



**Библиотека бакалавра**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**  
**Государственное высшее учебное заведение**  
**«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

# **СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

## **ПО ФИЗИКЕ**

**2010**

# ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

|   | I                           | II                         | III                         | IV                             | V                          | VI                          | VII                         | VIII                       |                              |                             |                           |
|---|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1 | Н 1<br>1,0079<br>Водород    |                            |                             |                                |                            |                             |                             |                            |                              |                             | He 2<br>4,0026<br>Гелий   |
| 2 | Li 3<br>6,941<br>Литий      | Be 4<br>9,012<br>Бериллий  | B 5<br>10,811<br>Бор        | C 6<br>12,011<br>Углерод       | N 7<br>14,0067<br>Азот     | O 8<br>15,999<br>Кислород   | F 9<br>18,998<br>Фтор       |                            |                              |                             | Ne 10<br>20,179<br>Неон   |
| 3 | Na 11<br>22,990<br>Натрий   | Mg 12<br>24,305<br>Магний  | Al 13<br>26,982<br>Алюминий | Si 14<br>28,086<br>Кремний     | P 15<br>30,974<br>Фосфор   | S 16<br>32,066<br>Сера      | Cl 17<br>35,453<br>Хлор     |                            |                              |                             | Ar 18<br>39,948<br>Аргон  |
| 4 | K 19<br>39,098<br>Калий     | Ca 20<br>40,078<br>Кальций | 21 Sc<br>44,956<br>Скандий  | 22 Ti<br>47,88<br>Титан        | 23 V<br>50,942<br>Ванадий  | 24 Cr<br>51,996<br>Хром     | 25 Mn<br>54,938<br>Марганец | 26 Fe<br>55,847<br>Железо  | 27 Co<br>58,933<br>Кобальт   | 28 Ni<br>58,69<br>Никель    |                           |
|   | 29 Cu<br>63,546<br>Медь     | 30 Zn<br>65,39<br>Цинк     | 31 Ga<br>69,723<br>Галлий   | 32 Ge<br>72,59<br>Германий     | 33 As<br>74,922<br>Мышьяк  | 34 Se<br>78,96<br>Селен     | 35 Br<br>79,904<br>Бром     |                            |                              |                             | Kr 36<br>83,80<br>Криптон |
| 5 | Rb 37<br>85,468<br>Рубидий  | Sr 38<br>87,62<br>Стронций | 39 Y<br>88,906<br>Иттрий    | 40 Zr<br>91,224<br>Цирконий    | 41 Nb<br>92,906<br>Ниобий  | 42 Mo<br>95,94<br>Молибден  | 43 Tc<br>[99]<br>Технеций   | 44 Ru<br>101,07<br>Рутений | 45 Rh<br>102,905<br>Родий    | 46 Pd<br>106,42<br>Палладий |                           |
|   | 47 Ag<br>107,868<br>Серебро | 48 Cd<br>112,41<br>Кадмий  | 49 In<br>114,82<br>Индий    | 50 Sn<br>118,71<br>Олово       | 51 Sb<br>121,75<br>Сурьма  | 52 Te<br>127,60<br>Теллур   | 53 I<br>126,904<br>Йод      |                            |                              |                             | Xe 54<br>131,29<br>Ксенон |
| 6 | Cs 55<br>132,91<br>Цезий    | Ba 56<br>137,33<br>Барий   | 57 La*<br>138,905<br>Лантан | 72 Hf<br>178,49<br>Гафний      | 73 Ta<br>180,948<br>Тантал | 74 W<br>183,85<br>Вольфрам  | 75 Re<br>186,207<br>Рений   | 76 Os<br>190,20<br>Осмий   | 77 Ir<br>192,22<br>Иридий    | 78 Pt<br>195,08<br>Платина  |                           |
|   | 79 Au<br>196,967<br>Золото  | 80 Hg<br>200,59<br>Ртуть   | 81 Tl<br>204,38<br>Таллий   | 82 Pb<br>207,20<br>Свинец      | 83 Bi<br>208,98<br>Висмут  | 84 Po<br>[209]<br>Полоний   | 85 At<br>[210]<br>Астат     |                            |                              |                             | Rn 86<br>[222]<br>Радон   |
| 7 | Fr 87<br>[223]<br>Франций   | Ra 88<br>226,025<br>Радий  | 89 Ac**<br>[227]<br>Актиний | 104 Rf<br>[261]<br>Резерфордий | 105 Db<br>[262]<br>Дубний  | 106 Sg<br>[263]<br>Сиборгий | 107 Bh<br>[262]<br>Борий    | 108 Hs<br>[265]<br>Хассий  | 109 Mt<br>[266]<br>Мейтнерий | 110 Uun<br>[272]<br>Унунний |                           |

|              |                          |                                 |                           |                              |                            |                            |                              |                            |                              |                              |                           |                                |                            |                              |
|--------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| *Лантано-иды | 58 Ce<br>140,12<br>Церий | 59 Pr<br>140,908<br>Празеодим   | 60 Nd<br>144,24<br>Неодим | 61 Pm<br>[147]<br>Прометий   | 62 Sm<br>150,36<br>Самарий | 63 Eu<br>151,96<br>Европий | 64 Gd<br>157,25<br>Гадолиний | 65 Tb<br>158,925<br>Тербий | 66 Dy<br>162,50<br>Диспрозий | 67 Ho<br>164,93<br>Гольмий   | 68 Er<br>167,26<br>Эрбий  | 69 Tm<br>168,934<br>Тулий      | 70 Yb<br>173,04<br>Итербий | 71 Lu<br>174,967<br>Лютеций  |
| **Актиноиды  | 90 Th<br>232,04<br>Торий | 91 Pa<br>231,036<br>Протактиний | 92 U<br>238,029<br>Уран   | 93 Np<br>237,048<br>Нептуний | 94 Pu<br>[244]<br>Плутоний | 95 Am<br>[243]<br>Америций | 96 Cm<br>[247]<br>Кюрий      | 97 Bk<br>[247]<br>Берклий  | 98 Cf<br>[251]<br>Калифорний | 99 Es<br>[252]<br>Эйнштейний | 100 Fm<br>[257]<br>Фермий | 101 Md<br>[258]<br>Менделеевий | 102 No<br>[259]<br>Нобелий | 103 Lr<br>[260]<br>Лоуренсий |

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**  
**Государственное высшее учебное заведение**  
**«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

# **СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

## **ПО ФИЗИКЕ**

Рассмотрено на заседании кафедры физики

Протокол № 7 от 18.01.2010

Утверждено учебно-издательским советом

ДонНТУ Протокол № 1 от 02.03.2010

УДК 53(071)

Справочные материалы по физике / Сост.: Волков А.Ф., Лумпиева Т.П. – Донецк: ДонНТУ. – 2010. – 28 с.

Предлагаемые «Справочные материалы» охватывают все разделы курса физики, предусмотренные программой.

Материалы разбиты на разделы. В первом разделе приведены некоторые сведения по математике. Во втором разделе даны значения основных физических постоянных и сведения о единицах физических величин. Значения постоянных округлены до значений, достаточных для расчетов при решении задач и лабораторных расчетов.

Содержание третьего раздела составляют таблицы физических величин и графики. Приведенные таблицы и графики не претендуют на полноту охвата всех справочных сведений по тому или иному разделу курса физики. Из многочисленных сведений отобраны те, которые используются при решении типовых задач, а также те, которые необходимы при выполнении лабораторных работ физического практикума.

Составители:

А.Ф. Волков, доц.

Т.П. Лумпиева, ст. преп.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ .....                                                                                                                          | 4  |
| ПОЯСНЕНИЯ К ТАБЛИЦАМ .....                                                                                                                 | 4  |
| 1. НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО МАТЕМАТИКЕ .....                                                                                                  | 6  |
| 2. ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННЫЕ.                                                                                                         |    |
| ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН .....                                                                                                           | 9  |
| 2.1. Основные физические постоянные .....                                                                                                  | 9  |
| 2.2. Греческий и латинский алфавиты .....                                                                                                  | 10 |
| 2.3. Множители и приставки для образования десятичных, кратных и дольных единиц и их наименований. ....                                    | 11 |
| 2.4. Некоторые сведения о единицах физических величин. ....                                                                                | 12 |
| 3. ТАБЛИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН .....                                                                                                        | 14 |
| 3.1. Астрономические величины .....                                                                                                        | 14 |
| 3.2. Плотность и модуль упругости твердых тел .....                                                                                        | 14 |
| 3.3. Тепловые свойства твердых тел .....                                                                                                   | 15 |
| 3.4. Свойства жидкостей при 20°C .....                                                                                                     | 15 |
| 3.5. Свойства газов при 20°C .....                                                                                                         | 15 |
| 3.6. Скорость звука при 20°C .....                                                                                                         | 16 |
| 3.7. Состав сухого атмосферного воздуха .....                                                                                              | 16 |
| 3.8. Критические параметры и поправки Ван-дер-Ваальса .....                                                                                | 16 |
| 3.9. Элементы периодической системы .....                                                                                                  | 17 |
| 3.10. Электрические свойства веществ .....                                                                                                 | 18 |
| 3.11. Удельное электрическое сопротивление $\rho_0$ и температурный коэффициент сопротивления $\alpha$ некоторых проводников при 0°C ..... | 18 |
| 3.12. Связь между магнитной индукцией $B$ поля в ферромагнетике и напряженностью $H$ намагничивающего поля .....                           | 19 |
| 3.13. Показатели преломления .....                                                                                                         | 19 |
| 3.14. Интервалы длин волн и частот и соответствующие им цвета видимой части спектра .....                                                  | 20 |
| 3.15. Шкала электромагнитных волн .....                                                                                                    | 20 |
| 3.16. Длины волн ярких линий в спектре ртутной лампы ПРК-4 .....                                                                           | 21 |
| 3.17. Длины волн некоторых ярких линий в спектре неона .....                                                                               | 21 |
| 3.18. Спектральные линии атома водорода в видимой части спектра .....                                                                      | 22 |
| 3.19. Основные физические свойства некоторых полупроводниковых материалов .....                                                            | 22 |
| 3.20. Работа выхода для химически чистых элементов и элементов, покрытых слоем адсорбата .....                                             | 23 |
| 3.21. Зависимость удельной энергии связи от массового числа .....                                                                          | 24 |
| 3.22. Зависимость линейного коэффициента ослабления от энергии падающих фотонов для некоторых материалов .....                             | 24 |
| 3.23. Основные свойства некоторых изотопов .....                                                                                           | 25 |

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Решение многих физических и технических задач невозможно без использования справочных данных, поэтому умение работать со справочником является обязательным умением для специалиста любого направления подготовки. Прежде чем воспользоваться справочными данными, прочитайте пояснения к таблицам. Выполнив лабораторную работу, не забудьте оценить достоверность экспериментально полученного результата, сравнив его с табличными данными.

## ПОЯСНЕНИЯ К ТАБЛИЦАМ

### *Как выбирать приставки?*

Перечисленные в таблице множители и приставки используются для образования кратных и дольных единиц от единиц Международной системы (СИ) и от внесистемных единиц, допущенных к применению.

Приставки гекто..., дека..., деци... и санти... допускается применять только в наименованиях кратных и дольных единиц, уже получивших широкое распространение (гектар, декалитр, дециметр, сантиметр и др.).

Приставки рекомендуется выбирать таким образом, чтобы числовые значения величин находились в пределах от 0,1 до 1000. Например, для выражения числа  $7,5 \cdot 10^{-5}$  м следует выбрать приставку микро..., а не мили... или нано... С приставкой микро получим  $7,5 \cdot 10^{-5} = 75$  мкм, т.е. число, находящееся в пределах от 0,1 до 1000.

