10 | коэффициент отношения элементарного заряда к массе электрона | $k_{e/m}$ | $k_{e/m} = \frac{-e_{\pi}}{m_{\pi e}}$ | г ^{-3/2} см ^{3/2} с ⁻¹ |
| 11 | постоянная Ридберга для атома протия | $R_{\pi H}$ | $R_{\pi H} = \frac{R_{\pi \infty}}{1 + r_{\pi ep}}$ | см ⁻¹ |
| 12 | масса протона | $m_{\pi p}$ | $m_{\pi p} = \frac{m_{\pi e}}{r_{ep}}$ | г |
| 13 | Комптовская длина волны протона | $\lambda_{\pi C,p}$ | $\lambda_{\pi C,p} = r_{ep} \cdot \lambda_{\pi C}$ | см |
| 14 | масса нейтрона | $m_{\pi n}$ | $m_{\pi n} = \frac{m_{\pi e}}{r_{en}}$ | г |
| 15 | Комптовская длина волны нейтрона | $\lambda_{\pi C,n}$ | $\lambda_{\pi C,n} = r_{en} \cdot \lambda_{\pi C}$ | см |
| 16 | атомная единица массы (1 а.е.м.) | $m_{\pi u}$ | $m_{\pi u} = \frac{r_{\pi \mu, pn}^2}{\sqrt[3]{\pi^2}} \cdot \left(\frac{1 + r_{\pi ep}}{r_{\pi pn}} \right) \cdot \left(\frac{f_{\pi s 0}}{f_{\pi s}} \right)^4 \cdot m_{\pi p}$ | г |
| 17 | молярная постоянная Планка | $h_{\pi M}$ | $h_{\pi M} = \frac{h_{\pi}}{m_{\pi u}}$ | см ² с ⁻¹ |
| 18 | постоянная Фарадея | F_{π} | $F_{\pi} = \frac{e_{\pi}}{m_{\pi u}}$ | г ^{-3/2} см ^{3/2} с ⁻¹ |
| 19 | постоянная Джозефсона | $K_{J\pi}$ | $K_{J\pi} = \frac{2 \cdot e_{\pi}}{h_{\pi}}$ | г ^{-3/2} см ^{-1/2} |
| 20 | постоянная фон Клитцинга | $R_{K\pi}$ | $R_{K\pi} = \frac{h_{\pi}}{e_{\pi}^2}$ | г ² см ⁻¹ с |
| 21 | длина Планка | $l_{\pi P}$ | $l_{\pi P} = \psi_{\pi} \cdot \lambda_{\pi C}$ | см |
| 22 | время Планка | $t_{\pi P}$ | $t_{\pi P} = \frac{l_{\pi P}}{c}$ | с |

| № | Наименование параметра | Символ | Расчетная формула | Ед. СГС |
|----|------------------------------|-------------|---|---|
| 23 | масса Планка | $m_{\pi P}$ | $m_{\pi P} = \frac{m_{\pi e}}{\psi_{\pi}}$ | г |
| 24 | постоянная тяготения Ньютона | G_{π} | $G_{\pi} = \frac{h_{\pi} \cdot c}{m_{\pi P}^2}$ | $\Gamma^{-1} \text{ см}^3 \text{ с}^{-2}$ |

* – в Пи-Теории поверхностная плотность массы электрона $\rho_{\pi Se}$ равна единичной массовой поверхностной плотности $\rho_{\pi Su} = 1,0 \left[\Gamma \cdot \text{см}^{-2} \right]$ Унитарной системы единиц: $l_{\pi u} = 1,0 \text{ [см]}$, $m_{\pi u} = 1,0 \text{ [г]}$, $t_{\pi u} = 1,0 \text{ [с]}$.

