

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК**ШКАЛА АТОМНЫХ ВЕСОВ $^{12}\text{C}=12$ И НОВЫЕ ТАБЛИЦЫ АТОМНЫХ ВЕСОВ ЭЛЕМЕНТОВ И МАСС НУКЛИДОВ****В. А. Кравцов**

В начале прошлого столетия Дальтон предложил в качестве единицы атомных весов принять вес атома водорода. Несколько позже Берцелиус выдвинул предложение принять за эталон атомного веса атомный вес кислорода. В начале этого века международная комиссия по атомным весам утвердила единицу атомного веса, равную $1/16$ атомного веса кислорода.

После открытия изотопов Астон¹ в 1927 г. предложил для массы атомов изотопов (нуклидов) шкалу $^{16}\text{O}=16$, т. е. шкалу, по которой масса атома изотопа кислорода-16 равна в точности 16. Первоначально предполагалось, что эта шкала совпадает со шкалой химических атомных весов.

Но уже в 1929 г. Джаком и Джонсоном были открыты редкие изотопы кислорода ^{17}O и ^{18}O , и шкала Астона, в дальнейшем названная «физической шкалой атомных масс», и химическая шкала атомных весов оказались различными. Для перевода химического атомного (*еав*) веса в физическую шкалу атомных единиц масс (*аеи*) надо умножить атомный вес на 1,000275:

$$1 \text{ еав} = 1,000275 \text{ аеи}.$$

Это нежелательное расхождение двух шкал, применяемых для измерения одинаковых величин — относительных атомных масс, или весов, создавало недопустимую путаницу и стало предметом рассмотрения международных научных организаций. В связи с этим Международный союз чистой и прикладной химии (International Union of Pure and Applied Chemistry) (ЮПАК) обратился в 1956 г. в Международный союз чистой и прикладной физики (International Union of Pure and Applied Physics) (ЮПАП) с предложением рассмотреть вопрос о переходе к новой единой шкале атомных масс и весов, см.².

1. ФИЗИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАСС НУКЛИДОВ

Для определенного вида атома — нейтрального атома изотопа (т. е. данного ядра, нейтрализованного электронами) — Команом предложено название «нуклид»³. Нуклиды различаются по составу атомного ядра, т. е. по числу протонов Z , или по числу нейтронов N , или по массовому числу $A=Z+N$ (числу всех нуклонов в ядре). Нуклиды с одинаковыми Z и разными A называются «изотопами», нуклиды с одинаковыми A и разными Z называются «изобарами», нуклиды с одинаковыми N и разными A и Z называются «изотонами».

Определение относительных масс нуклидов физическими методами производится посредством масс-спектроскопических измерений и по энергиям ядерных реакций и радиоактивных превращений изотопов.

Единица для масс нуклидов выбирается такой, чтобы массы нуклидов M были близки к целым числам (массовым числам A), т. е. чтобы избыток массы

$$\Delta = M - A \quad (1)$$

для всех известных нуклидов был бы правильной дробью, значительно меньшей $\frac{1}{2}$. При этом избыток массы Δ может быть и положительным, и отрицательным; следовательно,

$$M = A + \Delta.$$

Масса нуклида складывается из массы ядра (M_n), массы электронов (Zm_e) в нейтральном атоме и энергии связи электронов b_e

$$M = M_n + Zm_e - b_e. \quad (2)$$

Энергия связи B нуклида определяется по формуле

$$B = ZM_n + (A - Z)M_n - M(A, Z), \quad (3)$$

где M_n — масса атома водорода Н, M_n — масса нейтрона, выраженные в энергетических единицах. При этом величина энергии связи электронов b_e не учитывается, так как она значительно меньше самой малой погрешности в измерениях масс нуклидов.

Масса каждого нуклида представляет собой постоянную величину, являющуюся основной характеристикой нуклида. Точность физических методов измерений масс нуклидов все время возрастает. В настоящее время оба метода измерения масс нуклидов: масс-спектроскопический и метод ядерных реакций — позволяют получать, как видно из табл. IV, в большинстве случаев значения масс с относительной погрешностью менее 10^{-7} .

2. ХИМИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ АТОМНЫХ ВЕСОВ

Атомный вес данного элемента в химии определяется по эквивалентным весам. Эквивалентным весом называется количество элемента, соединяющееся с единичной (точнее, с 1,008) весовой частью водорода или замещающее его в соединениях. Так как химические изотопы практически неразличимы, химический элемент представляет собою смесь разных изотопных нуклидов. Связь между атомным весом $W(Z)$ элемента с порядковым номером Z и массами составляющих нуклидов выразится так:

$$W(Z) = \frac{M_1a_1 + M_2a_2 + \dots + M_ia_i}{a_1 + a_2 + \dots + a_i}, \quad (4)$$

где a_1, a_2, \dots, a_i — распространенности i изотопов данного Z -го элемента, а $M_1 + M_2 + \dots + M_i$ — массы их нуклидов.

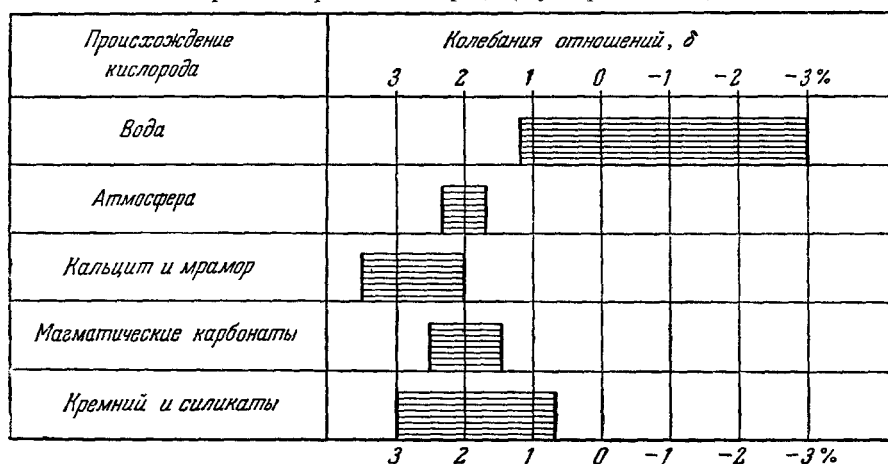
Измерение распространенностей изотопов показало, что изотопный состав у одного и того же элемента может меняться в зависимости от происхождения образца этого элемента. Это происходит потому, что в природе идут процессы, которые могут увеличить или уменьшить количество некоторого изотопа в изотопной смеси, образующей химический элемент.

В природе обогащение смеси тем или другим изотопом происходит в результате испарения, возгонки, плавления, химических реакций обмена, кристаллизации и др. процессов^{5,6}.

В. И. Вернадский указал также, что изменение изотопного состава элементов происходит при всевозможных биологических процессах в живой материи.

В таблице I, составленной Хукстрой и Кацем ⁷, приводятся различные отклонения от среднего отношения распространенностей нуклидов $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ в различных образцах кислорода. Эти вариации приводят к заметным изменениям атомных весов кислорода, как видно из табл. II, достигающих 0,0013 %.

Таблица I
Колебания отношений распространенностей изотопов $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$
в разных пробах кислорода (Хукстра и Кац ⁷)



$$\delta = \left(\frac{\text{Отношение в пробе}}{\text{Стандартное отношение}} - 1 \right) \cdot 100 \text{ \%}.$$

Стандартным принято среднее отношение распространенностей для кислорода из морской воды.

Надо отметить, что приведенный выше переводной множитель 1,000275 для перехода от химической шкалы к физической оказывается верен только для атомных весов приблизительно половины химических элементов.

Атомные веса других элементов, измеренных сравнением с атомным весом серебра, имеют несколько отличный переводный множитель 1,000279. Это связано с тем, что атомный вес серебра был измерен

Таблица II
Атомные веса кислорода различного происхождения
по химической шкале $^{16}\text{O}=16$

Происхождение кислорода	Атомный вес
Вода из Атлантического океана	16,00000
Вода из озера Мичиган	15,99998
Воздух	16,00042
Углекислые породы	16,00045
Углекислота	16,00049
Атомный вес кислорода из воды Атлантического океана принят равным 16.	

сравнением с кислородом, который имел изотопный состав, отличный от так называемой «естественной смеси изотопов кислорода». Это легко понять, учитывая колебания в атомных весах кислорода, приведенные в табл. II. Как видно из этой таблицы, атомные веса кислорода могут меняться на величину до 0,000012 их значения, т. е. на величину, значительно большую относительной погрешности измерений. Изменение атомных весов за счет естественного обогащения отдельными изотопами превышает точность измерения атомных весов не только у кислорода, но и у лития, хлора, серы и некоторых других элементов.

Особенно большие изменения в атомных весах могут быть у радио-генных элементов: природное содержание изотопов их обусловливается распадом естественных радиоактивных веществ или происходит благодаря ядерным реакциям в природе. Например, обычный свинец имеет атомный вес 207,21, а свинец из минерала кюрита (Катанга) — 206,03. Атомный вес осмия 190,2, а осмий из молибденита, образовавшийся благодаря бета-распаду долгоживущего нуклида ^{187}Re , имеет атомный вес 187,0. Гелий, образовавшийся в железном метеорите из Маунт-Айлифа вследствие реакций расщепления железа космическими частицами высокой энергии имеет атомный вес 3,767, т. е. очень малый по сравнению с атомным весом гелия (4,003).

Точными могут быть лишь атомные веса анизотопных элементов, т. е. элементов, состоящих из одного стабильного изотопа.

Все эти факты показывают, что атомные веса элементов, в отличие от масс нуклидов, не являются мировыми постоянными и меняются в зависимости от происхождения образца. Колебания в атомном весе кислорода различного происхождения приводят к тому, что кислородная шкала атомных весов оказывается непригодной уже при современной точности измерений.

3. ПРОЕКТЫ НОВЫХ ЕДИНИЦ ДЛЯ МАСС НУКЛИДОВ

Вначале расхождение химической шкалы ($\text{O}=16$) и физической шкалы ($^{16}\text{O}=16$) атомных весов при недостаточной точности измерений, казалось, не вызывало больших неудобств. Гамов⁹ и несколько позже Бете¹⁰ предложили шкалу, в которой $^4\text{He}=4$.

Селинов¹¹ предложил шкалу для масс нуклидов, в которой нуклид ^{19}F имеет массу, в точности равную 19. Эта единица как будто бы должна быть удобна и для химиков, и для физиков. Фтор—анизотопный элемент, его смежные нуклиды ^{18}F и ^{20}F радиоактивны и имеют малые периоды полураспада. По таблице атомных весов атомный вес фтора 19,00, поэтому на химических атомных весах переход к шкале $^{19}\text{F}=19$ скажется очень мало. Предложение Селинова о введении шкалы $^{19}\text{F}=19$ было позже поддержано Долем⁸, президентом совета ЮПАК Уичерсом¹³ и Гальюти¹⁴.

Вскоре известный масс-спектроscопист Нир¹⁵ и химик Оландер предложили шкалу, в которой масса нуклида ^{12}C была бы в точности равна 12.

Кроме этого Оландер одновременно предложил также шкалу с массой нуклида ^{18}O , в точности равной 18. Предложение взять за основу массу нуклида ^{12}C было поддержано известным специалистом по атомным константам Берджом¹⁷.

Бердж предложил массу нуклида считать равной 12,003816 с тем, чтобы масса нуклида ^{16}O осталась почти в точности равной 16, и тем самым не перечислять различных констант, связанных с атомными массами.