С приставкой милли получим  $7,5 \cdot 10^{-5} = 0,075$  мм, т.е., число меньшее 0,1. С приставкой нано –  $7,5 \cdot 10^{-5} = 75000$  нм, т.е. число, большее 1000.

Наименования и обозначения десятичных кратных и дольных единиц образуются присоединением приставок к наименованиям исходных единиц. Присоединение двух (и более) приставок подряд не допускается. Например, вместо единицы «микромикрофарад» следует применять единицу «пикофарад».

Обозначение приставки пишется слитно с обозначением единицы, к которой она присоединяется.

При сложном наименовании производной единицы СИ приставку присоединяют к наименованию первой единицы, входящей в произведение или числитель дроби. Например, кПа·с, но не Па·кс.

В виде исключения из этого правила в случаях, когда это нашло широкое применение, допускается присоединение приставки к наименованию единицы, входящей в знаменатель дроби. Например: кВ/см, А/мм<sup>2</sup>.

Кроме десятичных кратных и дольных единиц допущены к использованию кратные и дольные единицы времени, плоского угла и относительных величин, не являющихся десятичными. Например, единицы времени (минута, час, сутки); единицы плоского угла (градус, минута, секунда).

## *О единицах измерения параметров*

Единицы измерения параметров указаны в заголовках столбцов. Многие из них указаны с приставками. При расчете не забудьте вместо приставки записать соответствующий множитель (см. табл 1.3.).

### *О множителях в заголовках столбцов*

В заголовке некоторых столбцов таблиц стоит множитель вида  $10^n$ , где  $n$  – целое положительное или отрицательное число. Наличие такого множителя указывает, на то, что помещенные в столбце числа следует умножить на этот множитель. Например, в таблице «Температурные коэффициенты электрического сопротивления проводников» в заголовке стоит множитель  $10^{-3}$ . Следовательно, температурный коэффициент электрического сопротивления, например, алюминия равен  $4,6 \cdot 10^{-3}$  град $^{-1}$ .

### *При каких условиях определялись параметры?*

Параметры многих веществ зависят от температуры или давления. Как правило, в заголовке таблиц указываются значения температуры (или давления), при которых определялись значения параметров. Если в заголовке таблицы они не указаны, то это означает, что параметры определялись при лабораторных условиях, т.е. при нормальном атмосферном давлении и комнатной температуре ( $p_0=10^5$  Па,  $T=300$  К).

### *Немного истории*

Первые приставки были введены в 1773–1795 годах при узаконении во Франции метрической системы мер. Было принято для кратных единиц наименования приставок брать из греческого языка, для дольных – из латинского. В те годы были приняты следующие приставки: кило... (от греч. *chilioi* – тысяча), гекто... (от греч. *hekaton* – сто), дека... (от греч. *deka* – десять), деци... (от лат. *decem* – десять), санти... (от лат. *centum* – сто), милли... (от лат. *mille* – тысяча).

В последующие годы число кратных и дольных единиц увеличилось. Наименования приставок заимствовались иногда и из других языков.

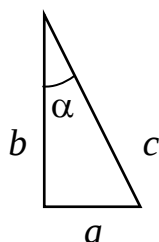
Появились следующие приставки: мега... (от греч. *megas* – большой), гига... (от греч. *gigas, gigantos* – великан), тера... (от греч. *teras, teratos* – огромный, чудовище), микро... (от греч. *mikros* – малый, маленький), нано... (от греч. *nanos* – карлик), пико... (от итал. *piccolo* – небольшой, мелкий), фемто... (от датск. *femten* – пятнадцать), атто... (от датск. *atten* – восемнадцать). Последние приставки – пета... и экса... – были приняты в 1975 году: пета (от греч. *peta* – пять, что соответствует пяти разрядам по  $10^3$ ), экса... (от греч. *hex* – шесть, что соответствует шести разрядам по  $10^3$ ).

## 1. Некоторые сведения по математике

### 1.1. Свойства степеней

|                             |                                                |                                       |                                                           |
|-----------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| $a^0 = 1$                   | $(a^n)^m = a^{n \cdot m}$                      | $a^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{a}$       | $\sqrt[n]{a^m} = a^{\frac{m}{n}}$                         |
| $a^n \cdot b^m = a^{n+m}$   | $(ab)^n = a^n \cdot b^n$                       | $\sqrt{ab} = \sqrt{a} \cdot \sqrt{b}$ | $(\sqrt[n]{a})^m = \sqrt[n]{a^m}$                         |
| $\frac{a^n}{a^m} = a^{n-m}$ | $\left(\frac{a}{b}\right)^n = \frac{a^n}{b^n}$ | $\frac{1}{a^n} = a^{-n}$              | $\sqrt[n]{\frac{a}{b}} = \frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}}$ |

### 1.2. Формулы тригонометрии



$$\sin \alpha = \frac{a}{c} = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}; \quad \cos \alpha = \frac{b}{c} = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}};$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b} \quad \operatorname{ctg} \alpha = \frac{b}{a} = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}$$

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \quad \operatorname{ctg} \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$$

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin \alpha \cos \beta + \sin \beta \cos \alpha$$

$$\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha \cos \beta - \sin \beta \cos \alpha$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta$$

$$\cos(\alpha - \beta) = \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta$$

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 1 - 2 \sin^2 \alpha$$

$$\sin\left(\alpha + \frac{\pi}{2}\right) = \cos \alpha$$

$$\sin\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right) = -\cos \alpha$$

$$\cos\left(\alpha + \frac{\pi}{2}\right) = -\sin \alpha$$

$$\cos\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right) = +\sin \alpha$$

$$\sin(\alpha + \pi) = -\sin \alpha$$

$$\sin(\alpha - \pi) = -\sin \alpha$$

$$\cos(\alpha + \pi) = -\cos \alpha$$

$$\cos(\alpha - \pi) = -\cos \alpha$$

### 1.3. Значения тригонометрических функций для некоторых углов

| Рadiany                     | 0        | $\frac{\pi}{6}$      | $\frac{\pi}{4}$      | $\frac{\pi}{3}$      | $\frac{\pi}{2}$ | $\pi$    | $\frac{3\pi}{2}$ | $2\pi$   |
|-----------------------------|----------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------|----------|------------------|----------|
| Гpадуcы                     | 0°       | 30°                  | 45°                  | 60°                  | 90°             | 180°     | 270°             | 360°     |
| $\sin \alpha$               | 0        | $\frac{1}{2}$        | $\frac{\sqrt{2}}{2}$ | $\frac{\sqrt{3}}{2}$ | 1               | 0        | -1               | 0        |
| $\cos \alpha$               | 1        | $\frac{\sqrt{3}}{2}$ | $\frac{\sqrt{2}}{2}$ | $\frac{1}{2}$        | 0               | -1       | 0                | 1        |
| $\operatorname{tg} \alpha$  | 0        | $\frac{\sqrt{3}}{3}$ | 1                    | $\sqrt{3}$           | $\infty$        | 0        | $\infty$         | 0        |
| $\operatorname{ctg} \alpha$ | $\infty$ | $\sqrt{3}$           | 1                    | $\frac{\sqrt{3}}{3}$ | 0               | $\infty$ | 0                | $\infty$ |

**1.4. Свойства логарифмов**

Если  $\log_a x = b$ , то  $x = a^b$ .

Если  $a = e = 2,71828\dots$  – основание натуральных логарифмов

$\log_e x = \ln x = b$ , то  $x = e^b$ .

$$\ln 1 = 0; \quad \ln(ab) = \ln a + \ln b; \quad \ln\left(\frac{a}{b}\right) = \ln a - \ln b.$$

**1.5. Многочлены**

$$a^2 - b^2 = (a + b)(a - b).$$

$$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2.$$

$$(a - b)^2 = a^2 - 2ab + b^2.$$

**1.6. Решение алгебраических уравнений**

| Уравнение | $ax + b = 0$       | $ax^2 + bx + c = 0$                      | $x^2 + px + q = 0$                                           |
|-----------|--------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Решение   | $x = \frac{-b}{a}$ | $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$ | $x = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}$ |

**1.7. Площади некоторых фигур**

| Прямо-<br>угольный<br>треугольник | Трапеция             | Круг                              | Сферическая<br>поверхность | Боковая<br>поверхность<br>цилиндра |
|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| $S = \frac{1}{2}ab$               | $S = \frac{a+b}{2}h$ | $S = \pi R^2 = \frac{\pi d^2}{4}$ | $S = 4\pi R^2 = \pi d^2$   | $S_{\text{бок}} = 2\pi Rh$         |

где  $a, b$  – катеты треугольника, основания трапеции;  $R$  – радиус;  $d$  – диаметр;  
 $h$  – высота трапеции, высота цилиндра.

**1.8. Объемы некоторых фигур**

| Куб       | Параллелепипед | Цилиндр                               | Шар, сфера                                   |
|-----------|----------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|
| $V = a^3$ | $V = abc$      | $V = \pi R^2 L = \frac{\pi d^2 h}{4}$ | $V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{\pi d^3}{6}$ |

где  $a, b, c$  – стороны параллелепипеда (куба);  $R$  – радиус;  $d$  – диаметр;  
 $h$  – высота цилиндра.

**1.9. Длина окружности**

$$L = 2\pi R = \pi d,$$

где  $R$  – радиус окружности,  $d$  – диаметр окружности

**1.10. Формулы для приближенных вычислений**

Если  $a \ll 1$ , то в первом приближении можно принять:

$$\frac{1}{1 \pm a} = 1 \mp a; \quad e^a = 1 + a; \quad \sqrt{1 \pm a} = 1 \pm \frac{1}{2}a;$$

$$(1 \pm a)^2 = 1 \pm 2a; \quad \ln(1 + a) = a; \quad \frac{1}{\sqrt{1 \pm a}} = 1 \mp \frac{1}{2}a.$$

Если угол  $\alpha$  мал ( $\alpha < 5^\circ$  или  $\alpha < 0,1$  рад) и выражен в радианах, то в первом приближении можно принять:

$$\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha = \alpha; \quad \cos \alpha = 1.$$

**1.11. Некоторые формулы дифференциального исчисления**

$$\frac{d(uv)}{dx} = v \frac{du}{dx} + u \frac{dv}{dx}; \quad \frac{d\left(\frac{u}{v}\right)}{dx} = \frac{v \frac{du}{dx} - u \frac{dv}{dx}}{v^2};$$

$$\frac{d(x^m)}{dx} = mx^{m-1}; \quad \frac{d(e^x)}{dx} = e^x; \quad \frac{d(\ln x)}{dx} = \frac{1}{x};$$

$$\frac{d(\sin x)}{dx} = \cos x; \quad \frac{d(\cos x)}{dx} = -\sin x; \quad \frac{d(\operatorname{tg} x)}{dx} = \frac{1}{\cos^2 x}.$$

**1.12. Некоторые формулы интегрального исчисления**

| Неопределенный интеграл                                     | Определенный интеграл                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\int x^m dx = \frac{1}{m+1} \cdot x^{m+1} + \text{const}$  | $\int_a^b x^m dx = \frac{1}{m+1} (b^{m+1} - a^{m+1})$                                                   |
| $\int \frac{1}{x^2} \cdot dx = -\frac{1}{x} + \text{const}$ | $\int_a^b \frac{1}{x^2} \cdot dx = -\left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a}\right) = \frac{1}{a} - \frac{1}{b}$ |
| $\int \frac{dx}{x} = \ln x + \text{const}$                  | $\int_a^b \frac{dx}{x} = \ln b - \ln a = \ln \frac{b}{a}$                                               |
| $\int \sin x dx = -\cos x + \text{const}$                   | $\int_a^b \sin x dx = -(\cos a - \cos b) = \cos b - \cos a$                                             |
| $\int \cos x dx = \sin x + \text{const}$                    | $\int_a^b \cos x dx = \sin b - \sin a$                                                                  |
| $\int e^x dx = e^x + \text{const}$                          | $\int_a^b e^x dx = e^b - e^a$                                                                           |