Таблица 4. Представлены результаты расчетов размерных ФФК в полном соответствии Таблице 3. Используются значения: постоянная Ридберга $R_{\infty} = 1,097\ 373\ 156\ 8539(55) \cdot 10^5 \left[\text{см}^{-1} \right]$ (CODATA 2010); скорость света $c = 2,99792458 \cdot 10^{10} \left[\text{см} \cdot \text{с}^{-1} \right]$.

| № | Наименование параметра | Символ | Численное значение (СГС) | Ед. СГС |
|----|--|---------------------|---|---|
| 1 | длина волны Комптона | $\lambda_{\pi C0}$ | $2,397\ 686\ 311\ 973\ 620 \times 10^{-10}$ | см |
| 2 | постоянная Ридберга | $R_{\pi e0}$ | $1,110\ 473\ 757\ 591\ 524 \times 10^5$ | см^{-1} |
| | Коэффициент согласования | $\kappa_{\pi R}$ | 1,011 938 145 7946 | - |
| 3 | постоянная Ридберга | \bar{R}_{∞} | $1,097\ 373\ 156\ 8539 \times 10^5$ | см^{-1} |
| 4 | длина волны Комптона | $\lambda_{\pi C}$ | $2,426\ 310\ 240\ 7357 \times 10^{-10}$ | см |
| 5 | радиус Бора | $a_{\pi 0}$ | $5,291\ 772\ 111\ 1867 \times 10^{-9}$ | см |
| 6 | масса электрона | $m_{\pi e}$ | $9,109\ 382\ 325\ 3402 \times 10^{-28}$ | г |
| 7 | квант циркуляции | $q_{\pi c}$ | 7,273 895 109 4073 | $\text{см}^2 \text{ с}^{-1}$ |
| 8 | постоянная Планка | h_{π} | $6,626\ 069\ 154\ 6014 \times 10^{-27}$ | $\Gamma \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$ |
| 9 | элементарный заряд | e_{π} | $4,803\ 204\ 354\ 1649 \times 10^{-10}$ | $\Gamma^{-1/2} \text{ см}^{3/2} \text{ с}^{-1}$ |
| 10 | коэффициент отношения элементарного заряда к массе электрона | $k_{e/m}$ | $-5,272\ 810\ 145\ 2098 \times 10^{17}$ | $\Gamma^{-3/2} \text{ см}^{3/2} \text{ с}^{-1}$ |
| 11 | постоянная Ридберга для атома протия | $R_{\pi H}$ | $1,096\ 775\ 834\ 0655 \times 10^5$ | см^{-1} |
| 12 | масса протона | $m_{\pi p}$ | $1,672\ 621\ 669\ 8229 \times 10^{-24}$ | г |
| 13 | Комптоновская длина волны протона | $\lambda_{\pi C,p}$ | $1,321\ 409\ 857\ 4420 \times 10^{-13}$ | см |
| 14 | масса нейтрона | $m_{\pi n}$ | $1,674\ 927\ 243\ 9581 \times 10^{-24}$ | г |
| 15 | Комптоновская длина волны нейтрона | $\lambda_{\pi C,n}$ | $1,319\ 590\ 907\ 7531 \times 10^{-13}$ | см |
| 16 | атомная единица массы (1 а.е.м.) | $m_{\pi u}$ | $1,660\ 539\ 062\ 8310 \times 10^{-24}$ | г |
| 17 | молярная постоянная Планка | $h_{\pi M}$ | $3,990\ 312\ 123\ 8863 \times 10^{-3}$ | $\text{см}^2 \text{ с}^{-1}$ |
| 18 | постоянная Фарадея | F_{π} | $2,892\ 557\ 279\ 5476 \times 10^{14}$ | $\Gamma^{-3/2} \text{ см}^{3/2} \text{ с}^{-1}$ |
| 19 | постоянная Джозефсона | $K_{J\pi}$ | $1,449\ 789\ 986\ 2181 \times 10^{17}$ | $\Gamma^{-3/2} \text{ см}^{-1/2}$ |
| 20 | постоянная фон Клитцинга | $R_{K\pi}$ | $2,872\ 062\ 163\ 8102 \times 10^{-8}$ | $\Gamma^2 \text{ см}^{-1} \text{ с}$ |
| 21 | интервал длины Планка | $l_{\pi P}$ | $4,051\ 071\ 501\ 4798 \times 10^{-33}$ | см |
| 22 | интервал времени Планка | $t_{\pi P}$ | $1,351\ 291\ 999\ 9741 \times 10^{-43}$ | с |
| 23 | интервал массы Планка | $m_{\pi P}$ | $5,455\ 886\ 822\ 7026 \times 10^{-5}$ | г |
| 24 | постоянная тяготения Ньютона | G_{π} | $6,673\ 381\ 632\ 9142 \times 10^{-8}$ | $\Gamma^{-1} \text{ см}^3 \text{ с}^{-2}$ |