4. ОБСУЖДЕНИЕ ШКАЛ АТОМНЫХ МАСС

Колебания в атомных весах кислорода, представленные в табл. II (см. табл. I), делают химическую единицу атомных весов $\text{O}=16$ неопределенной, так как эти колебания значительно превосходят погрешности физических измерений масс нуклидов. Химические методы определения атомных весов достигли для ряда элементов предела точности измерений из-за вариаций распространенностей нуклидов в составе элементов разного происхождения. Единственным точным методом нахождения атомных весов в настоящее время является вычисление их по массам нуклидов и по их распространенностям (см. формулу (4)). Следовательно, и для определения химических атомных весов наиболее точными методами будут являться масс-спектроскопические и другие физические методы.

Старая физическая шкала $^{16}\text{O}=16$ вполне надежна, так как масса нуклида ^{16}O есть мировая константа.

Недостатком этой шкалы является трудность сравнения масс других нуклидов с нуклидом-стандартом ^{16}O . Основным методом сравнения масс нуклидов является метод измерения масс-спектроскопических дублетов. Для дублетов нуклид ^{16}O мало удобен, так как образует мало ионов, именно ион $^{16}\text{O}_2$ и ионы гидридов $^{16}\text{O}^1\text{H}$, $^{16}\text{O}^1\text{H}_2$, $^{16}\text{O}_2^1\text{H}$ и $^{16}\text{O}_2^1\text{H}_2$. Чаще всего масс-спектроскопические измерения производятся сравнением массы нуклида с массой нуклида ^{12}C . Для этого измеряются разности масс трех фундаментальных дублетов

$$\left. \begin{aligned} &^1\text{H}_2 - ^2\text{D}, \\ &^2\text{D}_3 - \frac{1}{2} ^{12}\text{C}, \\ &^{12}\text{C}^1\text{H}_3 - ^{16}\text{O}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

которые дают возможность определить массу нуклида ^{12}C по шкале $^{16}\text{O}=16$. Дальнейшие измерения производятся с использованием ионов молекул углеводородов, с которыми удастся сравнивать массы почти всех нуклидов.

Нир^{4,19} использовал для определения массы нуклида по шкале $^{16}\text{O}=16$ всего один дублет $^{12}\text{C}_4 - ^{32}\text{S}^{16}\text{O}$, однако при измерении этого дублета была допущена большая систематическая ошибка. Возникшие противоречия были обнаружены и устранены путем измерений других дублетов, например дублета $\frac{1}{2} ^{12}\text{C}_4^1\text{H}^{16}\text{O} - ^{16}\text{O}_2^1\text{H}_2$. Этот последний дублет является, по-видимому, одним из лучших для установления разности масс ^{16}O и ^{12}C .

Принятие шкалы $^{16}\text{O}=16$ потребует изменений химических атомных весов и связанных с ними констант на значительную величину 0,0275%, что поведет в переходный период к большим неудобствам.

Шкала $^4\text{He}=4$ неудобна прежде всего из-за тех больших поправок, которые придется при этом внести в обе прежние шкалы. Массы по физической шкале должны быть исправлены на $-0,07\%$, а атомные веса и связанные с ними константы на $0,067\%$. Кроме этого нуклид ^4He не вступает ни в какие соединения, и поэтому возможности сравнения его массы с массами других нуклидов посредством масс-спектроскопических методов крайне ограничены. Измерение химическими методами по тем же причинам тоже очень затруднены. Все эти причины делают эту шкалу непригодной.

Шкала Селинова, в которой $^{19}\text{F}=19$ заслуживает очень большого внимания. Она очень незначительно скажется на химических атомных весах: их придется исправить всего лишь на $0,0041\%$.

Недостатки шкалы $^{19}\text{F}=19$ очень похожи на недостатки шкалы $^{16}\text{O}=16$. Сравнить нуклид ^{19}F с другими нуклидами еще труднее, чем ^{16}O . Практически возможно сравнение по массам с нуклидами ^{32}S , ^{16}O , ^{12}C , ^1H , ^2D и, может быть, еще с несколькими другими, и через них с остальными.

Прямое сравнение ^{19}F с ^{12}C невозможно. Таким образом, сравнение с большинством нуклидов должно происходить только через посредство вторичных стандартов ^{12}C и ^1H .

Шкала $^{18}\text{O}=18$ особенно заманчива тем, что она расходится со старой химической шкалой всего лишь на 0,0004%, т. е. на величину, меньшую погрешности самой шкалы. Во всем остальном эта шкала не лучше для сравнения методом масс-спектроскопических дублетов, чем шкала $^{16}\text{O}=16$. К тому же малая распространенность нуклида ^{18}O (0,204%) затрудняет получение чистых образцов и делает пользование O^{18} в качестве стандарта неудобным.

Доля 11 предложил использовать в качестве стандартов нуклиды ^{23}Na или нуклид ^1H . При этом он предлагал принять их массы не целыми, а такими, чтобы химическая шкала $\text{O}=16$ приблизительно сохранилась. Это очень неудобно. Всякая шкала, у которой масса нуклида-стандарта будет нецелым числом (иначе говоря, если избыток массы стандарта $\Delta_{\text{ст}} \neq 0$), в высшей степени усложняет расчеты масс по масс-спектроскопическим дублетам и по энергиям реакций.

По этим же причинам неприемлемо и предложение Берджа о принятии за стандартный нуклид ^{12}C , но с установлением его массы равной 12,003816, с целью сохранения в первом приближении шкалы $^{16}\text{O}=16$.

Наиболее удобной шкалой для масс нуклидов является шкала Нира и Оландера, в которой массу нуклида ^{12}C предложено считать равной точно 12. Эта шкала имеет огромные преимущества для измерения масс нуклидов наиболее точным методом масс-спектроскопических дублетов. Она также вполне удобна для получения масс из энергий ядерных реакций. Нуклид ^{12}C можно получить дважды, трижды и четырежды ионизированным, и поэтому его легко сравнивать с основными легкими нуклидами ^6Li и $^2\text{D}_3$, ^4He и $^2\text{D}_2$, ^3He и $^1\text{H}_3$.

Не менее существенной является возможность получения ионов молекул $^{12}\text{C}_n$ с числом атомов n до 10 и даже больше. Это позволяет сравнивать непосредственно массу нуклида-стандарта ^{12}C с самыми тяжелыми нуклидами. Возможно измерить разность масс дублетов $^{12}\text{C}_{10}-^{120}\text{Sn}$, $^{12}\text{C}_{10}-\frac{1}{2}^{240}\text{Pu}$, $^{12}\text{C}_5-\frac{1}{2}^{120}\text{Sn}$, $^{12}\text{C}_5-\frac{1}{3}^{180}\text{Hf}$ и других дублетов. Разность масс этих дублетов δM сразу дает избыток масс сравниваемых нуклидов Δ умножением разности масс на заряд иона q , т. е.

$$\Delta = q\delta M,$$

так как избыток массы у нуклида ^{12}C равен нулю.

Кроме этого нуклид ^{12}C может образовать ряд гидридов вида $^{12}\text{C}_n^1\text{H}_m$ или $^{12}\text{C}_n^2\text{D}_k$. Если достаточно точно измерить массы нуклидов ^1H и ^2D , например с помощью дублетов (5), то ионы этих молекул можно с удобством использовать для измерения. Ионы молекул гидридов можно сравнивать с ионами нуклидов со всеми массовыми числами от 1 до 210.

Все это делает нуклид ^{12}C наилучшим стандартом для масс-спектроскопических измерений. Наличие примесей нуклида ^{13}C при использовании естественной смеси изотопов углерода может несколько уменьшить точность измерений на масс-спектрографах малой разрешающей силы. Для того чтобы разрешить ионы $^{12}\text{C}_9$, ^{13}C и $^{12}\text{C}_{10}^1\text{H}$, нужно пользоваться масс-спектрографом с разрешающей силой не менее 27 000. Современные

приборы имеют разрешающую силу 50 000—100 000 и могут разделять ионы с ^{13}C и ионы с $^{12}\text{C}^{1}\text{H}$. Сейчас заканчиваются постройкой новые приборы с еще большей разрешающей силой, а на старых приборах не представляет больших трудностей использование чистого нуклида C^{12} .

Единица масс нуклидов $^{12}\text{C}=12$ отличается от единицы прежней химической шкалы на 0,0043%, т. е. на величину, всего в 3—4 раза превышающую 0,0012% (величину относительных колебаний атомных весов кислорода — основы химической шкалы). Это делает переход к новой шкале для химиков нетрудным, так как в большинстве случаев при приблизительных расчетах атомные веса и связанные с ними константы можно считать прежними.

Обсуждение новых шкал для масс нуклидов и атомных весов продолжалось в течение нескольких лет, см. ^{2,13,21} и др.

В августе 1959 г. Комиссия по атомным весам ЮПАК в Мюнхене (ФРГ) одобрила шкалу $^{12}\text{C}=12$ для атомных весов и представила свое решение на утверждение конференции ЮПАК в 1961 г.

В сентябре 1960 г. в Оттаве (Канада) состоялась 10-я Генеральная ассамблея ЮПАК, на которой по докладу И. Маттауха, председателя комиссии ЮПАК по массам нуклидов, была рекомендована для физиков шкала $^{12}\text{C}=12$. На этой ассамблее выступил президент ЮПАК Е. Уичерс и обещал, что ЮПАК рекомендует эту шкалу и для химических атомных весов.

В связи с этим Бюро отделения физико-математических наук и отделения химических наук АН СССР приняли решение о переходе к новой шкале атомных весов.

Новая единица для масс нуклидов (атомных весов или масс) равна $\frac{1}{12}$ массы нуклида (атома изотопа) ^{12}C . Новая единица масс сокращенно обозначается латинской буквой «u» (unit — единица) или русской «е» (единица).

Перевод новых единиц масс в энергетические единицы — килоэлектрон-вольты и в старые единицы физической шкалы (*а.е.м.*) $^{16}\text{O} = 16$ (*кэв*) — производится по формулам

$$1e = (931\,441 \pm 10) \text{ кэв},$$

$$1e = (1,000\,317\,917 \pm 0,000\,000\,017) \text{ а.е.м. } (^{16}\text{O} = 16).$$

Перевод старых химических атомных весов ($\text{O}=16$) на новую шкалу производится по формуле

$$1e = (1,000\,043 \pm 0,000\,012) \text{ ед. хим. шкалы.}$$

Впервые относительные массы нуклидов по новой шкале $^{12}\text{C}=12$ были вычислены по новейшим измерениям масс нуклидов Эверлингом, Кёнигом, Маттаухом и Вапстра ²¹ в 1960 г. Затем в 1961 г. Кёниг, Маттаух и Вапстра составили новую таблицу масс нуклидов ²².

Комиссия по атомным весам ЮПАК опубликовала в октябре 1961 г. новую таблицу атомных весов по шкале $^{12}\text{C}=12$ ^{23,24}. Эти данные приводятся в табл. III.

Новые атомные веса вычислены по массам нуклидов, приведенным в работе Эверлинга, Кёнига, Маттауха и Вапстра ²¹ и наиболее достоверным значениям относительных распространенностей изотопов ²⁵. В таблице приводятся не только атомные веса, но и пределы их колебаний, вызванные изменением изотопного состава элементов. В этой таблице ряд атомных весов, особенно у анизотопных элементов, более точен, чем старые атомные веса элементов.