## 2. Основные физические постоянные. Единицы физических величин

### 2.1. Основные физические постоянные

| Величина                                | Обозначение  | Значения                                                       |
|-----------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------|
| Гравитационная постоянная               | $G, \gamma$  | $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ |
| Ускорение свободного падения            | $g$          | $9,81 \text{ м/с}^2$                                           |
| Скорость света в вакууме                | $c$          | $3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$                                     |
| Молярная газовая постоянная             | $R$          | $8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$                        |
| Постоянная Больцмана                    | $k$          | $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$                             |
| Число Авогадро                          | $N_A$        | $6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$                         |
| Молярная масса воздуха                  | $M$          | $29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$                             |
| Атомная единица массы                   | 1 а.е.м.     | $1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$                               |
| Масса покоя электрона                   | $m_e$        | $9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$<br>$0,00055 \text{ а.е.м.}$   |
| Масса покоя нейтрона                    | $m_n$        | $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$<br>$1,00867 \text{ а.е.м.}$   |
| Масса покоя протона                     | $m_p$        | $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$<br>$1,00728 \text{ а.е.м.}$   |
| Элементарный заряд                      | $e, q_e$     | $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$                                |
| Удельный заряд электрона                | $e/m_e$      | $1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$                             |
| Электрическая постоянная                | $\epsilon_0$ | $8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$                              |
| Магнитная постоянная                    | $\mu_0$      | $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$                              |
| Постоянная Планка                       | $h$          | $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$                |
| Постоянная Стефана-Больцмана            | $\sigma$     | $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$         |
| Постоянная смещения Вина                | $b$          | $2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$                  |
| Постоянная Ридберга                     | $R$          | $1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$                              |
| Боровский радиус                        | $a_0$        | $0,529 \cdot 10^{-10} \text{ м}$                               |
| Комптоновская длина волны для электрона | $\lambda_C$  | $2,43 \cdot 10^{-12} \text{ м}^{-1}$                           |
| Магнетон Бора                           | $\mu_B$      | $9,27 \cdot 10^{-24} \text{ А} \cdot \text{м}^2$               |
| Электрон-вольт                          | 1 эВ         | $1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$                               |
| Энергия ионизации атома водорода        | $E_i$        | 13,6 эВ                                                        |
| Энергетический эквивалент 1 а.е.м.      |              | 931,5 МэВ                                                      |
| Масса Земли                             | $M_3$        | $5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг}$                                |
| Радиус Земли                            | $R_3$        | $6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$                                    |
| Расстояние от Земли до Солнца           | $R$          | $149,46 \cdot 10^9 \text{ м}$                                  |

## 2.2. Греческий и латинский алфавиты

Для обозначения физических величин в физике используют греческие и латинские буквы, поэтому знание греческого и латинского алфавита облегчит понимание физического текста.

### 2.2.1. Алфавит греческий

| Греческая буква | Название по-английски | Название по-русски |
|-----------------|-----------------------|--------------------|
| Α α             | alpha                 | альфа              |
| Β β             | beta                  | бета               |
| Γ γ             | gamma                 | гамма              |
| Δ δ             | delta                 | дельта             |
| Ε ε             | epsilon               | эпсилон            |
| Ζ ζ             | zeta                  | дзета              |
| Η η             | eta                   | эта                |
| Θ θ             | theta                 | тета               |
| Ι ι             | iota                  | йота               |
| Κ κ             | kappa                 | каппа              |
| Λ λ             | lambda                | ламбда             |
| Μ μ             | mu                    | мю                 |
| Ν ν             | nu                    | ню                 |
| Ξ ξ             | xi                    | кси                |
| Ο ο             | omicron               | омикрон            |
| Π π             | pi                    | пи                 |
| Ρ ρ             | rho                   | ро                 |
| Σ σ             | sigma                 | сигма              |
| Τ τ             | tau                   | тау                |
| Υ υ             | upsilon               | ипсилон            |
| Φ φ             | phi                   | фи                 |
| Χ χ             | chi                   | хи                 |
| Ψ ψ             | psi                   | пси                |
| Ω ω             | omega                 | омега              |

### 2.2.2. Алфавит латинский

Современный латинский алфавит, являющийся основой письменности германских, романских и многих других языков, состоит из 26 букв. Буквы в разных языках называются по-разному. В таблице приведены русские и «русские математические» названия, которые следуют «французской» традиции.

| Латинская буква |             | Название буквы | Латинская буква |                | Название буквы |
|-----------------|-------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
|                 | Курсив      |                |                 | Курсив         |                |
| A, a            | <i>A, a</i> | а              | N, n            | <i>N, n</i>    | эн             |
| B, b            | <i>B, b</i> | бэ             | O, o            | <i>O, o</i>    | о              |
| C, c            | <i>C, c</i> | це             | P, p            | <i>P, p</i>    | пэ             |
| D, d            | <i>D, d</i> | дэ             | Q, q            | <i>Q, q</i>    | ку, кю         |
| E, e            | <i>E, e</i> | е              | R, r            | <i>R, r</i>    | эр             |
| F, f            | <i>F, f</i> | эф             | S, s            | <i>S, s</i>    | эс             |
| G, g            | <i>G, g</i> | же, гэ         | T, t            | <i>T, t</i>    | тэ             |
| H, h            | <i>H, h</i> | аш, ха         | U, u            | <i>U, u</i>    | у              |
| I, i            | <i>I, i</i> | и              | V, v            | <i>V, v, v</i> | вэ             |
| J, j            | <i>J, j</i> | йот, жи        | W, w            | <i>W, w, w</i> | дубль-вэ       |
| K, k            | <i>K, k</i> | ка             | X, x            | <i>X, x</i>    | икс            |
| L, l            | <i>L, l</i> | эль            | Y, y            | <i>Y, y</i>    | игрек          |
| M, m            | <i>M, m</i> | эм             | Z, z            | <i>Z, z</i>    | зет, зета      |

### 2.3. Множители и приставки для образования десятичных, кратных и дольных единиц и их наименований

| Множитель  | Приставка    |                  |                    | Пример      |     |     |
|------------|--------------|------------------|--------------------|-------------|-----|-----|
|            | наименование | Обознач. русское | Обознач. междунар. |             |     |     |
| $10^{12}$  | тера         | Т                | T                  | тераджоуль  | ТДж | TJ  |
| $10^9$     | гига         | Г                | G                  | гиганьютон  | ГН  | GN  |
| $10^6$     | мега         | М                | M                  | мегаом      | МОм | MΩ  |
| $10^3$     | кило         | к                | k                  | километр    | км  | km  |
| $10^2$     | гекто        | г                | h                  | гектоватт   | гВт | hW  |
| $10^1$     | дека         | да               | da                 | декалитр    | дал | dal |
| $10^{-1}$  | деци         | д                | d                  | дециметр    | дм  | dm  |
| $10^{-2}$  | санتي        | с                | c                  | сантиметр   | см  | cm  |
| $10^{-3}$  | милли        | м                | m                  | милливольт  | мV  | mV  |
| $10^{-6}$  | микро        | мк               | μ                  | микроампер  | мкА | μA  |
| $10^{-9}$  | нано         | н                | n                  | наносекунда | нс  | nc  |
| $10^{-12}$ | пико         | п                | p                  | пикофарад   | пФ  | pF  |
| $10^{-15}$ | фемто        | ф                | f                  | фемтометр   | фм  | fm  |

## 2.4. Некоторые сведения о единицах физических величин

### 2.4.1. Единицы физических величин СИ, имеющие собственные наименования

| Величина                             | Единица      |                          |                                |
|--------------------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------------|
|                                      | наименование | обозначение<br>(русское) | обозначение<br>(международное) |
| Длина                                | метр         | м                        | m                              |
| Масса                                | килограмм    | кг                       | kg                             |
| Время                                | секунда      | с                        | s                              |
| Плоский угол                         | радиан       | рад                      | rad                            |
| Телесный угол                        | стерадиан    | ср                       | sr                             |
| Сила, вес                            | ньютон       | Н                        | N                              |
| Работа, энергия                      | джоуль       | Дж                       | J                              |
| Мощность                             | ватт         | Вт                       | W                              |
| Давление                             | паскаль      | Па                       | Pa                             |
| Напряжение<br>(механическое)         | паскаль      | Па                       | Pa                             |
| Модуль упругости                     | паскаль      | Па                       | Pa                             |
| Частота колебаний                    | герц         | Гц                       | Hz                             |
| Термодинамическая температура        | кельвин      | К                        | K                              |
| Тепло<br>(количество тепла)          | джоуль       | Дж                       | J                              |
| Количество вещества                  | моль         | моль                     | mol                            |
| Электрический заряд                  | кулон        | Кл                       | C                              |
| Сила тока                            | ампер        | А                        | A                              |
| Потенциал<br>электрического поля     | вольт        | В                        | V                              |
| Напряжение<br>(электрическое)        | вольт        | В                        | V                              |
| Электрическая ёмкость                | фарад        | Ф                        | F                              |
| Электрическое сопротивление          | ом           | Ом                       | $\Omega$                       |
| Электрическая проводимость           | сименс       | См                       | S                              |
| Магнитная индукция                   | тесла        | Тл                       | T                              |
| Магнитный поток                      | вебер        | Вб                       | Wb                             |
| Индуктивность                        | генри        | Гн                       | H                              |
| Сила света                           | кандела      | кд                       | cd                             |
| Световой поток                       | люмен        | лм                       | lm                             |
| Освещенность                         | люкс         | лк                       | lx                             |
| Поток излучения                      | ватт         | Вт                       | W                              |
| Доза излучения<br>(поглощенная доза) | грей         | Гр                       | Gy                             |
| Активность препарата                 | беккерель    | Бк                       | Bq                             |

**2.4.2. Внесистемные единицы, допущенные к применению наравне с единицами СИ (в соответствии со стандартом 1052-78 «Метрология. Единицы физических величин»)**

| Величина                 | Наименование      | Обозначение | Соотношение с единицей СИ |
|--------------------------|-------------------|-------------|---------------------------|
| Масса                    | тонна             | т           | 1000 кг                   |
|                          | грамм             | г           | 0,001 кг                  |
| Объем, вместимость       | литр              | л           | 1 л=0,001 м <sup>3</sup>  |
| Относительная величина   | единица (число 1) | —           | 1                         |
|                          | процент           | %           | 10 <sup>-2</sup>          |
| Логарифмическая величина | бел               | Б           | —                         |
|                          | децибел           | дБ          | —                         |
| Температура              | градус Цельсия    | °С          | 1°С = 1К                  |