В Таблице 5 приведено сравнение данных CODATA 2010 с теоретическими расчетами Пи-Теории.

Таблица 5. В соответствии с перечнем параметров из таблиц 1 и 3 приведены: значения ФФК рекомендованные CODATA (2010) для международного использования – из публикации на сайте NIST по адресу <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html>; результаты расчетов из таблиц 2 и 4; результаты сравнения данных (столбец 6), δ_r – относительная неопределенность.

| Параметр a (CODATA) | Численное значение, СГС (CODATA 2010) | Относительная погрешность | Параметр a^* (Пи-Теория) | Численное значение, СГС (Пи-Теория) | $\delta_r = \frac{a^* - \bar{a}}{a^*}$ |
|--------------------------|---|------------------------------|-------------------------------|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| α | $7,297\ 352\ 5698(24) \times 10^{-3}$ | $3,2 \times 10^{-10}$ | $\alpha_\pi \cdot 2\pi$ | $7,297\ 352\ 572\ 519\ 857 \times 10^{-3}$ | $3,7 \times 10^{-10}$ |
| a_e | $1,159\ 652\ 180\ 76(27) \times 10^{-3}$ | $2,3 \times 10^{-10}$ | $a_{\pi e}$ | $1,159\ 652\ 180\ 787\ 572 \times 10^{-3}$ | $0,2 \times 10^{-10}$ |
| a_μ | $1,165\ 920\ 91(63) \times 10^{-3}$ | $5,4 \times 10^{-7}$ | $a_{\pi\mu}$ | $1,165\ 920\ 932\ 325\ 338 \times 10^{-3}$ | $0,2 \times 10^{-7}$ |
| m_e / m_p | $5,446\ 170\ 2178(22) \times 10^{-4}$ | $4,1 \times 10^{-10}$ | $r_{\pi ep}$ | $5,446\ 170\ 218\ 699\ 091 \times 10^{-4}$ | $1,7 \times 10^{-10}$ |
| m_e / m_n | $5,438\ 673\ 4461(32) \times 10^{-4}$ | $5,8 \times 10^{-10}$ | $r_{\pi en}$ | $5,438\ 673\ 445\ 786\ 832 \times 10^{-4}$ | $-0,6 \times 10^{-10}$ |
| m_n / m_p | $1,001\ 378\ 419\ 17(45)$ | $4,5 \times 10^{-10}$ | $r_{\pi np}$ | $1,001\ 378\ 419\ 386\ 085$ | $2,2 \times 10^{-10}$ |
| μ_p / μ_n | $-1,459\ 898\ 06(34)$ | $2,4 \times 10^{-7}$ | $r_{\pi\mu, pn}$ | $-1,459\ 898\ 124\ 622\ 978$ | $0,4 \times 10^{-7}$ |
| R_∞ | $1,097\ 373\ 156\ 8539(55) \times 10^5$ | $5,0 \times 10^{-12}$ | $R_{\pi\infty}$ | $1,097\ 373\ 156\ 8539 \times 10^5$ | 0,0 |