Т а б л и ц а III

Относительные атомные веса (массы) (на 1961 г.) (в шкале $^{12}\text{C} = 12$)

Поряд- ковый номер	Название элемента	Сим- вол	Атомный вес (масса)	Поряд- ковый номер	Название элемента	Сим- вол	Атомный вес (масса)
1	Водород . . .	H	1,00797	48	Кадмий . . .	Cd	112,40
			$\pm 0,00001$ <i>p</i>	49	Индий . . .	In	114,82
2	Гелий . . .	He	4,0026	50	Олово . . .	Sn	118,69
3	Литий . . .	Li	6,939	51	Сурьма . . .	Sb	121,75
4	Бериллий . .	Be	9,0122	52	Теллур . . .	Te	127,60
5	Бор . . .	B	10,811	53	Иод . . .	I	126,9044
			$\pm 0,003$ <i>p</i>	54	Ксенон . . .	Xe	131,30
6	Углерод . . .	C	12,01115	55	Цезий . . .	Cs	132,905
			$\pm 0,00005$ <i>p</i>	56	Барий . . .	Ba	137,34
7	Азот . . .	N	14,0067	57	Лантан . . .	La	138,91
8	Кислород . .	O	15,9994	58	Церий . . .	Ce	140,12
			$\pm 0,0001$ <i>p</i>	59	Прозеродим . .	Pr	140,907
9	Фтор . . .	F	18,9984	60	Неодим . . .	Nd	144,24
10	Неон . . .	Ne	20,183	61	Прометий . . .	Pm	—
11	Натрий . . .	Na	22,9898	62	Самарий . . .	Sm	150,35
12	Магний . . .	Mg	24,312	63	Европий . . .	Eu	151,96
13	Алюминий . .	Al	26,9815	64	Гадолиний . . .	Gd	157,25
14	Кремний . . .	Si	28,086	65	Тербий . . .	Tb	158,924
			$\pm 0,001$ <i>p</i>	66	Диспрозий . . .	Dy	162,50
15	Фосфор . . .	P	30,9738	67	Гольмий . . .	Ho	164,930
16	Сера . . .	S	32,064	68	Эрбий . . .	Er	167,26
			$\pm 0,003$ <i>p</i>	69	Тулий . . .	Tm	168,934
17	Хлор . . .	Cl	35,453	70	Иттербий . . .	Yb	173,04
			$\pm 0,001$	71	Лютеций . . .	Lu	174,97
18	Аргон . . .	Ar	39,948	72	Гафний . . .	Hf	178,49
19	Калий . . .	K	39,102	73	Тантал . . .	Ta	180,948
20	Кальций . . .	Ca	40,08	74	Вольфрам . . .	W	183,85
21	Скандий . . .	Sc	44,956	75	Рений . . .	Re	186,2
22	Титан . . .	Ti	47,90	76	Осмий . . .	Os	190,2
23	Ванадий . . .	V	50,942	77	Иридий . . .	Ir	192,2
24	Хром . . .	Cr	51,996	78	Платина . . .	Pt	195,09
			$\pm 0,001$	79	Золото . . .	Au	196,967
25	Марганец . .	Mn	54,9381	80	Ртуть . . .	Hg	200,59
26	Железо . . .	Fe	55,847	81	Таллий . . .	Tl	204,37
			$\pm 0,003$	82	Свинец . . .	Pb	207,19
27	Кобальт . . .	Co	58,9332	83	Висмут . . .	Bi	208,980
28	Никель . . .	Ni	58,71	84	Полоний . . .	Po	—
29	Медь . . .	Cu	63,54	85	Астат . . .	At	—
30	Цинк . . .	Zn	65,37	86	Эманация . . .	Em	—
31	Галлий . . .	Ga	69,72	87	Франций . . .	Fr	—
32	Германий . .	Ge	72,59	88	Радий . . .	Ra	—
33	Мышьяк . . .	As	74,9216	89	Актиний . . .	Ac	—
34	Селен . . .	Se	78,96	90	Торий . . .	Th	232,038
35	Бром . . .	Br	79,909	91	Протактиний . .	Pa	—
			$\pm 0,002$	92	Уран . . .	U	238,03
36	Криптон . . .	Kr	83,80	93	Нептуний . . .	Np	—
37	Рубидий . . .	Rb	85,47	94	Плутоний . . .	Pu	—
38	Стронций . .	Sr	87,62	95	Америций . . .	Am	—
39	Иттрий . . .	Y	88,905	96	Кюрий . . .	Cm	—
40	Цирконий . .	Zr	91,22	97	Беркелий . . .	Bk	—
41	Ниобий . . .	Nb	92,906	98	Калифорний . .	Cf	—
42	Молибден . .	Mo	95,94	99	Эйнштейний . .	Es	—
43	Технеций . .	Tc	—	100	Фермий . . .	Fm	—
44	Рутений . . .	Ru	101,07	101	Менделевий . .	Md	—
45	Родий . . .	Rh	102,905	102	Нобелий . . .	No	—
46	Палладий . .	Pd	106,4	103	Лоуренсий . . .	Lw	—
47	Серебро . . .	Ag	107,870				
			$\pm 0,003$				

Величины, у которых стоит буква *p*, представляют собой возможные отклонения атомных весов, вызванные естественными колебаниями в изотопном составе элементов.

В тех случаях, когда погрешности не приводятся, атомные веса известны с точностью до $\pm 0,5$ последней значащей цифры.

Таблица IV

Относительные массы нуклидов по шкале $^{12}\text{C}=12$ и энергии связи ядер*)

Порядко- вый номер Z	Массовое число A	Символ	Избыток массы (мке)	Энергия связи (кэв)
0	1	n	$8\,665,44 \pm 0,43$	
1	1	H	$7\,825,22 \pm 0,08$	
1	2	D	$14\,102,19 \pm 0,11$	$2\,224,71 \pm 0,40$
1	3	T	$16\,049,40 \pm 0,23$	$8\,482,3 \pm 0,8$
2	3	He	$16\,029,94 \pm 0,23$	$7\,717,87 \pm 0,44$
2	4	He	$2\,603,61 \pm 0,37$	$28\,295,0 \pm 0,9$
2	5	He	$12\,296 \pm 21$	$27\,338 \pm 20$
3	5	Li	$12\,541 \pm 40$	$26\,328 \pm 37$
2	6	He	$18\,900 \pm 18$	$29\,259 \pm 17$
3	6	Li	$15\,126,3 \pm 1,0$	$31\,991,0 \pm 1,5$
4	6	Be	$19\,780 \pm 150$	$26\,870 \pm 140$
3	7	Li	$16\,005,3 \pm 1,1$	$39\,243,6 \pm 1,8$
4	7	Be	$16\,930,7 \pm 1,3$	$37\,599,0 \pm 1,4$
3	8	Li	$22\,488,4 \pm 1,6$	$41\,276,3 \pm 2,4$
4	8	Be	$5\,308,3 \pm 0,8$	$56\,495,9 \pm 1,8$
5	8	B	$24\,611,7 \pm 1,7$	$37\,733,3 \pm 2,2$
3	9	Li	$27\,300 \pm 900$	$44\,900 \pm 800$
4	9	Be	$12\,185,8 \pm 0,9$	$58\,161,3 \pm 2,1$
5	9	B	$13\,334,7 \pm 2,0$	$56\,308,5 \pm 2,7$
4	10	Be	$13\,535,3 \pm 2,3$	$64\,975,6 \pm 3,2$
5	10	B	$12\,938,9 \pm 0,7$	$64\,748,5 \pm 2,3$
6	10	C	$16\,830 \pm 60$	$60\,340 \pm 60$
4	11	Be	$21\,660 \pm 16$	$65\,480 \pm 15$
5	11	B	$9\,305,09 \pm 0,43$	$76\,204,6 \pm 2,6$
6	11	C	$11\,431,3 \pm 1,5$	$73\,441,3 \pm 2,0$
5	12	B	$14\,352,9 \pm 1,0$	$79\,574,2 \pm 3,0$
6	12	C	0 ± 0	$92\,160,5 \pm 2,7$
7	12	N	$18\,709 \pm 44$	$73\,952 \pm 41$
5	13	B	$17\,779,4 \pm 4,3$	$84\,454 \pm 5$
6	13	C	$3\,354,3 \pm 0,7$	$97\,107,5 \pm 3,1$
7	13	N	$5\,738,9 \pm 1,4$	$94\,103,7 \pm 3,2$
6	14	C	$3\,241,93 \pm 0,41$	$105\,283,5 \pm 3,3$
7	14	N	$3\,074,38 \pm 0,17$	$104\,656,9 \pm 3,1$
8	14	O	$8\,597,0 \pm 0,7$	$98\,730,3 \pm 2,8$
6	15	C	$10\,600,0 \pm 1,2$	$106\,501,2 \pm 3,8$
7	15	N	$108,1 \pm 0,9$	$115\,491,2 \pm 3,6$
8	15	O	$3\,071,9 \pm 1,9$	$111\,948,0 \pm 3,9$
6	16	C	$14\,702 \pm 17$	$110\,752 \pm 17$
7	16	N	$6\,089 \pm 6$	$117\,991 \pm 7$
8	16	O	$-5\,085,06 \pm 0,28$	$127\,617,0 \pm 3,5$
9	16	F	$11\,707 \pm 13$	$111\,194 \pm 12$
7	17	N	$8\,449 \pm 16$	$123\,865 \pm 16$
8	17	O	$-866,6 \pm 0,9$	$131\,759,1 \pm 4,1$
9	17	F	$2\,098,4 \pm 2,4$	$128\,214,8 \pm 4,5$

*) Таблица составлена по работе Кёнига, Маттауха и Вапстра ²² с дополнениями и исправлениями автора по измерениям Демирханова, Дорохова и Джукя ²⁶ и др.