**2.4.3. Соотношения между внесистемными единицами и единицами СИ**

|                               |                                                                |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Длина                         | 1 ангстрем = 10 <sup>-10</sup> м                               |
| Время                         | 1 сутки = 86400 с                                              |
|                               | 1 год = 365,25 суток = 3,16·10 <sup>7</sup> с                  |
|                               | 1° = π/180 рад = 1,75·10 <sup>-2</sup> рад                     |
| Плоский угол                  | 1' = (π/108)·10 <sup>-2</sup> рад = 2,91·10 <sup>-4</sup> рад  |
|                               | 1'' = (π/648)·10 <sup>-3</sup> рад = 4,85·10 <sup>-6</sup> рад |
|                               | 1 рад = 57,29577951° = 57°17'44''8                             |
|                               | 1 л = 1 дм <sup>3</sup> = 10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup>      |
| Масса                         | 1 т = 10 <sup>3</sup> кг                                       |
|                               | 1 г = 10 <sup>-3</sup> кг                                      |
|                               | 1 а.е.м. = 1,66·10 <sup>-27</sup> кг                           |
| Сила                          | 1 кгс = 9,81 Н                                                 |
| Работа, энергия               | 1 эВ = 1,6·10 <sup>-19</sup> Дж                                |
|                               | 1 кВт·ч = 3,6·10 <sup>6</sup> Дж                               |
| Мощность                      | 1 л.с. = 736 Вт                                                |
| Давление                      | 1 кгс/см <sup>2</sup> = 1 атм (техн) = 9,81·10 <sup>4</sup> Па |
|                               | 1 бар = 10 <sup>5</sup> Па                                     |
|                               | 1 мм рт. ст. = 133,3 Па                                        |
| Тепло (количество тепла)      | 1 кал = 4,19 Дж                                                |
| Магнитная индукция            | 1 Гс (гаусс) = 10 <sup>-4</sup> Тл                             |
| Напряженность магнитного поля | 1 Э (эрстед) = 79,6 А/м ≈ 80 А/м                               |

### 3. Таблицы физических величин

#### 3.1. Астрономические величины

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Радиус Солнца                                | $6,94 \cdot 10^8$ м     |
| Масса Солнца                                 | $1,99 \cdot 10^{30}$ кг |
| Радиус Земли                                 | $6,37 \cdot 10^6$ м     |
| Масса Земли                                  | $5,98 \cdot 10^{24}$ кг |
| Радиус Луны                                  | $1,74 \cdot 10^6$ м     |
| Масса Луны                                   | $7,35 \cdot 10^{22}$ кг |
| Среднее расстояние от Земли до Солнца        | $1,496 \cdot 10^{11}$ м |
| Среднее расстояние от Земли до Луны          | $3,844 \cdot 10^8$ м    |
| Время полного оборота Земли вокруг своей оси | 23 час 56 мин 4,09 сек  |
| Период обращения Луны вокруг Земли           | 27 сут 7 час 43 мин     |

#### 3.2. Плотность и модуль упругости твердых тел

| Материал               |    | Плотность<br>$\rho$ ,<br>$10^3$ кг/м <sup>3</sup> | Модуль упругости<br>(модуль Юнга)<br>$E$ , ГПа |
|------------------------|----|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Алюминий               | Al | 2,70                                              | 69 – 72                                        |
| Вольфрам               | W  | 19,3                                              | 350 – 400                                      |
| Германий               | Ge | 5,32                                              | 82                                             |
| Железо                 | Fe | 7,86                                              | 195 – 205                                      |
| Золото                 | Au | 19,3                                              | 78 – 83                                        |
| Индий                  | In | 7,31                                              | 10,5                                           |
| Кремний                | Si | 2,33                                              | 110 – 160                                      |
| Медь                   | Cu | 8,96                                              | 110 – 130                                      |
| Молибден               | Mo | 10,2                                              | 300 – 330                                      |
| Никель                 | Ni | 8,9                                               | 200 – 220                                      |
| Олово                  | Sn | 7,3                                               | 41 – 55                                        |
| Палладий               | Pd | 12,0                                              | 115 – 125                                      |
| Платина                | Pt | 21,4                                              | 150 – 175                                      |
| Селен                  | Se | 4,79                                              | 55                                             |
| Серебро                | Ag | 10,5                                              | 72 – 72,5                                      |
| Свинец                 | Pb | 11,4                                              | 14 – 18                                        |
| Титан                  | Ti | 4,51                                              | 110                                            |
| Цинк                   | Zn | 7,14                                              | 100 – 130                                      |
| Дюралюминий            |    | 2,79                                              | 70 – 72,5                                      |
| Сталь (катаная)        |    | 7,85–8,0                                          | 200 – 210                                      |
| Медные сплавы (латуни) |    | 8,4–8,7                                           | 102 – 115                                      |

**3.3. Тепловые свойства твердых тел**

| Вещество                  | $t_{\text{пл}},$<br>°C | $c,$<br>кДж/(кг·К) | $\lambda,$<br>$10^5$ Дж/кг | $\eta,$<br>Вт/(м·К) | $\alpha,$<br>$10^{-5}$ К $^{-1}$ |
|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------------|
| Алюминий                  | 660                    | 0,86               | 4,0                        | 237                 | 2,3 – 2,4                        |
| Дюралюминий               | 600                    | 0,60               |                            | 130                 | 1,8 – 2,6                        |
| Сталь                     | 1440                   | 0,45               | 2,7                        | 50                  | 1,0 – 1,8                        |
| Золото                    | 1063                   |                    | 0,64                       | 317                 | 7,8 – 8,3                        |
| Медь                      | 1083                   | 0,38               | 2,1                        | 400                 | 1,6 – 1,7                        |
| Медные сплавы<br>(латуни) | 900                    | 0,35               |                            | 110                 | 1,8 – 2,0                        |
| Свинец                    | 327                    | 0,13               | 0,23                       | 35                  | 2,8 – 2,9                        |
| Олово                     | 232                    | 0,23               | 0,605                      | 70                  | 2,0 – 2,2                        |
| Лед                       | 0                      | 2,1                | 3,4                        | 2,2                 | 5,27                             |
| Стекло<br>(оконное)       | 600                    | 0,67               | 1,4                        | 0,92                | 0,6 – 1,0                        |

$t_{\text{пл}}$  – температура плавления;  $c$  – удельная теплоемкость;  
 $\lambda$  – удельная теплота плавления;  $\eta$  – коэффициент теплопроводности;  
 $\alpha$  – температурный коэффициент линейного расширения (средние значения).

**3.4. Свойства жидкостей при 20°C**

| Вещество         | Плотность<br>$\rho,$<br>кг/м $^3$ | Вязкость<br>$\eta,$<br>мПа·с | Поверхностное<br>натяжение<br>$\alpha,$<br>мН/м | Температура<br>кипения<br>$t,$<br>°C |
|------------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Вода             | 1000                              | 1,00                         | 72,8                                            | 100                                  |
| Глицерин         | 1260                              | 1480                         | 59,4                                            | 290                                  |
| Масло касторовое | 955                               | 986                          | 32,8                                            |                                      |
| Керосин          | 840                               | 1,5                          | 24,0                                            | 150 – 250                            |
| Ртуть            | 13595                             | 1,55                         | 475,0                                           | 356,6                                |

**3.5. Свойства газов при 20°C**

| Вещество               | Плотность<br>$\rho,$ кг/м $^3$ | Диаметр<br>молекулы<br>$d,$ нм | Вязкость<br>$\eta,$ мкПа·с | Показатель<br>адиабаты<br>$\gamma=c_p/c_v$ |
|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|
| Азот N $_2$            | 1,250                          | 0,371                          | 16,6                       | 1,401                                      |
| Водород H $_2$         | 0,089                          | 0,28                           | 8,4                        | 1,407                                      |
| Воздух                 | 1,293                          | 0,357                          | 17,1                       | 1,400                                      |
| Гелий He               | 0,178                          | 0,1987                         | 18,6                       | 1,63                                       |
| Кислород O $_2$        | 1,429                          | 0,35                           | 19,2                       | 1,400                                      |
| Метан CH $_4$          | 0,717                          |                                |                            |                                            |
| Углекислый газ CO $_2$ | 1,977                          | 0,45                           | 13,8                       | 1,33                                       |

**3.6. Скорость звука при 20°C**

| Газы                         |           | Жидкости   |           | Твердые тела               |           |
|------------------------------|-----------|------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Вещество                     | $v$ , м/с | Вещество   | $v$ , м/с | Вещество                   | $v$ , м/с |
| Азот                         | 334       | Анилин     | 1656      | Алюминий                   | 5080      |
| Водород                      | 1300      | Бензол     | 1321      | Железо                     | 5170      |
| Воздух                       | 334       | Вода       | 1482      | Сталь                      | 5100      |
| Гелий                        | 965       | Глицерин   | 1895      | Чугун                      | 3850      |
| Кислород                     | 315       | Дихлорэтан | 1034      | Латунь                     | 3490      |
| Метан                        | 430       | Керосин    | 1295      | Гранит                     | 3950      |
| Углекислый газ $\text{CO}_2$ | 260       |            |           | Лёд ( $-4^\circ\text{C}$ ) | 3280      |

**3.7. Состав сухого атмосферного воздуха**

| Газ            | Хим. формула  | Объемные %          | Весовые %           |
|----------------|---------------|---------------------|---------------------|
| Азот           | $\text{N}_2$  | 78,09               | 75,50               |
| Кислород       | $\text{O}_2$  | 20,95               | 23,10               |
| Аргон          | $\text{Ar}$   | 0,932               | 1,286               |
| Углекислый газ | $\text{CO}_2$ | 0,030               | 0,046               |
| Неон           | $\text{Ne}$   | $1,8 \cdot 10^{-3}$ | $1,3 \cdot 10^{-3}$ |
| Гелий          | $\text{He}$   | $4,6 \cdot 10^{-4}$ | $7,2 \cdot 10^{-5}$ |

**Примечания:**

1. Состав воздуха постоянен до высоты 60 км.
2. Молярная масса воздуха  $M=0,029$  кг/моль.
3. Содержание водяных паров в воздухе колеблется от 0,1 до 2,8 объемных %.

**3.8. Критические параметры и поправки Ван-дер-Ваальса**

| Газ            | Критическая температура | Критическое давление  | Поправка Ван-дер-Ваальса                        |                                         |
|----------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|                | $T_{\text{кр}}$ , К     | $p_{\text{кр}}$ , МПа | $a$ , $\text{Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2$ | $b$ , $10^{-5} \text{ м}^3/\text{моль}$ |
| Азот           | 126                     | 3,39                  | 0,135                                           | 3,86                                    |
| Аргон          | 151                     | 4,86                  | 0,134                                           | 3,22                                    |
| Водород        | 33                      | 1,30                  | 0,025                                           | 2,66                                    |
| Водяной пар    | 647                     | 22,1                  | 0,545                                           | 3,04                                    |
| Гелий          | 5,2                     | 0,23                  | 0,003                                           | 2,36                                    |
| Кислород       | 1,55                    | 5,08                  | 0,136                                           | 3,17                                    |
| Углекислый газ | 304                     | 7,38                  | 0,361                                           | 4,28                                    |
| Хлор           | 417                     | 7,71                  | 0,650                                           | 5,62                                    |
| Эфир           | 467                     | 3,59                  | 1,746                                           | 13,33                                   |