| λ_C | $2,426\ 310\ 2389(16) \times 10^{-10}$ | $6,5 \times 10^{-10}$ | $\lambda_{\pi C}$ | $2,426\ 310\ 240\ 7357 \times 10^{-10}$ | $7,6 \times 10^{-10}$ |
| a_0 | $0,529\ 177\ 210\ 92(17) \times 10^{-8}$ | $3,2 \times 10^{-10}$ | $a_{\pi 0}$ | $0,529\ 177\ 211\ 1187 \times 10^{-8}$ | $3,8 \times 10^{-10}$ |
| m_e | $9,109\ 382\ 91(40) \times 10^{-28}$ | $4,4 \times 10^{-8}$ | $m_{\pi e}$ | $9,109\ 382\ 325\ 3402 \times 10^{-28}$ | $-6,4 \times 10^{-8}$ |
| h / m_e | $7,273\ 895\ 1040(47)$ | $6,5 \times 10^{-10}$ | $q_{\pi c}$ | $7,273\ 895\ 109\ 4073$ | $7,4 \times 10^{-10}$ |
| m_p | $1,672\ 621\ 777(74) \times 10^{-24}$ | $4,4 \times 10^{-8}$ | $m_{\pi p}$ | $1,672\ 621\ 669\ 8229 \times 10^{-24}$ | $-6,4 \times 10^{-8}$ |
| m_n | $1,674\ 927\ 351(74) \times 10^{-24}$ | $4,4 \times 10^{-8}$ | $m_{\pi n}$ | $1,674\ 927\ 243\ 9581 \times 10^{-24}$ | $-6,4 \times 10^{-8}$ |
| $\lambda_{C,p}$ | $1,321\ 409\ 856\ 23(94) \times 10^{-13}$ | $7,1 \times 10^{-10}$ | $\lambda_{\pi C,p}$ | $1,321\ 409\ 857\ 4420 \times 10^{-13}$ | $9,2 \times 10^{-10}$ |
| $\lambda_{C,n}$ | $1,319\ 590\ 9068(11) \times 10^{-13}$ | $8,2 \times 10^{-10}$ | $\lambda_{\pi C,n}$ | $1,319\ 590\ 907\ 7531 \times 10^{-13}$ | $7,2 \times 10^{-10}$ |
| m_u | $1,660\ 538\ 921(73) \times 10^{-24}$ | $4,4 \times 10^{-8}$ | $m_{\pi u}$ | $1,660\ 539\ 062\ 8310 \times 10^{-24}$ | $8,5 \times 10^{-8}$ |
| l_p | $1,616\ 199(97) \times 10^{-33}$ | $6,0 \times 10^{-5}$ | $l_{\pi p} / \sqrt{2\pi}$ | $1,616\ 143\ 702\ 8696 \times 10^{-33}$ | $-3,4 \times 10^{-5}$ |
| t_p | $5,391\ 06(32) \times 10^{-44}$ | $6,0 \times 10^{-5}$ | $t_{\pi p} / \sqrt{2\pi}$ | $5,390\ 875\ 119\ 5788 \times 10^{-44}$ | $-3,4 \times 10^{-5}$ |
| m_p | $2,176\ 51(13) \times 10^{-5}$ | $6,0 \times 10^{-5}$ | $m_{\pi p} / \sqrt{2\pi}$ | $2,176\ 583\ 930\ 6611 \times 10^{-5}$ | $3,4 \times 10^{-5}$ |
| h | $6,626\ 069\ 57(29) \times 10^{-27}$ | $4,4 \times 10^{-8}$ | h_π | $6,626\ 069\ 154\ 6014 \times 10^{-27}$ | $-6,3 \times 10^{-8}$ |
| G | $6,673\ 84(80) \times 10^{-8}$ | $1,2 \times 10^{-4}$ | G_π | $6,673\ 381\ 632\ 9142 \times 10^{-8}$ | $-0,7 \times 10^{-4}$ |