Продолжение табл. IV

Порядко- вый номер Z	Массовое число A	Символ	Избыток массы (мке)	Энергия связи (кэв)
8	18	O	-840,17±0,34	139 805,9±4,3
9	18	F	949,9±4,3	137 356±6
10	18	Ne	5 715±6	132 135±7
8	19	O	3 577,3±4,3	143 763±6
9	19	F	-1 595,4±0,7	147 798,1±4,4
10	19	Ne	1 883,2±2,0	143 775,0±2,2
8	20	O	4 071±16	151 374±16
9	20	F	-14,5±4,0	154 397±6
10	20	Ne	7 559,6±0,5	160 642,1±4,4
11	20	Na	8 890±320	144 540±300
9	21	F	-49±11	162 504±10
10	21	Ne	-6 150,8±1,7	167 401±5
11	21	Na	-2 362±18	163 089±18
10	22	Ne	-8 615,5±0,6	177 768±5
11	22	Na	-5 565±5	174 144±7
12	22	Mg	-152±90	168 320±80
10	23	Ne	-5 525±5	182 961±7
11	23	Na	-10 227,4±1,6	186 558±5
12	23	Mg	-5 865±6	181 712±7
10	24	Ne	-6 389±11	191 838±11
11	24	Na	-9 033,1±2,9	193 517±6
12	24	Mg	-14 955,4±1,9	198 251±6
13	24	Al	90±320	183 450±300
11	25	Na	-10 080±210	202 560±200
12	25	Mg	-14 167,3±2,0	205 582±6
13	25	Al	-9 586±7	200 538±8
11	26	Na	-8 260±320	208 940±300
12	26	Mg	-17 409,1±2,4	216 679±6
13	26	Al	-13 100±5	211 882±8
14	26	Si	-7 680±90	206 050±80
12	27	Mg	-15 654,5±3,9	223 116±7
13	27	Al	-18 465,1±2,1	224 951±6
14	27	Si	-13 299±6	219 356±8
12	28	Mg	-16 120±7	231 621±9
13	28	Al	-18 091,9±3,9	232 675±7
14	28	Si	-23 072,9±3,1	236 532±7
15	28	P	-8 260±320	221 950±300
13	29	Al	-19 558±7	242 112±9
14	29	Si	-23 509,2±3,6	245 010±7
15	29	P	-18 184±11	239 267±12
13	30	Al	-18 413±270	249 120±250
14	30	Si	-26 239,3±4,3	255 624±8
15	30	P	-21 680±11	250 595±12
16	30	S	-15 270±120	243 840±110
14	31	Si	-24 651±5	262 216±9
15	31	P	-26 236,6±1,5	262 910±7
16	31	S	-20 401±18	256 692±18
14	32	Si	-25 980±50	271 530±50
15	32	P	-26 092,1±2,4	270 847±8
16	32	S	-27 926,2±1,1	271 773±7
17	32	Cl	-13 970±320	257 990±300
15	33	P	-28 272,2±3,7	280 949±9

Продолжение табл. IV

Порядко- вый номер Z	Массовое число A	Символ	Избыток массы (мке)	Энергия связи (мэв)
16	33	S	$-28\,539,5 \pm 3,0$	$280\,415 \pm 8$
17	33	Cl	$-22\,554 \pm 13$	$274\,058 \pm 14$
15	34	P	$-26\,660 \pm 210$	$287\,520 \pm 200$
16	34	S	$-32\,135,5 \pm 3,1$	$291\,836 \pm 8$
17	34	Cl	$-26\,236 \pm 22$	$285\,558 \pm 22$
16	35	S	$-30\,965,8 \pm 2,8$	$298\,818 \pm 9$
17	35	Cl	$-31\,145,5 \pm 2,8$	$298\,203 \pm 8$
18	35	A	$-24\,725 \pm 43$	$291\,440 \pm 41$
16	36	S	$-32\,909 \pm 9$	$308\,700 \pm 13$
17	36	Cl	$-31\,688 \pm 6$	$306\,780 \pm 10$
18	36	A	$-32\,451,9 \pm 3,4$	$306\,708 \pm 9$
16	37	S	$-28\,960 \pm 100$	$313\,090 \pm 90$
17	37	Cl	$-34\,104,1 \pm 2,2$	$317\,101 \pm 9$
18	37	A	$-33\,228,0 \pm 2,7$	$315\,503 \pm 9$
19	37	K	$-26\,640 \pm 44$	$308\,584 \pm 42$
16	38	S	$-28\,780 \pm 160$	$320\,990 \pm 150$
17	38	Cl	$-31\,998 \pm 9$	$323\,211 \pm 12$
18	38	A	$-37\,275,5 \pm 3,4$	$327\,344 \pm 9$
19	38	K	$-30\,910 \pm 11$	$320\,632 \pm 14$
17	39	Cl	$-31\,997 \pm 23$	$331\,281 \pm 23$
18	39	A	$-35\,679 \pm 6$	$333\,929 \pm 11$
19	39	K	$-36\,286,0 \pm 3,0$	$333\,711 \pm 9$
20	39	Ca	$-29\,294 \pm 27$	$326\,416 \pm 27$
17	40	Cl	$-29\,600 \pm 500$	$337\,100 \pm 500$
18	40	A	$-37\,616,2 \pm 0,8$	$343\,804 \pm 10$
19	40	K	$-35\,992,1 \pm 3,6$	$341\,509 \pm 10$
20	40	Ca	$-37\,410,8 \pm 3,7$	$342\,048 \pm 10$
21	40	Sc	$-22\,490 \pm 430$	$327\,360 \pm 400$
18	41	A	$35\,497 \pm 6$	$349\,901 \pm 6$
19	41	K	$-38\,164,9 \pm 4,6$	$351\,604 \pm 11$
20	41	Ca	$-37\,721 \pm 9$	$350\,408 \pm 12$
21	41	Sc	$-30\,747 \pm 12$	$343\,129 \pm 14$
18	42	A	$-36\,957 \pm 43$	$359\,332 \pm 41$
19	42	K	$-37\,583 \pm 22$	$359\,133 \pm 23$
20	42	Ca	$-41\,372,3 \pm 4,4$	$361\,880 \pm 11$
21	42	Sc	$-34\,660 \pm 60$	$354\,850 \pm 60$
19	43	K	$-39\,269 \pm 12$	$368\,775 \pm 15$
20	43	Ca	$-41\,220,0 \pm 4,8$	$369\,810 \pm 11$
21	43	Sc	$-38\,837 \pm 12$	$366\,807 \pm 15$
22	43	Ti	$-31\,504 \pm 24$	$359\,194 \pm 24$
19	44	K	$-37\,960 \pm 210$	$375\,630 \pm 200$
20	44	Ca	$-44\,510,3 \pm 4,8$	$380\,946 \pm 11$
21	44	Sc	$-40\,594 \pm 7$	$376\,515 \pm 12$
22	44	Ti	$-40\,427 \pm 13$	$375\,577 \pm 15$
20	45	Ca	$-43\,810,6 \pm 4,6$	$388\,365 \pm 12$
21	45	Sc	$-44\,081,1 \pm 4,2$	$387\,835 \pm 11$
22	45	Ti	$-41\,871 \pm 6$	$384\,994 \pm 12$
20	46	Ca	$-46\,311 \pm 10$	$398\,766 \pm 15$
21	46	Sc	$-44\,827 \pm 6$	$396\,601 \pm 12$
22	46	Ti	$-47\,366,6 \pm 3,7$	$398\,184 \pm 11$
23	46	V	$-39\,774 \pm 32$	$390\,329 \pm 32$
20	47	Ca	$-45\,488 \pm 23$	$406\,071 \pm 24$

Продолжение табл. IV

Порядко- вый номер Z	Массовое число А	Символ	Избыток массы (мке)	Энергия связи (кэв)
21	47	Sc	-47 598±8	407 253±13
22	47	Ti	-48 242±8	407 070±13
23	47	V	-45 116±13	403 376±16
20	48	Ca	-47 637±15	416 143±18
21	48	Sc	-47 769±10	415 483±15
22	48	Ti	-52 052,2±3,6	418 691±11
23	48	V	-47 740±6	413 891±12
24	48	Cr	-46 240±210	411 710±200
20	49	Ca	-44 338±16	421 142±19
21	49	Sc	-49 975±6	425 610±14
22	49	Ti	-52 133,4±3,5	426 837±12
23	49	V	-51 477±6	425 443±12
24	49	Cr	-48 729±12	422 101±16
21	50	Sc	-48 400±500	432 300±500
22	50	Ti	-55 210,9±4,8	437 775±12
23	50	V	-52 835,4±4,0	434 780±12
24	50	Cr	-53 949,3±4,5	435 035±12
25	50	Mn	46 010±320	426 850±300
22	51	Ti	-53 376±22	444 137±24
23	51	V	-56 022,1±4,2	445 820±12
24	51	Cr	-55 214,1±4,5	444 284±12
25	51	Mn	51 800±50	440 320±50
23	52	V	-55 198±8	453 124±14
24	52	Cr	-59 486,3±3,6	456 335±12
25	52	Mn	-54 437±9	450 849±14
26	52	Fe	-51 879±19	447 684±20
23	53	V	-56 630±50	462 530±50
24	53	Cr	-59 348,9±3,7	464 278±13
25	53	Mn	-58 707±9	462 898±15
26	53	Fe	-54 422±43	458 124±42
24	54	Cr	-61 121,6±4,8	474 000±13
25	54	Mn	-59 640±7	471 838±14
26	54	Fe	60 379±6	471 744±13
27	54	Co	-51 570±320	462 760±300
24	55	Cr	-58 920±150	480 020±140
25	55	Mn	-61 946,4±4,1	482 058±13
26	55	Fe	-61 697,6±4,6	481 044±13
27	55	Co	-57 983±12	476 801±16
24	56	Cr	-59 360±160	488 500±150
25	56	Mn	-61 086±6	489 328±14
26	56	Fe	65 068±6	492 254±14
27	56	Co	-60 130±17	486 872±20
25	57	Mn	-61 710±320	497 980±300
26	57	Fe	-64 606±6	499 896±14
27	57	Co	-63 708±7	498 277±15
28	57	Ni	-60 235±17	494 259±21
26	58	Fe	-66 728±7	509 943±15
27	58	Co	-64 246±15	506 849±19
28	58	Ni	-64 658±6	506 450±14
29	58	Cu	-55 496±28	497 133±26
26	59	Fe	-65 133±7	516 529±15
27	59	Co	-66 810,9±4,6	517 309±14
28	59	Ni	-65 656±5	515 451±14
29	59	Cu	-60 504±22	509 870±24

Продолжение табл. IV

Порядко- вый номер Z	Массовое число A	Символ	Избыток массы (мзе)	Энергия связи (кэв)
27	60	Co	-66 194±6	524 806±15
28	60	Ni	-69 217±6	526 839±14
29	60	Cu	62 630±17	519 940±16
27	61	Co	67 366±43	534 155±43
28	61	Ni	-68 951±9	534 662±16
29	61	Cu	-66 556±10	531 649±16
30	61	Zn	-60 760±210	523 460±200
27	62	Co	-66 051±43	540 815±43
28	62	Ni	71 635±7	545 252±15
29	62	Cu	67 436±13	540 340±18
30	62	Zn	65 621±16	538 067±20
27	63	Co	66 470±210	549 280±200
28	63	Ni	70 324±6	552 094±15
29	63	Cu	-70 406±6	551 378±15
30	63	Zn	66 792±7	547 229±15
28	64	Ni	72 041±6	561 755±16
29	64	Cu	70 239±6	559 294±15
30	64	Zn	70 855±5	559 085±15
31	64	Ga	-63 262±33	551 230±34
28	65	Ni	-69 959±22	567 887±26
29	65	Cu	72 214±6	569 204±16
30	65	Zn	70 766±6	567 074±16
31	65	Ga	67 267±17	563 032±21
32	65	Ge	-62 200±430	557 530±400
28	66	Ni	-70 914±33	576 848±35
29	66	Cu	-71 129±9	576 265±18
30	66	Zn	-73 952±10	578 112±18
31	66	Ga	-68 401±34	572 160±35
32	66	Ge	-65 230±160	568 430±150
29	67	Cu	-72 237±14	585 369±20
30	67	Zn	72 851±11	585 158±18
31	67	Ga	71 779±12	583 377±19
32	67	Ge	67 060±110	578 190±100
30	68	Zn	-75 135±9	595 357±18
31	68	Ga	-72 003±11	591 657±18
32	68	Ge	71 300±600	590 200±600
30	69	Zn	-73 347±29	601 762±31
31	69	Ga	-74 318±28	601 880±20
32	69	Ge	-71 917±30	598 865±32
33	69	As	67 730±320	594 180±300
30	70	Zn	74 652±16	611 050±22
31	70	Ga	73 932±17	609 615±23
32	70	Ge	-75 723±20	610 482±24
33	70	As	-68 700±110	603 160±100
30	71	Zn	-72 358±74	616 980±70
31	71	Ga	-75 160±50	618 810±50
32	71	Ge	-74 910±50	617 790±50
33	71	As	72 750±50	615 000±50
34	71	Se	-68 030±330	609 820±300
30	72	Zn	-72 260±220	624 960±210
31	72	Ga	-73 970±50	625 770±50
32	72	Ge	-78 260±50	628 980±50
33	72	As	-73 570±60	623 840±60