**3.9. Элементы периодической системы**

$Z$  – порядковый номер;  $A$  – относительная атомная масса химического элемента (округленные значения)

| $Z$ | Элемент  | Символ | $A$ | $Z$ | Элемент     | Символ | $A$ |
|-----|----------|--------|-----|-----|-------------|--------|-----|
| 1   | Водород  | H      | 1   | 47  | Серебро     | Ag     | 108 |
| 2   | Гелий    | He     | 4   | 48  | Кадмий      | Cd     | 112 |
| 3   | Литий    | Li     | 7   | 49  | Индий       | In     | 115 |
| 4   | Бериллий | Be     | 9   | 50  | Олово       | Sn     | 119 |
| 5   | Бор      | B      | 11  | 51  | Сурьма      | Sb     | 122 |
| 6   | Углерод  | C      | 12  | 52  | Теллур      | Te     | 128 |
| 7   | Азот     | N      | 14  | 53  | Иод         | I      | 127 |
| 8   | Кислород | O      | 16  | 54  | Ксенон      | Xe     | 131 |
| 9   | Фтор     | F      | 19  | 55  | Цезий       | Cs     | 133 |
| 10  | Неон     | Ne     | 20  | 56  | Барий       | Ba     | 137 |
| 11  | Натрий   | Na     | 23  | 57  | Лантан      | La     | 139 |
| 12  | Магний   | Mg     | 24  | 58  | Церий       | Ce     | 140 |
| 13  | Алюминий | Al     | 27  | 59  | Празеодим   | Pr     | 141 |
| 14  | Кремний  | Si     | 28  | 60  | Неодим      | Nd     | 144 |
| 15  | Фосфор   | P      | 31  | 61  | Прометий    | Pm     | 145 |
| 16  | Сера     | S      | 32  | 62  | Самарий     | Sm     | 150 |
| 17  | Хлор     | Cl     | 35  | 63  | Европий     | Eu     | 152 |
| 18  | Аргон    | Ar     | 40  | 64  | Гадолиний   | Gd     | 157 |
| 19  | Калий    | K      | 39  | 65  | Тербий      | Tb     | 159 |
| 20  | Кальций  | Ca     | 40  | 66  | Диспрозий   | Dy     | 163 |
| 21  | Скандий  | Sc     | 45  | 67  | Гольмий     | Ho     | 165 |
| 22  | Титан    | Ti     | 47  | 68  | Эрбий       | Er     | 167 |
| 23  | Ванадий  | V      | 51  | 69  | Тулий       | Tu     | 169 |
| 24  | Хром     | Cr     | 52  | 70  | Иттербий    | Yb     | 173 |
| 25  | Марганец | Mn     | 55  | 71  | Лютеций     | Lu     | 175 |
| 26  | Железо   | Fe     | 56  | 72  | Гафний      | Hf     | 178 |
| 27  | Кобальт  | Co     | 59  | 73  | Тантал      | Ta     | 181 |
| 28  | Никель   | Ni     | 59  | 74  | Вольфрам    | W      | 184 |
| 29  | Медь     | Cu     | 64  | 75  | Рений       | Re     | 186 |
| 30  | Цинк     | Zn     | 65  | 76  | Осмий       | Os     | 190 |
| 31  | Галлий   | Ga     | 70  | 77  | Иридий      | Ir     | 192 |
| 32  | Германий | Ge     | 73  | 78  | Платина     | Pt     | 195 |
| 33  | Мышьяк   | As     | 75  | 79  | Золото      | Au     | 197 |
| 34  | Селен    | Se     | 79  | 80  | Ртуть       | Hg     | 201 |
| 35  | Бром     | Br     | 80  | 81  | Таллий      | Tl     | 204 |
| 36  | Криптон  | Kr     | 84  | 82  | Свинец      | Pb     | 207 |
| 37  | Рубидий  | Rb     | 86  | 83  | Висмут      | Bi     | 209 |
| 38  | Стронций | Sr     | 88  | 84  | Полоний     | Po     | 210 |
| 39  | Иттрий   | Y      | 89  | 85  | Астат       | At     | 210 |
| 40  | Цирконий | Zr     | 91  | 86  | Радон       | Rn     | 222 |
| 41  | Ниобий   | Nb     | 93  | 87  | Франций     | Fr     | 223 |
| 42  | Молибден | Mo     | 96  | 88  | Радий       | Ra     | 226 |
| 43  | Технеций | Tc     | 99  | 89  | Актиний     | Ac     | 227 |
| 44  | Рутений  | Ru     | 101 | 90  | Торий       | Th     | 232 |
| 45  | Родий    | Rh     | 103 | 91  | Протактиний | Pa     | 231 |
| 46  | Палладий | Pd     | 106 | 92  | Уран        | U      | 238 |

**3.10. Электрические свойства веществ**

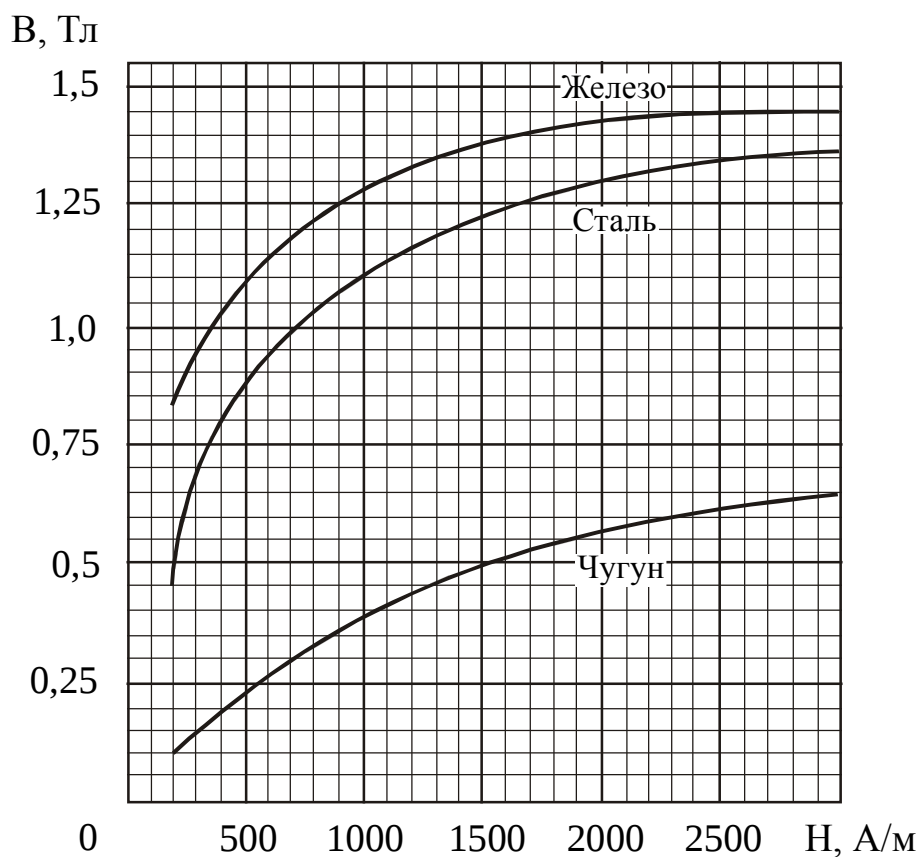
| Вещество                   | Диэлектрическая<br>проницаемость,<br>$\epsilon$ | Пробивная<br>напряженность<br>$E$ , $10^6$ В/м |
|----------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Воздух                     | 1,0                                             | 3,1                                            |
| Масло трансформаторное     | 2,2                                             | 12 – 20                                        |
| Масло конденсаторное       | 4,0                                             | 20 – 25                                        |
| Слюда                      | 7,0                                             | 100 – 250                                      |
| Стекло электроизоляционное | 5,0                                             | 40 – 44                                        |
| Текстолит                  | 8,0                                             | 27 – 30                                        |
| Парафинированная бумага    | 2,1                                             | 40 – 60                                        |
| Полиэтилен                 | 2,2                                             | 25 – 60                                        |
| Керосин                    | 2,1                                             | –                                              |
| Фарфор                     | 5,0                                             | 30 – 32                                        |
| Эбонит                     | 3,0                                             | 20 – 35                                        |

**3.11. Удельное электрическое сопротивление  $\rho_0$  и температурный коэффициент сопротивления  $\alpha$  некоторых проводников при  $0^\circ\text{C}$** 

| Проводник |    | $\rho_0$ ,<br>$10^{-8}$ Ом·м | $\alpha$ ,<br>$10^{-3}$ град $^{-1}$ |
|-----------|----|------------------------------|--------------------------------------|
| Алюминий  | Al | 2,5                          | 4,60                                 |
| Ванадий   | V  | 18,2                         | 3,90                                 |
| Вольфрам  | W  | 4,89                         | 5,10                                 |
| Железо    | Fe | 8,6                          | 6,51                                 |
| Золото    | Au | 2,06                         | 4,02                                 |
| Кобальт   | Co | 5,57                         | 6,04                                 |
| Магний    | Mg | 4,31                         | 4,12                                 |
| Медь      | Cu | 1,55                         | 4,33                                 |
| Молибден  | Mo | 5,05                         | 4,73                                 |
| Неодим    | Nd | 71,0                         | 2,00                                 |
| Никель    | Ni | 6,14                         | 6,92                                 |
| Олово     | Sn | 11,15                        | 4,65                                 |
| Палладий  | Pd | 9,77                         | 3,77                                 |
| Платина   | Pt | 9,81                         | 3,96                                 |
| Ртуть     | Hg | 94,07                        | 0,99                                 |
| Свинец    | Pb | 19,2                         | 4,28                                 |
| Серебро   | Ag | 1,49                         | 4,30                                 |
| Титан     | Ti | 42,0                         | 5,46                                 |
| Хром      | Cr | 14,1                         | 3,01                                 |
| Цинк      | Zn | 5,65                         | 4,17                                 |

| Проводник         | $\rho_0$ ,<br>$10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ | $\alpha$ ,<br>$10^{-3} \text{ град}^{-1}$ |
|-------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Сталь             | 12,0                                            | 6,10                                      |
| Константан        | 50,0                                            | 0,05                                      |
| Манганин          | 43,0                                            | 0,01                                      |
| Нейзильбер        | 30,0                                            | 0,25                                      |
| Никелин           | 40,0                                            | 0,11                                      |
| Нихром            | 110,0                                           | 0,12                                      |
| Фехраль           | 130,0                                           | 0,15                                      |
| Латунь            | 7,1                                             | 1,70                                      |
| Платиносеребряный | 27,0                                            | 0,24                                      |

### 3.12. Связь между магнитной индукцией $B$ поля в ферромагнетике и напряженностью $H$ намагничивающего поля



### 3.13. Показатели преломления (средние значения)

| Газы     |          | Жидкости       |      | Твердые тела |      |
|----------|----------|----------------|------|--------------|------|
| Вещество | $n$      | Вещество       | $n$  | Вещество     | $n$  |
| Азот     | 1,000297 | Вода           | 1,33 | Алмаз        | 2,42 |
| Воздух   | 1,000292 | Глицерин       | 1,47 | Кварц плав   | 1,46 |
| Метан    | 1,000441 | Масло кедровое | 1,52 | Стекло       | 1,50 |
| Хлор     | 1,000768 | Масло коричное | 1,60 | NaCl         | 1,53 |

### 3.14. Интервалы длин волн и частот и соответствующие им цвета видимой части спектра\*

| Цвет спектра | Длина волны<br>$\lambda$ , нм | Частота<br>$\nu$ , $10^{14}$ Гц |
|--------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Красный      | 760 – 620                     | 3,95 – 4,83                     |
| Оранжевый    | 620 – 590                     | 4,83 – 5,08                     |
| Желтый       | 590 – 560                     | 5,08 – 5,36                     |
| Зеленый      | 560 – 500                     | 5,36 – 6,00                     |
| Голубой      | 500 – 480                     | 6,00 – 6,25                     |
| Синий        | 480 – 450                     | 6,25 – 6,66                     |
| Фиолетовый   | 450 – 380                     | 6,66 – 7,89                     |

\*Область видимой части спектра заключена в границах волн приблизительно от 380 до 760 нм. Границы цветов спектра также определяются лишь условно.