Продолжение табл IV

Порядко- вый номер Z	Массовое число A	Символ	Избыток массы (мке)	Энергия связи (кэв)
31	73	Ga	-74 980±80	634 780±80
32	73	Ge	-76 640±70	635 550±70
33	73	As	-76 240±80	634 400±80
34	73	Se	-73 290±80	630 870±80
31	74	Ga	-72 780±220	640 810±210
32	74	Ge	-78 850±60	645 670±50
33	74	As	-76 090±50	642 330±50
34	74	Se	-77 550±60	642 900±50
35	74	Br	-71 110±430	636 120±400
36	74	Kr	-66 690±450	631 220±420
32	75	Ge	-77 160±60	652 170±50
33	75	As	-78 420±50	652 570±50
34	75	Se	-77 490±50	650 920±50
35	75	Br	-74 570±60	647 420±50
32	76	Ge	-78 640±90	661 620±90
33	76	As	-77 583±48	659 857±49
34	76	Se	-80 771±48	662 044±48
35	76	Br	-75 800±80	656 630±80
32	77	Ge	-76 380±70	667 590±70
33	77	As	-79 332±49	669 560±49
34	77	Se	-80 066±48	669 459±48
35	77	Br	-78 601±48	667 314±48
36	77	Kr	-75 510±50	663 650±50
32	78	Ge	-77 290±160	676 510±150
33	78	As	-78 250±120	676 620±110
34	78	Se	-82 652±48	679 939±48
35	78	Br	-78 860±40	675 620±40
36	78	Kr	-79 632±5	675 560±19
33	79	As	-79 010±110	685 400±100
34	79	Se	-81 479±20	686 917±27
35	79	Br	-81 652±19	686 295±26
36	79	Kr	-79 911±20	683 892±26
33	80	As	-77 050±220	691 650±200
34	80	Se	-83 488±17	696 859±25
35	80	Br	-81 459±16	694 188±24
36	80	Kr	-83 612±13	695 410±22
37	80	Rb	-78 100±500	689 500±500
33	81	As	-78 060±220	700 660±210
34	81	Se	-82 140±60	703 680±60
35	81	Br	-83 656±37	704 305±40
36	81	Kr	-83 390±100	703 280±90
37	81	Rb	-80 990±100	700 260±100
34	82	Se	-83 340±70	712 860±70
35	82	Br	-83 198±8	711 953±22
36	82	Kr	-86 517±8	714 259±21
37	82	Rb	-82 041±33	709 309±37
34	83	Se	-81 090±100	718 850±90
35	83	Br	-84 795±23	721 512±30
36	83	Kr	-85 869±8	721 726±22
35	84	Br	-83 450±50	728 330±50
36	84	Kr	-88 496±5	732 244±21
37	84	Rb	85 648±7	728 809±22
38	84	Sr	-86 624±11	728 936±23

Продолжение табл. IV

Порядко- вый номер Z	Массовое число A	Символ	Избыток массы (мке)	Энергия связи (кэв)
35	85	Br	-84 560±120	737 440±110
36	85	Kr	-87 570±60	739 450±60
37	85	Rb	-88 290±60	739 340±60
38	85	Sr	-87 100±60	737 450±60
39	85	Y	-83 880±120	733 670±120
36	86	Kr	-89 383±8	749 213±23
37	86	Rb	-88 844±30	747 932±30
38	86	Sr	-90 746±30	748 921±30
39	86	Y	-85 131±37	742 908±40
35	87	Br	-78 040±430	747 510±400
36	87	Kr	-86 630±50	754 720±50
37	87	Rb	-90 833±30	757 854±30
38	87	Sr	-91 125±30	757 343±30
39	87	Y	-89 310±220	754 870±200
40	87	Zr	-85 540±220	750 580±200
36	88	Kr	-85 780±230	762 000±220
37	88	Rb	-88 790±90	764 020±80
38	88	Sr	-94 363±40	768 433±40
39	88	Y	-90 470±40	764 024±40
37	89	Rb	-88 390±60	771 710±60
38	89	Sr	-92 586±23	774 849±24
39	89	Y	-94 155±20	775 527±22
40	89	Zr	-91 113±22	771 912±22
41	89	Nb	-86 950±100	767 250±100
37	90	Rb	-85 180±110	776 800±100
38	90	Sr	-92 252±32	782 608±32
39	90	Y	-92 836±32	782 370±32
40	90	Zr	-95 255±30	783 840±30
41	90	Nb	-88 688±44	776 941±42
42	90	Mo	-85 961±120	773 618±110
38	91	Sr	-89 814±42	788 409±41
39	91	Y	-92 680±40	790 297±40
40	91	Zr	-94 343±40	791 063±40
41	91	Nb	-92 530±130	788 590±120
42	91	Mo	-87 740±120	783 350±110
38	92	Sr	-89 020±100	795 740±100
39	92	Y	-91 074±70	796 870±70
40	92	Zr	-94 939±40	799 689±40
41	92	Nb	-92 690±90	797 003±80
42	92	Mo	-93 160±80	796 464±70
43	92	Tc	-86 300±700	789 280±600
39	93	Y	-90 330±64	804 250±60
40	93	Zr	-93 432±60	806 357±60
41	93	Nb	-93 500±60	805 638±60
42	93	Mo	-92 960±74	804 349±70
43	93	Tc	-89 560±80	800 406±80
39	94	Y	-88 348±230	810 475±220
40	94	Zr	-93 716±60	814 693±60
41	94	Nb	-92 570±110	812 843±110
42	94	Mo	-94 840±90	814 174±80
43	94	Tc	-90 200±100	809 072±90
40	95	Zr	-94 146±60	821 115±60
41	95	Nb	-93 151±60	821 454±60
42	95	Mo	-94 146±60	821 599±60

Продолжение табл. IV

Порядко- вый номер Z	Массовое число A	Символ	Избыток массы (мке)	Энергия связи (кэВ)
43	95	Tc	-92 368±64	819 160±70
44	95	Ru	-90 010±130	816 180±130
40	96	Zr	-91 610±120	828 880±120
41	96	Nb	-91 960±80	828 412±70
42	96	Mo	-95 320±70	830 759±70
43	96	Tc	92 120±330	827 000±310
44	96	Ru	-92 620±80	826 680±80
40	97	Zr	-89 120±100	834 624±90
41	97	Nb	-91 970±90	836 501±90
42	97	Mo	94 050±90	837 650±90
41	98	Nb	-89 560±220	842 323±220
42	98	Mo	-94 500±80	846 141±80
43	98	Tc	-93 440±530	844 400±520
44	98	Ru	-95 260±480	845 300±470
45	98	Rh	90 750±600	840 300±550
41	99	Nb	-89 090±360	849 960±350
42	99	Mo	-92 530±160	852 380±160
43	99	Tc	-94 010±160	852 980±160
44	99	Ru	-94 325±160	852 490±160
45	99	Rh	-92 070±160	849 600±160
46	99	Pd	87 990±270	845 020±260
42	100	Mo	-92 520±80	860 440±74
43	100	Tc	-92 250±210	859 410±210
44	100	Ru	-95 870±200	861 990±200
45	100	Rh	-91 960±200	857 570±200
46	100	Pd	-91 530±230	856 389±230
42	101	Mo	-90 020±170	866 190±170
43	101	Tc	-93 050±160	868 220±160
44	101	Ru	-94 800±160	869 070±160
45	101	Rh	-94 430±250	867 943±250
46	101	Pd	-92 540±260	865 400±260
42	102	Mo	-90 450±470	874 660±440
43	102	Tc	-91 740±350	875 080±320
44	102	Ru	-96 140±130	878 390±120
45	102	Rh	-93 660±130	875 290±120
46	102	Pd	94 890±130	875 660±120
44	103	Ru	-94 200±140	884 658±130
45	103	Rh	-95 010±140	884 626±130
46	103	Pd	-94 410±140	883 283±130
47	103	Ag	-92 050±250	880 300±240
44	104	Ru	-94 910±200	893 390±200
45	104	Rh	-93 640±140	891 420±130
46	104	Pd	-96 260±140	893 080±130
47	104	Ag	-91 660±140	888 020±130
44	105	Ru	-92 710±270	899 410±250
45	105	Rh	-94 750±270	900 530±250
46	105	Pd	-95 360±270	900 310±250
47	105	Ag	-93 200±600	897 500±500
44	106	Ru	-92 970±120	907 720±110
45	106	Rh	-93 010±120	906 980±110
46	106	Pd	-96 800±120	909 720±110
47	106	Ag	-93 610±120	905 970±110
48	106	Cd	-94 050±370	905 600±350
45	107	Rh	-93 380±120	915 390±120

Продолжение табл. IV

Порядко- вый номер Z	Массовое число A	Символ	Избыток массы (мке)	Энергия связи (кэв)
46	107	Pd	$-94\,990 \pm 110$	$916\,110 \pm 110$
47	107	Ag	$-95\,030 \pm 110$	$915\,360 \pm 110$
48	107	Cd	$-93\,480 \pm 110$	$913\,140 \pm 110$
46	108	Pd	$-96\,080 \pm 120$	$925\,190 \pm 120$
47	108	Ag	$-94\,110 \pm 110$	$922\,570 \pm 110$
48	108	Cd	$-96\,000 \pm 120$	$923\,560 \pm 120$
49	108	In	$-90\,530 \pm 160$	$917\,680 \pm 150$
46	109	Pd	$-94\,100 \pm 110$	$931\,430 \pm 110$
47	109	Ag	$-95\,300 \pm 110$	$931\,750 \pm 110$
48	109	Cd	$-95\,130 \pm 110$	$930\,820 \pm 110$
49	109	In	$-92\,960 \pm 110$	$928\,010 \pm 110$
46	110	Pd	$-95\,500 \pm 320$	$940\,800 \pm 300$
47	110	Ag	$-93\,950 \pm 110$	$938\,570 \pm 110$
48	110	Cd	$-97\,030 \pm 110$	$940\,660 \pm 110$
49	110	In	$-92\,780 \pm 120$	$935\,920 \pm 120$
46	111	Pd	$-92\,509 \pm 190$	$946\,086 \pm 190$
47	111	Ag	$-94\,871 \pm 190$	$947\,503 \pm 190$
48	111	Cd	$-95\,998 \pm 190$	$947\,770 \pm 180$
49	111	In	$-94\,965 \pm 210$	$946\,030 \pm 200$
50	111	Sn	$-92\,295 \pm 210$	$942\,760 \pm 200$
46	112	Pd	$-92\,386 \pm 120$	$954\,040 \pm 120$
47	112	Ag	$-92\,708 \pm 120$	$953\,560 \pm 120$
48	112	Cd	$-97\,045 \pm 110$	$956\,820 \pm 110$
49	112	In	$-94\,212 \pm 110$	$953\,400 \pm 120$
50	112	Sn	$-94\,912 \pm 120$	$953\,260 \pm 120$
47	113	Ag	$-93\,240 \pm 110$	$962\,130 \pm 110$
48	113	Cd	$-95\,387 \pm 100$	$963\,340 \pm 100$
49	113	In	$-95\,720 \pm 100$	$962\,870 \pm 100$
50	113	Sn	$-94\,986 \pm 100$	$961\,400 \pm 100$
47	114	Ag	$-91\,505 \pm 440$	$968\,580 \pm 410$
48	114	Cd	$-96\,443 \pm 90$	$972\,400 \pm 80$
49	114	In	$-94\,922 \pm 100$	$970\,200 \pm 90$
50	114	Sn	$-97\,057 \pm 100$	$971\,400 \pm 90$
51	114	Sb	$-90\,320 \pm 230$	$964\,340 \pm 220$
47	115	Ag	$-91\,472 \pm 340$	$976\,620 \pm 320$
48	115	Cd	$-94\,585 \pm 100$	$978\,740 \pm 100$
49	115	In	$-96\,153 \pm 100$	$979\,420 \pm 100$
50	115	Sn	$-96\,669 \pm 110$	$979\,120 \pm 100$
51	115	Sb	$-93\,415 \pm 110$	$975\,300 \pm 100$
47	116	Ag	$-89\,086 \pm 450$	$982\,480 \pm 500$
48	116	Cd	$-94\,990 \pm 120$	$987\,190 \pm 300$
49	116	In	$-94\,663 \pm 120$	$986\,100 \pm 110$
50	116	Sn	$-98\,207 \pm 110$	$988\,620 \pm 100$
51	116	Sb	$-93\,286 \pm 150$	$983\,250 \pm 170$
52	116	Te	$-91\,616 \pm 190$	$980\,910 \pm 180$
48	117	Cd	$-92\,756 \pm 230$	$993\,180 \pm 220$
49	117	In	$-95\,482 \pm 100$	$994\,940 \pm 90$
50	117	Sn	$-97\,060 \pm 100$	$995\,620 \pm 90$
51	117	Sb	$-95\,107 \pm 110$	$993\,020 \pm 100$
52	117	Te	$-91\,371 \pm 120$	$988\,760 \pm 110$
49	118	In	$-93\,930 \pm 440$	$1\,001\,560 \pm 410$
50	118	Sn	$-98\,443 \pm 100$	$1\,004\,980 \pm 90$
51	118	Sb	$-94\,270 \pm 150$	$1\,000\,310 \pm 140$

Продолжение табл. IV

Порядко- вый номер Z	Массовое число A	Символ	Избыток массы (мке)	Энергия связи (мэв)
49	119	In	-94 270±180	1 009 950±170
50	119	Sn	-96 815± 90	1 011 54±80
51	119	Sb	-96 193± 90	1 010 180±80
52	119	Te	-93 730± 90	1 007 11±80
50	120	Sn	-97 930± 90	1 020 650±80
51	120	Sb	-95 020± 90	1 017 150±80
52	120	Te	-95 49±400	1 016 800±370
53	120	I	90 12±450	1 011 020±420
50	121	Sn	-95 944± 70	1 026 870±60
51	121	Sb	-96 356± 70	1 028 470±60
50	122	Sn	-96 83± 70	1 035 760±60
51	122	Sb	-95 070± 80	1 033 340±70
52	122	Te	-97 186± 70	1 034 530±70
53	122	I	92 774±100	1 029 630±90
50	123	Sn	-94 548± 80	1 041 710±80
51	123	Sb	-96 079± 70	1 042 300±70
52	123	Te	-95 82±130	1 041 320±120
50	124	Sn	-94 929±140	1 050 140±130
51	124	Sb	-94 124±130	1 048 600±120
52	124	Te	-97 254±130	1 050 740±120
53	124	I	-93 797±130	1 046 73±130
54	124	Xe	-93 880±160	1 046 02±150
50	125	Sn	-92 344±110	1 055 80±100
51	125	Sb	-94 844±110	1 057 350±100
52	125	Te	-95 649±130	1 057 310±100
53	125	I	-95 493±130	1 056 390±120
52	126	Te	-96 758± 37	1 066 413±47
53	126	I	94 488± 31	1 063 516±43
54	126	Xe	-95 831± 32	1 063 984±43
55	126	Cs	-90 680±430	1 058 410±400
51	127	Sb	-93 190± 60	1 071 950±60
52	127	Te	-94 908± 25	1 072 766±40
53	127	I	-95 648± 23	1 072 668±39
54	127	Xe	-94 900±380	1 071 190±350
55	127	Cs	-92 660±380	1 068 320±350
52	128	Te	-95 290±140	1 081 190±130
53	128	I	-94 182± 13	1 079 374±35
54	128	Xe	-96 462± 10	1 080 715±33
55	128	Cs	-92 268± 29	1 076 030±41
52	129	Te	-93 424± 12	1 087 526±35
53	129	I	95 013± 11	1 088 224±34
54	129	Xe	-95 216± 10	1 087 625±34
52	130	Te	-93 300±140	1 095 480±140
53	130	I	-93 315± 33	1 094 709±45
54	130	Xe	-96 490± 9	1 096 883±34
55	130	Cs	-93 279± 23	1 093 110±39
56	130	Ba	-93 753± 24	1 092 769±39
52	131	Te	-91 424± 23	1 101 806±40
53	131	I	-93 872± 8	1 103 304±34
54	131	Xe	-94 913± 7	1 103 486±34
55	131	Cs	-94 532±10	1 102 353±34
52	132	Te	-91 432± 32	1 109 884±30
53	132	I	91 974± 17	1 103 607±20

Продолжение табл. IV

Порядко- вый номер Z	Массовое число A	Символ	Избыток массы (m.e.)	Энергия связи (кэв)
54	132	Xe	- 95 833 \pm 8	1 112 418 \pm 34
55	132	Cs	-93 890 \pm 150	1 109 820 \pm 140
56	132	Ba	-94 880 \pm 320	1 109 980 \pm 310
57	132	La	- 89 700 \pm 330	1 104 360 \pm 310
53	133	I	-92 540 \pm 150	1 118 210 \pm 150
54	133	Xe	-94 450 \pm 150	1 119 200 \pm 140
55	133	C	-94 910 \pm 150	1 118 840 \pm 140
56	133	Ba	-94 390 \pm 150	1 117 580 \pm 140
57	133	La	-92 020 \pm 260	1 114 590 \pm 240
53	134	I	-90 160 \pm 50	1 124 060 \pm 60
54	134	Xe	-94 602 \pm 8	1 127 410 \pm 35
55	134	Cs	-93 480 \pm 150	1 125 580 \pm 140
56	134	Ba	- 95 690 \pm 150	1 126 850 \pm 140
57	134	La	- 91 710 \pm 260	1 122 380 \pm 250
54	135	Xe	-92 960 \pm 270	1 133 950 \pm 250
55	135	C	- 94 200 \pm 270	1 134 330 \pm 250
56	135	Ba	- 94 430 \pm 260	1 133 750 \pm 250
57	135	La	- 93 300 \pm 310	1 131 930 \pm 290
53	136	I	- 85 260 \pm 110	1 135 640 \pm 110
54	136	Xe	-92 779 \pm 10	1 141 854 \pm 36
55	136	C	-92 870 \pm 140	1 141 170 \pm 130
56	136	Ba	-95 640 \pm 140	1 142 960 \pm 130
57	136	La	-92 560 \pm 150	1 139 310 \pm 150
58	136	Ce	-92 900 \pm 500	1 138 850 \pm 490
55	137	Cs	-93 180 \pm 130	1 149 520 \pm 130
56	137	Ba	-94 440 \pm 130	1 149 910 \pm 130
55	138	Cs	-89 800 \pm 100	1 154 450 \pm 100
56	138	Ba	- 94 990 \pm 80	1 158 490 \pm 80
57	138	La	-93 190 \pm 80	1 156 030 \pm 80
58	138	Ce	-94 280 \pm 80	1 156 260 \pm 80
55	139	Cs	-86 770 \pm 230	1 159 700 \pm 220
56	139	Ba	-91 390 \pm 80	1 163 210 \pm 80
57	139	La	-93 940 \pm 80	1 164 810 \pm 80
58	139	Ce	-93 650 \pm 80	1 163 750 \pm 80
59	139	Pr	-91 510 \pm 130	1 160 980 \pm 130
56	140	Ba	-89 540 \pm 60	1 169 560 \pm 70
57	140	La	-90 670 \pm 60	1 169 820 \pm 60
58	140	Ce	-94 720 \pm 50	1 172 810 \pm 60
59	140	Pr	-91 218 \pm 49	1 168 770 \pm 60
56	141	Ba	-86 260 \pm 330	1 174 580 \pm 310
57	141	La	-89 380 \pm 60	1 176 700 \pm 60
58	141	Ce	-91 987 \pm 47	1 178 340 \pm 60
59	141	Pr	-92 610 \pm 46	1 178 140 \pm 60
60	141	Nd	-90 678 \pm 48	1 175 560 \pm 60
61	141	Pm	- 86 790 \pm 220	1 171 160 \pm 210
58	142	Ce	-90 960 \pm 80	1 185 460 \pm 80
59	142	Pr	-90 210 \pm 47	1 183 980 \pm 60
60	142	Nd	92 522 \pm 47	1 185 350 \pm 60
61	142	Pm	87 370 \pm 330	1 179 770 \pm 310
57	143	La	84 280 \pm 120	1 188 100 \pm 120
58	143	Ce	- 87 830 \pm 50	1 190 610 \pm 60
59	143	Pr	- 89 370 \pm 50	1 191 270 \pm 60
60	143	Nd	90 380 \pm 50	1 191 420 \pm 60
61	143	Pm	-89 200 \pm 170	1 189 540 \pm 160

Продолжение табл IV

Порядко- вый номер Z	Массовое число A	Символ	Избыток массы (мке)	Энергия связи (кэв)
62	143	Sm	- 85 540±230	1 185 360±210
58	144	Ce	- 86 570±50	1 197 510±60
59	144	Pr	- 86 900±50	1 197 040±60
60	144	Nd	- 90 100±50	1 199 230±60
62	144	Sm	- 88 350±240	1 196 040±220
58	145	Ce	83 760±190	1 202 970±180
59	145	Pr	85 900±150	1 204 180±150
60	145	Nd	- 87 840±150	1 205 200±150
61	145	Pm	- 87 690±150	1 204 280±150
62	145	Sm	- 87 000±150	1 202 860±150
58	146	Ce	- 81 730±280	1 209 150±270
59	146	Pr	- 82 800±260	1 209 370±250
60	146	Nd	- 87 310±150	1 212 780±150
61	146	Pm	85 460±70	1 210 280±80
62	146	Sm	87 100±70	1 211 020±80
63	146	Eu	- 82 320±110	1 205 975±100
60	147	Nd	84 170±50	1 217 930±60
61	147	Pm	- 85 140±50	1 218 050±60
62	147	Sm	- 85 380±50	1 217 490±60
63	147	Eu	- 83 410±200	1 214 880±190
60	148	Nd	- 83 520±160	1 225 390±150
61	148	Pm	- 82 800±150	1 223 940±140
62	148	Sm	- 85 440±130	1 225 610±120
64	148	Gd	- 82 260±260	1 221 090±250
60	149	Nd	- 80 160±150	1 230 330±150
61	149	Pm	- 81 920±130	1 231 190±130
62	149	Sm	- 83 070±130	1 231 470±120
64	149	Gd	- 81 080±220	1 228 060±210
60	150	Nd	- 79 290±150	1 237 590±150
61	150	Pm	- 78 910±150	1 236 460±150
62	150	Sm	- 82 990±130	1 239 480±120
63	150	Eu	- 80 390±160	1 236 270±150
64	150	Gd	- 81 540±160	1 236 560±150
60	151	Nd	- 75 780±240	1 242 400±220
61	151	Pm	78 360±210	1 244 020±200
62	151	Sm	- 80 290±180	1 245 040±170
63	151	Eu	- 80 370±180	1 244 320±170
65	151	Tb	- 77 020±230	1 239 640±210
62	152	Sm	- 80 510±120	1 253 320±110
63	152	Eu	- 78 520±120	1 250 680±110
64	152	Gd	- 80 470±120	1 251 710±110
66	152	Dy	- 75 620±270	1 245 620±250
62	153	Sm	- 78 280±180	1 259 310±170
63	153	Eu	- 79 140±180	1 259 330±170
64	153	Gd	- 78 910±180	1 258 330±170
66	153	Dy	- 74 630±230	1 252 780±220
62	154	Sm	- 77 990±280	1 267 110±260
63	154	Eu	- 77 160±190	1 265 550±180
64	154	Gd	- 79 280±190	1 266 750±180
66	154	Dy	- 75 220±160	1 261 400±160
62	155	Sm	- 75 280±200	1 272 650±190
63	155	Eu	- 77 150±180	1 273 610±170
64	155	Gd	- 77 410±180	1 273 080±170