### 3.15. Шкала электромагнитных волн

| Название диапазона волн                | Примерный диапазон длин волн               |                      | Диапазон частот                            |
|----------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------|
|                                        | м                                          | Другие единицы       | Гц                                         |
| Низкочастотные электрические колебания | $\infty \div 10^{+5}$                      | $\infty \div 100$ км | $0 \div 3 \cdot 10^3$                      |
| Радиоволны                             | $10^{+5} \div 10^{-3}$                     | 100 км $\div$ 1 мм   | $3 \cdot 10^3 \div 3 \cdot 10^{11}$        |
| Инфракрасное излучение                 | $2 \cdot 10^{-3} \div 7,6 \cdot 10^{-7}$   | 2 мм $\div$ 760 нм   | $1,5 \cdot 10^{11} \div 4,0 \cdot 10^{14}$ |
| Видимое излучение                      | $7,6 \cdot 10^{-7} \div 3,8 \cdot 10^{-7}$ | 760 $\div$ 380 нм    | $4,0 \cdot 10^{14} \div 8,0 \cdot 10^{14}$ |
| Ультрафиолетовое излучение             | $3,8 \cdot 10^{-7} \div 3 \cdot 10^{-9}$   | 380 $\div$ 3 нм      | $8,0 \cdot 10^{14} \div 10^{17}$           |
| Рентгеновское излучение                | $10^{-8} \div 10^{-12}$                    | 10 нм $\div$ 1 пм    | $3 \cdot 10^{16} \div 3 \cdot 10^{20}$     |
| Гамма-излучение                        | $10^{-11}$ и менее                         | 10 пм и менее        | $3 \cdot 10^{19}$ и выше                   |

Обратите внимание! Различные виды электромагнитного излучения отличаются лишь длиной волны (или, что то же самое, частотой). В зависимости от длины волны (частоты) меняются свойства волн, их действия, способы получения и названия отдельных участков.

**3.16. Длины волн ярких линий в спектре ртутной лампы ПРК-4**

| Окраска линии | Длина волны<br>$\lambda$ , нм | Относительная яркость<br>(визуальная оценка) |
|---------------|-------------------------------|----------------------------------------------|
| Фиолетовая    | 404,66                        | 2                                            |
| Фиолетовая    | 407,78                        | 1                                            |
| Синяя         | 435,83                        | 8                                            |
| Голубая       | 491,60                        | 1                                            |
| Зеленая       | 546,07                        | 10                                           |
| Желтая        | 576,96                        | 8                                            |
| Желтая        | 579,07                        | 10                                           |

**3.17. Длины волн некоторых ярких линий в спектре неона<sup>1)</sup>**

| Окраска линии    | Длина волны<br>$\lambda$ , нм | Относительная яркость<br>(визуальная оценка) |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|
|                  |                               |                                              |
| Желтая           | 576,44                        | 3                                            |
| Желтая           | 585,25                        | 10                                           |
| Желтая           | 588,19                        | 4                                            |
| Оранжевая        | 594,48                        | 3                                            |
| Оранжевая        | 597,55                        | 2                                            |
| Красно-оранжевая | 603,00                        | 2                                            |
| Красно-оранжевая | 607,43                        | 4                                            |
| Красно-оранжевая | 609,62                        | 3                                            |
| Красно-оранжевая | 614,31                        | 6                                            |
| Ярко-красная     | 616,36                        | 5                                            |
| Ярко-красная     | 621,73                        | 3                                            |
| Ярко-красная     | 626,65                        | 8                                            |
| Ярко-красная     | 630,48                        | 2                                            |
| Ярко-красная     | 633,44                        | 5                                            |
| Ярко-красная     | 638,30                        | 10                                           |
| Ярко-красная     | 640,22                        | 10                                           |
| Красная          | 650,65                        | 5                                            |
| Красная          | 653,29                        | 5                                            |
| Красная          | 659,89                        | 5                                            |
| Красная          | 667,83                        | 3                                            |
| Красная          | 671,70                        | 1                                            |

<sup>1)</sup> В таблице подробно даны линии красно-оранжевой области спектра, обычно используемые для градуировки спектральных приборов. В области длин волн, меньших 580 нм, градуировку удобнее проводить по спектру ртути.

### 3.18. Спектральные линии атома водорода в видимой части спектра (серия Бальмера)

| Переход<br>$n_i \rightarrow n_k$ | Обозначение     | Длина волны<br>$\lambda$ , м | Частота<br>$\nu$ , $10^{14}$ Гц | Цвет             |
|----------------------------------|-----------------|------------------------------|---------------------------------|------------------|
| 3→2                              | H $_{\alpha}$   | 656,280                      | 4,571                           | Красная          |
| 4→2                              | H $_{\beta}$    | 486,132                      | 6,171                           | Зелено-голубая   |
| 5→2                              | H $_{\gamma}$   | 434,046                      | 6,911                           | Сине-фиолетовая  |
| 6→2                              | H $_{\delta}$   | 410,173                      | 7,313                           | Фиолетовая       |
| 7→2                              | H $_{\epsilon}$ | 397,007                      | 7,557                           | Ультрафиолетовая |

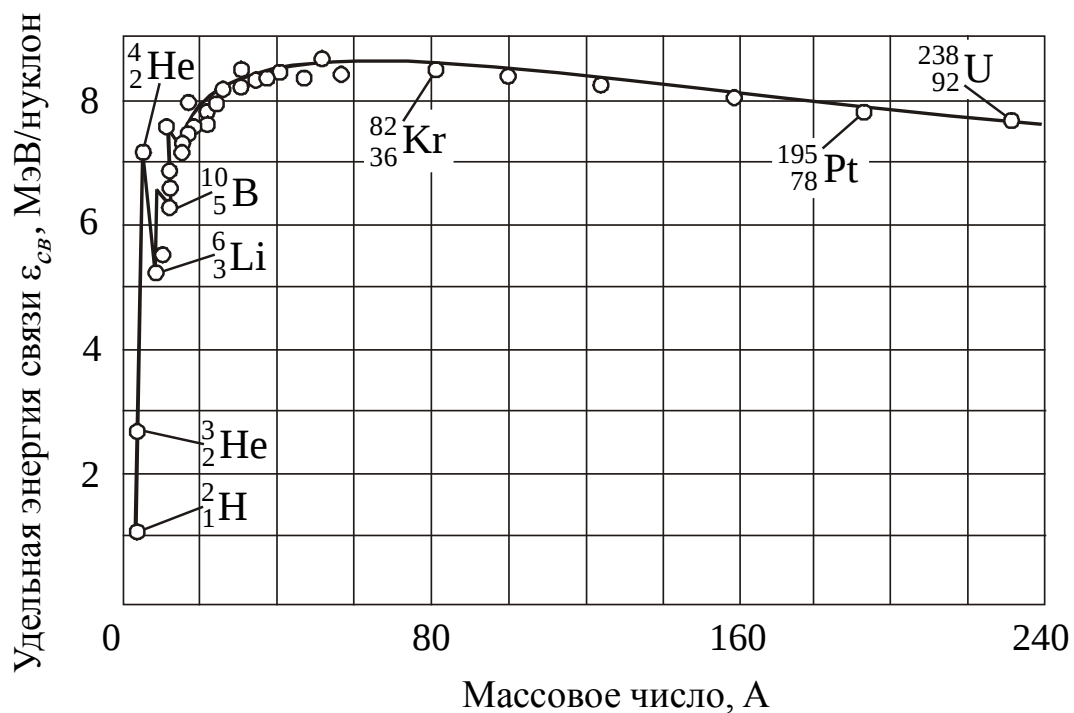
### 3.19. Основные физические свойства некоторых полупроводниковых материалов

| Вещество                             | Ширина<br>запрещённой<br>зоны<br>$\Delta E$ , эВ | Подвижность<br>электронов<br>$\mu_e$ ,<br>$\text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ | Подвижность<br>дырок<br>$\mu_h$ ,<br>$\text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ | Плотность<br>$\rho$ ,<br>$10^3 \text{ кг/м}^3$ |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Si                                   | 1,11                                             | 1600                                                                              | 500                                                                          | 2,33                                           |
| Ge                                   | 0,66                                             | 3900                                                                              | 1900                                                                         | 5,32                                           |
| AlAs                                 | 2,20                                             | 1200                                                                              | —                                                                            | 3,60                                           |
| AlP                                  | 2,45                                             | 50                                                                                | 150                                                                          | 2,85                                           |
| AlSb                                 | 1,63                                             | 200                                                                               | 420                                                                          | 4,15                                           |
| Mg <sub>2</sub> Ge                   | 0,57                                             | 500                                                                               | 100                                                                          | 3,09                                           |
| GaAs                                 | 1,43                                             | 8500                                                                              | 420                                                                          | 5,37                                           |
| GaSb                                 | 0,78                                             | 4000                                                                              | 650                                                                          | 5,61                                           |
| GaTe                                 | 1,78                                             | 4000                                                                              | 650                                                                          | 5,61                                           |
| InAs                                 | 0,36                                             | 33 000                                                                            | 460                                                                          | 5,68                                           |
| InSb                                 | 0,18                                             | 78000                                                                             | 750                                                                          | 5,78                                           |
| InP                                  | 1,26                                             | 4600                                                                              | 150                                                                          | 4,79                                           |
| InS                                  | 1,92                                             | 50                                                                                | —                                                                            | 5,18                                           |
| PbSe                                 | 0,28                                             | 0,50                                                                              | 1000                                                                         | 8,15                                           |
| PbTe                                 | 0,32                                             | 1730                                                                              | 840                                                                          | 8,16                                           |
| SnTe                                 | 0,18                                             | —                                                                                 | 400                                                                          | 6,45                                           |
| Cd <sub>3</sub> P <sub>2</sub>       | 0,55                                             | 3000                                                                              | —                                                                            | 5,60                                           |
| ZnTe                                 | 2,34                                             | 340                                                                               | 110                                                                          | 5,68                                           |
| Al <sub>x</sub> Ga <sub>1-x</sub> As | 1,41–2,20                                        |                                                                                   |                                                                              |                                                |
| In <sub>x</sub> Ga <sub>1-x</sub> As | 1,38–1,97                                        |                                                                                   |                                                                              |                                                |

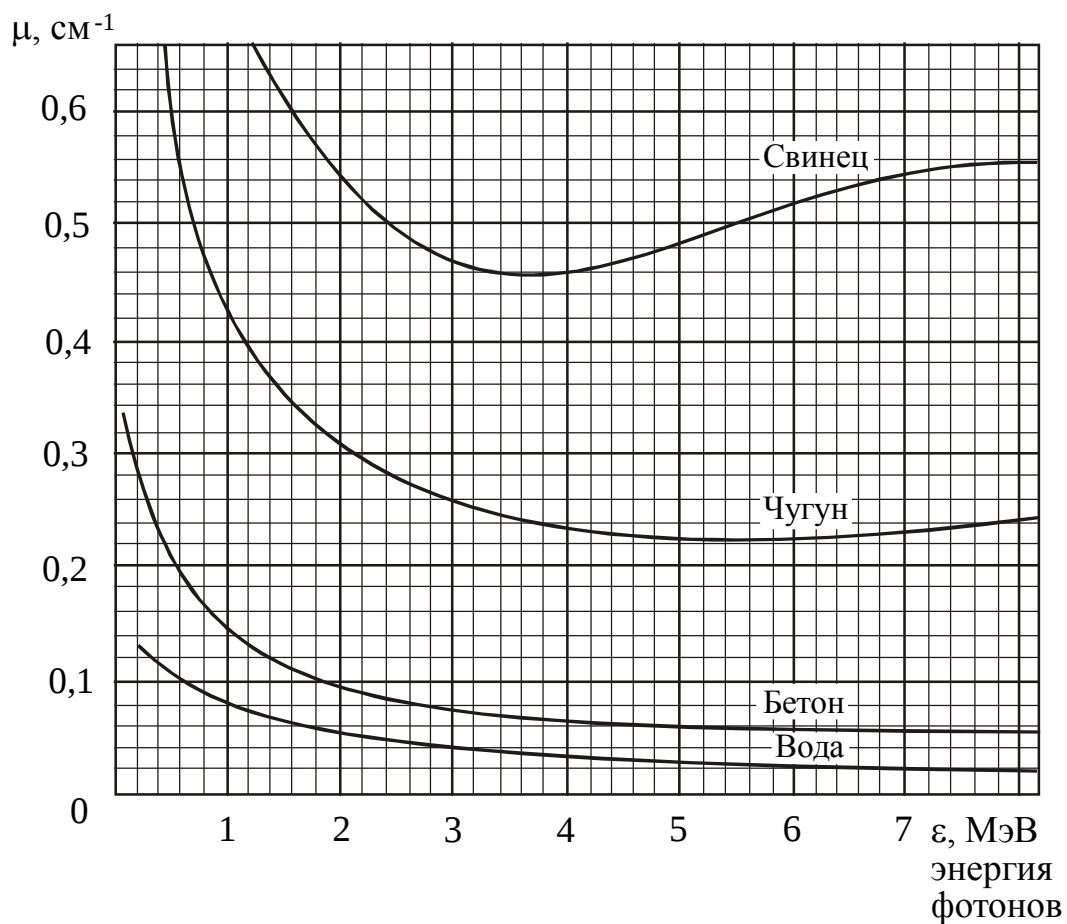
**3.20. Работа выхода для химически чистых элементов и элементов, покрытых слоем адсорбата**