Продолжение табл IV

Порядко- вый номер Z	Массовое число A	Символ	Избыток массы (мке)	Энергия связи (кэв)
62	156	Sm	-74 290 \pm 180	1 279 810 \pm 180
63	156	Eu	-75 260 \pm 180	1 279 930 \pm 170
64	156	Gd	-77 900 \pm 180	1 281 600 \pm 170
66	156	Dy	-76 240 \pm 420	1 278 490 \pm 390
63	157	Eu	-74 707 \pm 190	1 287 470 \pm 180
64	157	Gd	-76 060 \pm 180	1 287 960 \pm 170
64	158	Gd	75 900 \pm 180	1 295 890 \pm 170
65	158	Tb	-74 990 \pm 250	1 294 240 \pm 240
66	158	Dy	-76 000 \pm 250	1 294 410 \pm 240
67	158	Ho	-75 720 \pm 270	1 292 850 \pm 260
68	158	Er	-73 720 \pm 270	1 290 720 \pm 260
63	159	Eu	-71 670 \pm 280	1 300 800 \pm 250
64	159	Gd	-74 030 \pm 250	1 302 210 \pm 240
65	159	Tb	-75 050 \pm 250	1 302 380 \pm 240
66	159	Dy	-74 640 \pm 250	1 301 220 \pm 240
64	160	Gd	72 880 \pm 190	1 309 210 \pm 180
65	160	Tb	-73 240 \pm 190	1 308 760 \pm 180
66	160	Dy	-75 170 \pm 190	1 309 780 \pm 180
64	161	Gd	70 680 \pm 220	1 315 240 \pm 210
65	161	Tb	-72 830 \pm 210	1 316 450 \pm 200
66	161	Dy	-73 400 \pm 210	1 316 210 \pm 210
66	162	Dy	-73 530 \pm 190	1 324 400 \pm 180
67	162	Ho	-71 210 \pm 200	1 321 450 \pm 190
68	162	Er	-71 220 \pm 350	1 320 680 \pm 330
66	163	Dy	-71 630 \pm 210	1 330 700 \pm 200
67	163	Ho	-71 620 \pm 210	1 329 910 \pm 200
66	164	Dy	-71 170 \pm 240	1 338 340 \pm 230
67	164	Ho	-69 650 \pm 250	1 336 140 \pm 230
68	164	Er	-70 710 \pm 250	1 336 350 \pm 230
69	164	Tm	-66 460 \pm 250	1 331 600 \pm 230
66	165	Dy	-68 300 \pm 250	1 343 740 \pm 230
67	165	Ho	-69 700 \pm 250	1 344 260 \pm 230
68	165	Er	-69 610 \pm 250	1 343 390 \pm 230
66	166	Dy	-67 100 \pm 170	1 350 690 \pm 170
67	166	Ho	-67 620 \pm 170	1 350 390 \pm 170
68	166	Er	-69 600 \pm 170	1 351 460 \pm 170
69	166	Tm	-67 030 \pm 200	1 348 270 \pm 190
67	167	Ho	-66 880 \pm 190	1 357 770 \pm 180
68	167	Er	-67 950 \pm 160	1 357 990 \pm 150
68	168	Er	-67 620 \pm 160	1 365 750 \pm 160
69	168	Tm	-65 670 \pm 270	1 363 150 \pm 260
70	168	Yb	-66 100 \pm 270	1 362 770 \pm 260
68	169	Er	-65 290 \pm 260	1 371 650 \pm 250
69	169	Tm	-65 650 \pm 260	1 371 210 \pm 250
68	170	Er	-64 490 \pm 300	1 378 980 \pm 280
69	170	Tm	-64 080 \pm 140	1 377 820 \pm 130
70	170	Yb	-65 120 \pm 140	1 378 000 \pm 130
71	170	Lu	-61 320 \pm 170	1 373 680 \pm 170
68	171	Er	-61 830 \pm 170	1 384 580 \pm 170
69	171	Tm	-63 430 \pm 170	1 385 280 \pm 170
70	171	Yb	-63 540 \pm 170	1 384 600 \pm 170

Продолжение табл. IV

Порядко- вый номер Z	Массовое число A	Символ	Избыток массы (мке)	Энергия связи (кэв)
68	172	Er	- 60 440 ± 160	1 391 350 ± 160
69	172	Tm	- 61 420 ± 160	1 391 480 ± 160
70	172	Yb	- 63 440 ± 160	1 392 580 ± 150
69	173	Tm	- 59 800 ± 170	1 398 040 ± 170
70	173	Yb	- 61 700 ± 160	1 399 030 ± 160
71	173	Lu	- 60 960 ± 170	1 397 560 ± 160
70	174	Yb	- 60 980 ± 140	1 406 430 ± 140
71	174	Lu	- 59 400 ± 170	1 404 170 ± 160
72	174	Hf	- 59 740 ± 150	1 403 710 ± 150
69	175	Tm	- 55 920 ± 200	1 410 560 ± 190
70	175	Yb	- 58 610 ± 160	1 412 300 ± 150
71	175	Lu	- 59 110 ± 160	1 411 980 ± 150
72	175	Hf	- 58 470 ± 170	1 410 600 ± 160
70	176	Yb	- 57 260 ± 130	1 419 110 ± 130
71	176	Lu	- 57 260 ± 80	1 418 320 ± 90
72	176	Hf	- 58 350 ± 80	1 418 560 ± 90
70	177	Yb	- 54 500 ± 110	1 424 610 ± 110
71	177	Lu	- 55 980 ± 90	1 425 210 ± 100
72	177	Hf	- 56 520 ± 90	1 424 920 ± 100
73	177	Ta	- 55 260 ± 100	1 422 970 ± 100
71	178	Lu	- 53 710 ± 110	1 431 170 ± 110
72	178	Hf	- 56 130 ± 90	1 432 640 ± 100
73	178	Ta	- 54 090 ± 230	1 429 950 ± 220
71	179	Lu	- 52 300 ± 110	1 437 920 ± 100
72	179	Hf	- 53 980 ± 100	1 438 700 ± 100
73	179	Ta	- 53 860 ± 100	1 437 800 ± 100
72	180	Hf	- 53 190 ± 110	1 446 030 ± 110
73	180	Ta	- 52 480 ± 60	1 444 590 ± 70
74	180	W	- 53 020 ± 60	1 444 310 ± 70
75	180	Re	- 49 880 ± 170	1 440 610 ± 170
72	181	Hf	- 50 920 ± 50	1 451 990 ± 70
73	181	Ta	- 52 020 ± 50	1 452 230 ± 70
74	181	W	- 51 810 ± 60	1 451 260 ± 70
72	182	Hf	- 49 320 ± 220	1 458 580 ± 210
73	182	Ta	- 49 860 ± 50	1 458 390 ± 70
74	182	W	- 51 730 ± 50	1 459 250 ± 70
72	183	Hf	- 46 290 ± 220	1 463 740 ± 210
73	183	Ta	- 48 560 ± 50	1 465 160 ± 70
74	183	W	- 49 710 ± 50	1 465 450 ± 70
73	184	Ta	- 46 150 ± 90	1 470 980 ± 100
74	184	W	- 49 010 ± 50	1 472 870 ± 70
75	184	Re	- 47 290 ± 320	1 470 480 ± 300
76	184	Os	- 47 440 ± 250	1 469 840 ± 240
73	185	Ta	- 44 480 ± 90	1 477 500 ± 100
74	185	W	- 46 520 ± 80	1 478 620 ± 90
75	185	Re	- 46 980 ± 80	1 478 260 ± 80
76	185	Os	- 45 930 ± 80	1 476 500 ± 80
73	186	Ta	- 41 690 ± 220	1 482 970 ± 210
74	186	W	- 45 660 ± 60	1 485 890 ± 70
75	186	Re	- 44 910 ± 80	1 484 410 ± 90
76	186	Os	- 46 060 ± 80	1 484 700 ± 90
77	186	Ir	- 41 970 ± 100	1 480 100 ± 100

Продолжение табл. IV

Порядко- вый номер Z	Массовое число A	Символ	Избыток массы (мзе)	Энергия связи (кэв)
74	187	W	- 42 630 \pm 60	1 491 140 \pm 70
75	187	Re	- 44 040 \pm 60	1 491 670 \pm 70
76	187	Os	- 44 040 \pm 60	1 490 890 \pm 70
74	188	W	- 41 300 \pm 80	1 497 960 \pm 90
75	188	Re	- 41 760 \pm 80	1 497 610 \pm 90
76	188	Os	- 44 030 \pm 80	1 498 940 \pm 90
77	188	Ir	- 40 990 \pm 90	1 495 330 \pm 90
78	188	Pt	- 40 430 \pm 100	1 494 020 \pm 110
76	189	Os	- 41 750 \pm 100	1 504 890 \pm 100
75	190	Re	- 37 850 \pm 440	1 510 120 \pm 440
76	190	Os	- 41 400 \pm 80	1 512 640 \pm 90
77	190	Ir	- 39 200 \pm 180	1 509 800 \pm 180
78	190	Pt	- 40 050 \pm 90	1 509 810 \pm 100
76	191	Os	- 38 810 \pm 60	1 518 300 \pm 70
77	191	Ir	- 39 150 \pm 60	1 517 830 \pm 70
76	192	Os	- 38 590 \pm 60	1 526 160 \pm 70
77	192	Ir	- 37 010 \pm 60	1 523 910 \pm 70
78	192	Pt	- 38 570 \pm 60	1 524 530 \pm 70
79	192	Au	- 35 100 \pm 80	1 520 560 \pm 90
76	193	Os	- 35 500 \pm 70	1 531 360 \pm 90
77	193	Ir	- 36 720 \pm 70	1 531 710 \pm 90
78	193	Pt	- 36 670 \pm 80	1 530 880 \pm 90
77	194	Ir	- 34 790 \pm 60	1 537 980 \pm 70
78	194	Pt	- 37 190 \pm 60	1 539 430 \pm 70
79	194	Au	- 34 490 \pm 60	1 536 140 \pm 70
80	194	Hg	- 34 300 \pm 80	1 535 180 \pm 80
78	195	Pt	- 35 180 \pm 38	1 545 640 \pm 60
79	195	Au	- 34 890 \pm 44	1 544 580 \pm 60
78	196	Pt	- 35 019 \pm 36	1 553 560 \pm 60
79	196	Au	- 33 446 \pm 20	1 551 310 \pm 50
80	196	Hg	- 34 178 \pm 18	1 551 210 \pm 50
81	196	Tl	- 29 940 \pm 160	1 545 830 \pm 160
78	197	Pt	- 32 643 \pm 20	1 559 420 \pm 50
79	197	Au	- 33 448 \pm 16	1 559 380 \pm 50
78	198	Pt	- 32 470 \pm 310	1 567 310 \pm 290
79	198	Au	- 31 758 \pm 16	1 565 870 \pm 50
80	198	Hg	- 33 231 \pm 15	1 566 460 \pm 50
81	198	Tl	- 29 470 \pm 80	1 562 180 \pm 90
78	199	Pt	- 29 340 \pm 110	1 572 490 \pm 110
79	199	Au	- 31 255 \pm 21	1 573 480 \pm 60
80	199	Hg	- 31 744 \pm 20	1 573 150 \pm 50
81	199	Tl	- 30 560 \pm 360	1 571 260 \pm 360
79	200	Au	- 29 190 \pm 110	1 579 630 \pm 110
80	200	Hg	- 31 656 \pm 14	1 581 150 \pm 50
81	200	Tl	- 29 026 \pm 17	1 577 910 \pm 50
79	201	Au	- 28 070 \pm 110	1 586 660 \pm 110
80	201	Hg	- 29 685 \pm 18	1 587 380 \pm 50
81	201	Tl	- 29 240 \pm 70	1 586 190 \pm 80
80	202	Hg	- 29 370 \pm 23	1 595 160 \pm 50
81	202	Tl	- 28 178 \pm 30	1 593 260 \pm 40
82	202	Pb	- 28 124 \pm 50	1 592 430 \pm 50