| Элемент   | Символ | $A$ , эВ | Адсорбент – адсорбат   | $A$ , эВ |
|-----------|--------|----------|------------------------|----------|
| Алюминий  | Al     | 4,25     | C – Cs                 | 1,37     |
| Вольфрам  | W      | 4,54     | Ti – Cs                | 1,32     |
| Германий  | Ge     | 4,76     | Cr – Cs                | 1,71     |
| Индий     | In     | 3,80     | Fe – Cs                | 1,82     |
| Иттрий    | Y      | 3,30     | Cu – Cs                | 1,64     |
| Калий     | K      | 2,22     | Mo – Cs                | 1,54     |
| Кобальт   | Co     | 4,41     | Ge – Ba                | 2,20     |
| Кремний   | Si     | 4,80     | Mo – Th                | 2,58     |
| Магний    | Mg     | 3,64     | Ag – Ba                | 1,56     |
| Марганец  | Mn     | 3,83     | Ta – Cs                | 1,10     |
| Медь      | Cu     | 4,40     | W – Li                 | 2,18     |
| Натрий    | Na     | 2,35     | W – La                 | 2,20     |
| Никель    | Ni     | 4,50     | Pt – Na                | 2,10     |
| Палладий  | Pd     | 4,80     | Pt – Rb                | 1,57     |
| Празеодим | Pr     | 2,70     | Pt – Ba                | 1,90     |
| Самарий   | Sm     | 2,70     | W – O – Na             | 1,72     |
| Селен     | Se     | 4,72     | Сталь 1X18H9T – Cs     | 1,41     |
| Серебро   | Ag     | 4,30     | Ta <sub>2</sub> C – Cs | 1,40     |
| Стронций  | Sr     | 2,35     | TaSi <sub>2</sub> – Cs | 1,47     |
| Хром      | Cr     | 4,58     | Mo <sub>2</sub> C – Cs | 1,45     |
| Цезий     | Cs     | 1,81     | WSi <sub>2</sub> – Cs  | 1,47     |
| Цинк      | Zn     | 4,24     | Pd – Cs                | 1,51     |

### 3.21. Зависимость удельной энергии связи от массового числа



### 3.22. Зависимость линейного коэффициента ослабления от энергии падающих фотонов для некоторых материалов



**3.23. Основные свойства некоторых изотопов**

Таблица 3.23

| Элемент  | Символ<br>изотопа | Атомная<br>масса,<br>а.е.м. | Относит.<br>распростран.<br>% | Тип<br>распада | Период<br>полураспада |
|----------|-------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------|-----------------------|
| Нейтрон  | ${}_0n^1$         | 1,008665                    | –                             | $\beta -$      | 14,5 мин              |
| Протон   | ${}_1p^1$         | 1,007276                    | –                             |                | стабилен              |
| Водород  | ${}_1H^1$         | 1,007825                    | 99,985                        |                | стабилен              |
| Дейтерий | ${}_1H^2$         | 2,014102                    | 0,015                         |                | стабилен              |
| Тритий   | ${}_1H^3$         | 3,016049                    | –                             | $\beta -$      | 12,33 года            |
| Гелий    | ${}_2He^3$        | 3,016030                    | 0,000138                      |                | стабилен              |
| Гелий    | ${}_2He^4$        | 4,002604                    | 99,99986                      |                | стабилен              |
| Гелий    | ${}_2He^6$        | 6,018891                    | –                             | $\beta -$      | 0,808 с               |
| Литий    | ${}_3Li^6$        | 6,015126                    | 7,52                          |                | стабилен              |
| Литий    | ${}_3Li^7$        | 7,016005                    | 92,48                         |                | стабилен              |
| Литий    | ${}_3Li^8$        | 8,022487                    | –                             | $\beta -$      | 0,842 с               |
| Бериллий | ${}_4Be^7$        | 7,016930                    | –                             | э.з.           | 53 дня                |
| Бериллий | ${}_4Be^9$        | 9,012186                    | 100                           |                | стабилен              |
| Бор      | ${}_5B^{10}$      | 10,012939                   | 19,9                          |                | стабилен              |
| Бор      | ${}_5B^{11}$      | 11,009305                   | 80,1                          |                | стабилен              |
| Углерод  | ${}_6C^{12}$      | 12,00000                    | 98,89                         |                | стабилен              |
| Углерод  | ${}_6C^{13}$      | 13,003354                   | 1,11                          |                | стабилен              |
| Углерод  | ${}_6C^{14}$      | 14,003242                   | –                             | $\beta -$      | 5730 лет              |
| Азот     | ${}_7N^{13}$      | 13,005739                   | –                             | $\beta +$      | 9,96 мин              |
| Азот     | ${}_7N^{14}$      | 14,003074                   | 99,63                         |                | стабилен              |
| Азот     | ${}_7N^{15}$      | 15,000108                   | 0,37                          |                | стабилен              |
| Азот     | ${}_7N^{16}$      | 16,005739                   | –                             | $\beta -$      | 7,13 с                |
| Кислород | ${}_8O^{16}$      | 15,994915                   | 99,762                        |                | стабилен              |
| Кислород | ${}_8O^{17}$      | 16,999133                   | 0,038                         |                | стабилен              |
| Кислород | ${}_8O^{18}$      | 17,999160                   | 0,200                         |                | стабилен              |
| Фтор     | ${}_9F^{19}$      | 18,998405                   | 100                           |                | стабилен              |
| Неон     | ${}_{10}Ne^{20}$  | 19,992440                   | 90,51                         |                | стабилен              |
| Неон     | ${}_{10}Ne^{22}$  | 21,991384                   | 9,22                          |                | стабилен              |
| Натрий   | ${}_{11}Na^{22}$  | 21,994435                   | –                             | $\beta +$      | 2,6 года              |
| Натрий   | ${}_{11}Na^{23}$  | 22,989773                   | 100                           |                | стабилен              |
| Магний   | ${}_{12}Mg^{23}$  | 22,994135                   | –                             | $\beta +$      | 11,3 сек              |
| Магний   | ${}_{12}Mg^{24}$  | 23,985044                   | 78,99                         |                | стабилен              |
| Магний   | ${}_{12}Mg^{26}$  | 25,982591                   | 11,01                         |                | стабилен              |
| Магний   | ${}_{12}Mg^{27}$  | 26,984345                   | –                             | $\beta -$      | 9,46 мин              |
| Алюминий | ${}_{13}Al^{27}$  | 26,981535                   | 100                           |                | стабилен              |
| Кремний  | ${}_{14}Si^{28}$  | 27,976927                   | 92,23                         |                | стабилен              |
| Кремний  | ${}_{14}Si^{30}$  | 29,973761                   | 3,10                          |                | стабилен              |

| Элемент  | Символ<br>изотопа     | Атомная<br>масса,<br>а.е.м. | Относит.<br>распростран.<br>% | Тип<br>распада | Период<br>полураспада |
|----------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------|-----------------------|
| Фосфор   | $_{15}\text{P}^{31}$  | 30,973763                   | 100                           |                | стабилен              |
| Фосфор   | $_{15}\text{P}^{32}$  | 31,973908                   | –                             | $\beta$ –      | 14,36 сут             |
| Сера     | $_{16}\text{S}^{32}$  | 31,972074                   | 95,02                         |                | стабилен              |
| Сера     | $_{16}\text{S}^{35}$  | 34,969034                   | –                             | $\beta$ –      | 87,24 сут             |
| Хлор     | $_{17}\text{Cl}^{35}$ | 34,968854                   | 75,77                         |                | стабилен              |
| Хлор     | $_{17}\text{Cl}^{37}$ | 36,965896                   | 24,23                         |                | стабилен              |
| Аргон    | $_{18}\text{Ar}^{36}$ | 35,967548                   | 0,34                          |                | стабилен              |
| Аргон    | $_{18}\text{Ar}^{40}$ | 39,962384                   | 99,60                         |                | стабилен              |
| Калий    | $_{19}\text{K}^{39}$  | 38,963714                   | 93,26                         |                | стабилен              |
| Калий    | $_{19}\text{K}^{40}$  | 39,963999                   | 0,0117                        | $\beta$ –      | $1,28 \cdot 10^6$ лет |
| Калий    | $_{19}\text{K}^{42}$  | 41,962417                   | –                             | $\beta$ –      | 12,5 час              |
| Кальций  | $_{20}\text{Ca}^{40}$ | 39,962589                   | 96,94                         |                | стабилен              |
| Кальций  | $_{20}\text{Ca}^{45}$ | 44,956189                   | –                             | $\beta$ –      | 163,8 сут             |
| Скандий  | $_{21}\text{Sc}^{45}$ | 44,955919                   | 100                           |                | стабилен              |
| Титан    | $_{22}\text{Ti}^{48}$ | 47,947948                   | 73,8                          |                | стабилен              |
| Ванадий  | $_{23}\text{V}^{51}$  | 50,943978                   | 99,75                         |                | стабилен              |
| Хром     | $_{24}\text{Cr}^{51}$ | 50,944786                   | –                             | э.з.           | 27,7 сут              |
| Хром     | $_{24}\text{Cr}^{52}$ | 51,940506                   | 83,79                         |                | стабилен              |
| Марганец | $_{25}\text{Mn}^{55}$ | 54,938054                   | 100                           |                | стабилен              |
| Железо   | $_{26}\text{Fe}^{55}$ | 54,940438                   | –                             | э.з.           | 2,7 года              |
| Железо   | $_{26}\text{Fe}^{56}$ | 55,934935                   | 91,72                         |                | стабилен              |
| Железо   | $_{26}\text{Fe}^{57}$ | 56,935391                   | 2,2                           |                | стабилен              |
| Кобальт  | $_{27}\text{Co}^{58}$ | 57,935754                   | –                             | э.з.           | 70,78 суток           |
| Кобальт  | $_{27}\text{Co}^{59}$ | 58,933189                   | 100                           |                | стабилен              |
| Кобальт  | $_{27}\text{Co}^{60}$ | 59,933816                   | –                             | $\beta$ –      | 5,27 года             |
| Никель   | $_{28}\text{Ni}^{58}$ | 57,935343                   | 68,27                         |                | стабилен              |
| Никель   | $_{28}\text{Ni}^{63}$ | 62,929665                   | –                             | $\beta$ +      | 100,1 года            |
| Медь     | $_{29}\text{Cu}^{63}$ | 62,929594                   | 69,17                         |                | стабилен              |
| Медь     | $_{29}\text{Cu}^{65}$ | 64,927786                   | 30,83                         |                | стабилен              |
| Цинк     | $_{30}\text{Zn}^{64}$ | 63,929141                   | 48,6                          |                | стабилен              |
| Галлий   | $_{31}\text{Ga}^{69}$ | 68,925576                   | 60,1                          |                | стабилен              |
| Галлий   | $_{31}\text{Ga}^{71}$ | 70,924695                   | 39,9                          |                | стабилен              |
| Германий | $_{32}\text{Ge}^{70}$ | 69,924245                   | 20,5                          |                | стабилен              |
| Германий | $_{32}\text{Ge}^{72}$ | 71,922075                   | 27,4                          |                | стабилен              |
| Мышьяк   | $_{33}\text{As}^{75}$ | 74,921590                   | 100                           |                | стабилен              |
| Селен    | $_{34}\text{Se}^{78}$ | 77,917298                   | 23,6                          |                | стабилен              |
| Селен    | $_{34}\text{Se}^{80}$ | 79,916515                   | 49,7                          |                | стабилен              |
| Бром     | $_{35}\text{Br}^{79}$ | 78,918330                   | 50,69                         |                | стабилен              |

Продолжение таблицы 3.23

| Элемент  | Символ<br>изотопа        | Атомная<br>масса,<br>а.е.м. | Относит.<br>распростран.<br>% | Тип<br>распада | Период<br>полураспада |
|----------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------|-----------------------|
| Криптон  | ${}_{36}\text{Kr}^{84}$  | 83,911446                   | 57,0                          |                | стабилен              |
| Криптон  | ${}_{36}\text{Kr}^{85}$  | 84,912531                   | –                             | $\beta$ –      | 10,72 года            |
| Рубидий  | ${}_{37}\text{Rb}^{85}$  | 84,911788                   | 72,16                         |                | стабилен              |
| Рубидий  | ${}_{37}\text{Rb}^{86}$  | 85,909183                   | –                             | $\beta$ –      | 18,66 сут             |
| Стронций | ${}_{38}\text{Sr}^{88}$  | 87,905622                   | 82,58                         |                | стабилен              |
| Стронций | ${}_{38}\text{Sr}^{90}$  | 88,907734                   | –                             | $\beta$ –      | 28,6 лет              |
| Стронций | ${}_{38}\text{Sr}^{94}$  | 93,915234                   | –                             | $\beta$ –      | 78 с                  |
| Иттрий   | ${}_{39}\text{Y}^{88}$   | 87,909503                   | –                             | э.з.           | 106,6 сут             |
| Иттрий   | ${}_{39}\text{Y}^{89}$   | 88,905849                   | 100                           |                | стабилен              |
| Цирконий | ${}_{40}\text{Zr}^{90}$  | 89,904701                   | 51,45                         |                | стабилен              |
| Цирконий | ${}_{40}\text{Zr}^{95}$  | 94,908028                   | –                             | $\beta$ –      | 64,0 сут              |
| Ниобий   | ${}_{41}\text{Nb}^{93}$  | 92,906372                   | 100                           |                | стабилен              |
| Молибден | ${}_{42}\text{Mo}^{92}$  | 91,906802                   | 14,84                         |                | стабилен              |
| Технеций | ${}_{43}\text{Tc}^{98}$  | 97,907203                   | –                             | $\beta$ –      | $4,2 \cdot 10^6$ лет  |
| Рутений  | ${}_{44}\text{Ru}^{102}$ | 101,904338                  | 31,6                          |                | стабилен              |
| Родий    | ${}_{45}\text{Rh}^{101}$ | 100,906162                  | –                             | э.з.           | 3,3 года              |
| Родий    | ${}_{45}\text{Rh}^{103}$ | 102,905502                  | 100                           |                | стабилен              |
| Палладий | ${}_{46}\text{Pd}^{108}$ | 107,903891                  | 26,46                         |                | стабилен              |
| Серебро  | ${}_{47}\text{Ag}^{107}$ | 106,905088                  | 51,84                         |                | стабилен              |
| Серебро  | ${}_{47}\text{Ag}^{108}$ | 107,905956                  | –                             | $\beta$ –      | 2,37 мин              |
| Кадмий   | ${}_{48}\text{Cd}^{113}$ | 112,904901                  | 12,22                         |                | стабилен              |
| Кадмий   | ${}_{48}\text{Cd}^{114}$ | 113,903354                  | 28,73                         |                | стабилен              |
| Индий    | ${}_{49}\text{In}^{115}$ | 114,904070                  | 95,72                         |                | стабилен              |
| Олово    | ${}_{50}\text{Sn}^{118}$ | 117,901790                  | 24,22                         |                | стабилен              |
| Олово    | ${}_{50}\text{Sn}^{123}$ | 122,905715                  | –                             | $\beta$ –      | 129,2 сут             |
| Сурьма   | ${}_{51}\text{Sb}^{121}$ | 120,903750                  | 57,25                         |                | стабилен              |
| Сурьма   | ${}_{51}\text{Sb}^{123}$ | 122,904216                  | 42,75                         |                | стабилен              |
| Теллур   | ${}_{52}\text{Te}^{130}$ | 129,906700                  | 33,8                          |                | стабилен              |
| Йод      | ${}_{53}\text{I}^{127}$  | 126,904471                  | 100                           |                | стабилен              |
| Йод      | ${}_{53}\text{I}^{131}$  | 130,906112                  | –                             | $\beta$ –      | 8,04 сут              |
| Ксенон   | ${}_{54}\text{Xe}^{132}$ | 131,904142                  | 26,9                          |                | стабилен              |
| Ксенон   | ${}_{54}\text{Xe}^{135}$ | 134,907040                  | –                             | $\beta$ –      | 9,13 час              |
| Ксенон   | ${}_{54}\text{Xe}^{140}$ | 139,921439                  | –                             | $\beta$ –      | 13,60 с               |
| Цезий    | ${}_{55}\text{Cs}^{133}$ | 132,905427                  | 100                           |                | стабилен              |
| Цезий    | ${}_{55}\text{Cs}^{134}$ | 133,906694                  | –                             | $\beta$ –      | 2,06 года             |
| Барий    | ${}_{56}\text{Ba}^{138}$ | 137,905226                  | 71,7                          |                | стабилен              |
| Лантан   | ${}_{57}\text{La}^{139}$ | 138,906348                  | 99,91                         |                | стабилен              |
| Церий    | ${}_{58}\text{Ce}^{140}$ | 139,905436                  | 88,48                         |                | стабилен              |

| Элемент     | Символ<br>изотопа      | Атомная<br>масса,<br>а.е.м. | Относит.<br>распростран.<br>% | Тип<br>распада | Период<br>полураспада   |
|-------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------|-------------------------|
| Празеодим   | $_{59}\text{Pr}^{141}$ | 140,907651                  | 100                           |                | стабилен                |
| Неодим      | $_{60}\text{Nd}^{146}$ | 145,913121                  | 17,2                          |                | стабилен                |
| Иридий      | $_{77}\text{Ir}^{192}$ | 191,962990                  | –                             | $\beta$ –      | 73,8 суток              |
| Золото      | $_{79}\text{Au}^{197}$ | 196,966557                  | 100                           |                | стабилен                |
| Ртуть       | $_{80}\text{Hg}^{194}$ | 196,966557                  | –                             | э.з.           | 260 лет                 |
| Ртуть       | $_{80}\text{Hg}^{200}$ | 199,968316                  | 23,13                         |                | стабилен                |
| Таллий      | $_{81}\text{Tl}^{204}$ | 203,973884                  | –                             | $\beta$ –      | 3,78 года               |
| Таллий      | $_{81}\text{Tl}^{210}$ | 209,990069                  | –                             | $\beta$ –      | 1,30 мин                |
| Свинец      | $_{82}\text{Pb}^{207}$ | 206,975932                  | 22,1                          |                | стабилен                |
| Свинец      | $_{82}\text{Pb}^{208}$ | 207,976641                  | 52,4                          |                | стабилен                |
| Свинец      | $_{82}\text{Pb}^{210}$ | 209,984178                  | –                             | $\beta$ –      | 22,3 года               |
| Висмут      | $_{83}\text{Bi}^{209}$ | 208,980423                  | 100                           |                | стабилен                |
| Висмут      | $_{83}\text{Bi}^{210}$ | 209,984114                  | –                             | $\beta$ –      | 5,0 сут                 |
| Висмут      | $_{83}\text{Bi}^{211}$ | 210,987263                  | –                             | $\alpha$       | 2,14 мин                |
| Полоний     | $_{84}\text{Po}^{210}$ | 209,982871                  | –                             | $\alpha$       | 138,4 сут               |
| Астат       | $_{85}\text{At}^{210}$ | 209,987490                  | –                             | э.з.           | 8,1 час                 |
| Радон       | $_{86}\text{Rn}^{222}$ | 222,017533                  | –                             | $\alpha$       | 3,8 сут                 |
| Радий       | $_{88}\text{Ra}^{220}$ | 220,010972                  | –                             | $\alpha$       | 0,025 с                 |
| Радий       | $_{88}\text{Ra}^{225}$ | 225,023604                  | –                             | $\beta$ –      | 0,842 с                 |
| Радий       | $_{88}\text{Ra}^{226}$ | 226,025361                  | –                             | $\alpha$       | 1620 лет                |
| Радий       | $_{88}\text{Ra}^{227}$ | 227,029220                  | –                             | $\beta$ –      | 42,2 мин                |
| Актиний     | $_{89}\text{Ac}^{225}$ | 225,023216                  | –                             | э.з.           | 10,0 сут                |
| Актиний     | $_{89}\text{Ac}^{228}$ | 228,031169                  | –                             | $\beta$ –      | 6,13 час                |
| Торий       | $_{90}\text{Th}^{229}$ | 229,031629                  | –                             | $\alpha$       | 7340 лет                |
| Торий       | $_{90}\text{Th}^{230}$ | 230,03080                   | –                             | $\alpha$       | $7,54 \cdot 10^4$ лет   |
| Торий       | $_{90}\text{Th}^{231}$ | 231,036301                  | –                             | $\beta$ –      | 25,52 час               |
| Торий       | $_{90}\text{Th}^{232}$ | 232,038211                  | 100                           | $\alpha$       | $1,4 \cdot 10^{10}$ лет |
| Протактиний | $_{91}\text{Pa}^{233}$ | 233,040246                  | –                             | $\beta$ –      | 27,0 сут                |
| Уран        | $_{92}\text{U}^{233}$  | 233,039632                  | –                             | $\alpha$       | $1,59 \cdot 10^5$ лет   |
| Уран        | $_{92}\text{U}^{234}$  | 234,040950                  | 0,006                         | $\alpha$       | $2,45 \cdot 10^5$ лет   |
| Уран        | $_{92}\text{U}^{235}$  | 235,043931                  | 0,72                          | $\alpha$       | $7,04 \cdot 10^8$ лет   |
| Уран        | $_{92}\text{U}^{238}$  | 238,050762                  | 99,27                         | $\alpha$       | $4,46 \cdot 10^9$ лет   |
| Уран        | $_{92}\text{U}^{239}$  | 239,054321                  | –                             | $\beta$ –      | 23,5 мин                |
| Нептуний    | $_{93}\text{Np}^{237}$ | 237,048172                  | –                             | $\alpha$       | $2,14 \cdot 10^6$ лет   |
| Нептуний    | $_{93}\text{Np}^{239}$ | 239,052935                  | –                             | $\beta$ –      | 2,36 сут                |
| Плутоний    | $_{94}\text{Pu}^{238}$ | 238,049522                  | –                             | $\alpha$       | 87,74 года              |
| Плутоний    | $_{94}\text{Pu}^{240}$ | 240,053812                  | –                             | $\alpha$       | $6,54 \cdot 10^3$ лет   |