Продолжение табл. IV

Порядко- вый номер Z	Массовое число A	Символ	Избыток массы (мке)	Энергия связи (кэв)
80	203	Hg	-27 147±40	1 601 160±60
81	203	Tl	-27 669±40	1 600 860±60
82	203	Pb	-26 600±50	1 599 080±70
83	203	Bi	-23 170±70	1 595 110±80
80	204	Hg	-26 518±19	1 608 640±50
81	204	Tl	-26 110±24	1 607 480±50
82	204	Pb	-26 931±24	1 607 460±50
83	204	Bi	-22 300±500	1 602 400±500
80	205	Hg	-23 770±110	1 614 150±110
81	205	Tl	-25 538±27	1 615 020±60
82	205	Pb	-25 484±40	1 614 190±60
83	205	Bi	-22 640±50	1 610 760±70
81	206	Tl	-23 920±16	1 621 580±50
82	206	Pb	-25 541±12	1 622 310±50
83	206	Bi	-21 680±160	1 617 930±160
84	206	Po	-19 810±60	1 615 406±60
81	207	Tl	-22 554±15	1 628 380±50
82	207	Pb	-24 102±12	1 629 040±50
83	207	Bi	-21 526±45	1 625 860±60
84	207	Po	-18 406±45	1 622 170±60
85	207	At	-14 280±80	1 617 540±80
81	208	Tl	-17 994±14	1 632 210±50
82	208	Pb	-23 356±12	1 636 420±50
83	208	Bi	-20 269±29	1 632 760±60
84	208	Po	-18 736±25	1 630 550±50
85	208	At	-13 500±500	1 624 900±500
81	209	Tl	-14 705±44	1 637 220±60
82	209	Pb	-18 906±25	1 640 350±50
83	209	Bi	-19 583±27	1 640 190±60
84	209	Po	-17 543±41	1 637 510±60
85	209	At	-13 860±50	1 633 290±70
81	210	Tl	-9 998±35	1 640 900±60
82	210	Pb	-15 823±14	1 645 550±60
83	210	Bi	-15 890±14	1 644 830±60
84	210	Po	-17 134±12	1 645 200±60
85	210	At	-13 030±160	1 640 590±160
86	210	Em	-10 590±60	1 637 540±60
82	211	Pb	-11 197±39	1 649 310±60
83	211	Bi	-12 706±15	1 649 930±60
84	211	Po	-13 351±20	1 649 750±60
85	211	At	-12 504±45	1 648 180±70
86	211	Em	-9 400±45	1 644 500±70
82	212	Pb	-8 104±16	1 654 500±60
83	212	Bi	-8 729±14	1 654 300±60
84	212	Po	-11 141±12	1 655 760±60
86	212	Em	-9 274±26	1 652 460±60
87	212	Fr	-3 900±500	1 646 700±500
83	213	Bi	-5 671±31	1 659 520±60
84	213	Po	-7 163±29	1 660 130±60
85	213	At	-6 910±220	1 659 110±200
82	214	Pb	-240±60	1 663 310±80
83	214	Bi	-1 366±35	1 663 580±60
84	214	Po	-4 808±14	1 666 010±60
85	214	At	-3 670±60	1 664 170±70

Продолжение табл. IV

Порядко- вый номер Z	Массовое число A	Символ	Избыток массы (мке)	Энергия связи (кэв)
83	215	Bi	$1\,900 \pm 130$	$1\,668\,610 \pm 120$
84	215	Po	-531 ± 41	$1\,670\,090 \pm 41$
85	215	At	$-1\,342 \pm 26$	$1\,670\,070 \pm 60$
86	215	Em	$-1\,330 \pm 110$	$1\,669\,270 \pm 110$
84	216	Po	$1\,917 \pm 16$	$1\,675\,880 \pm 60$
85	216	At	$2\,405 \pm 35$	$1\,674\,650 \pm 60$
86	216	Em	234 ± 34	$1\,675\,890 \pm 60$
85	217	At	$4\,647 \pm 33$	$1\,680\,630 \pm 60$
86	217	Em	$3\,917 \pm 44$	$1\,680\,530 \pm 70$
87	217	Fr	$4\,780 \pm 310$	$1\,678\,940 \pm 280$
84	218	Po	$8\,930 \pm 60$	$1\,685\,500 \pm 70$
85	218	At	$8\,554 \pm 36$	$1\,685\,060 \pm 60$
86	218	Em	$5\,592 \pm 18$	$1\,687\,040 \pm 60$
87	218	Fr	$7\,520 \pm 80$	$1\,684\,460 \pm 90$
85	219	At	$11\,360 \pm 120$	$1\,690\,520 \pm 120$
86	219	Em	$9\,523 \pm 41$	$1\,691\,450 \pm 70$
87	219	Fr	$9\,249 \pm 34$	$1\,690\,920 \pm 60$
88	219	Ra	$10\,030 \pm 150$	$1\,689\,410 \pm 150$
86	220	Em	$11\,396 \pm 16$	$1\,697\,780 \pm 60$
87	220	Fr	$12\,330 \pm 48$	$1\,696\,120 \pm 70$
88	220	Ra	$10\,972 \pm 41$	$1\,696\,610 \pm 70$
87	221	Fr	$14\,176 \pm 35$	$1\,702\,480 \pm 60$
88	221	Ra	$13\,860 \pm 50$	$1\,701\,980 \pm 70$
89	221	Ac	$15\,690 \pm 320$	$1\,699\,500 \pm 300$
86	222	Em	$17\,530 \pm 60$	$1\,708\,210 \pm 70$
88	222	Ra	$15\,365 \pm 21$	$1\,708\,660 \pm 60$
89	222	Ac	$17\,750 \pm 90$	$1\,705\,660 \pm 100$
87	223	Fr	$19\,802 \pm 42$	$1\,713\,380 \pm 70$
88	223	Ra	$18\,565 \pm 41$	$1\,713\,750 \pm 70$
89	223	Ac	$19\,119 \pm 40$	$1\,712\,450 \pm 70$
90	223	Th	$20\,890 \pm 170$	$1\,710\,010 \pm 180$
88	224	Ra	$20\,216 \pm 16$	$1\,720\,280 \pm 60$
89	224	Ac	$21\,690 \pm 60$	$1\,718\,130 \pm 70$
90	224	Th	$21\,379 \pm 46$	$1\,717\,630 \pm 70$
88	225	Ra	$23\,518 \pm 37$	$1\,725\,280 \pm 70$
89	225	Ac	$23\,143 \pm 35$	$1\,724\,840 \pm 70$
90	225	Th	$23\,660 \pm 60$	$1\,723\,580 \pm 80$
88	226	Ra	$25\,360 \pm 60$	$1\,731\,640 \pm 80$
89	226	Ac	$26\,180 \pm 110$	$1\,730\,090 \pm 110$
90	226	Th	$24\,890 \pm 23$	$1\,730\,500 \pm 60$
91	226	Pa	$27\,800 \pm 110$	$1\,727\,010 \pm 110$
88	227	Ra	$29\,220 \pm 47$	$1\,736\,110 \pm 70$
89	227	Ac	$27\,814 \pm 41$	$1\,736\,630 \pm 70$
90	227	Th	$27\,768 \pm 41$	$1\,735\,900 \pm 70$
91	227	Pa	$28\,854 \pm 41$	$1\,734\,100 \pm 70$
92	227	U	$30\,920 \pm 220$	$1\,731\,390 \pm 210$
88	228	Ra	$31\,228 \pm 42$	$1\,742\,310 \pm 70$
89	228	Ac	$31\,169 \pm 42$	$1\,741\,580 \pm 70$
90	228	Th	$28\,749 \pm 16$	$1\,743\,050 \pm 60$
91	228	Pa	$31\,000 \pm 50$	$1\,740\,180 \pm 80$
92	228	U	$31\,278 \pm 47$	$1\,739\,130 \pm 70$
90	229	Th	$31\,629 \pm 40$	$1\,748\,440 \pm 70$

Продолжение табл. IV

Порядко- вый номер Z	Массовое число A	Символ	Избыток массы (мке)	Энергия связи (кэв)
91	229	Pa	31 952±48	1 747 360±70
92	229	U	33 200±60	1 745 410±80
90	230	Th	33 080±60	1 755 160±80
91	230	Pa	34 366±24	1 753 180±60
92	230	U	33 926±24	1 752 810±60
89	231	Ac	38 600±120	1 758 870±130
90	231	Th	36 350±42	1 760 190±70
91	231	Pa	35 936±42	1 759 790±70
92	231	U	36 330±60	1 758 640±90
93	231	Np	38 330±60	1 756 000±80
90	232	Th	38 211±42	1 766 530±70
91	232	Pa	38 611±27	1 765 370±70
92	232	U	37 167±17	1 765 930±60
94	232	Pu	41 080±70	1 760 730±90
90	233	Th	41 428±42	1 771 600±70
91	233	Pa	40 108±40	1 772 050±70
92	233	U	39 498±40	1 771 830±70
93	233	Np	40 600±70	1 770 020±90
94	233	Pu	42 690±60	1 767 290±80
90	234	Th	43 570±80	1 677 670±100
91	234	Pa	43 370±80	1 777 080±100
92	234	U	40 900±60	1 778 600±80
93	234	Np	42 830±130	1 776 020±130
94	234	Pu	43 290±60	1 774 800±70
91	235	Pa	45 440±120	1 783 230±120
92	235	U	43 933±43	1 783 840±70
93	235	Np	44 069±44	1 782 930±70
94	235	Pu	45 330±70	1 780 980±90
92	236	U	45 733±40	1 790 240±70
93	236	Np	46 625±19	1 788 630±60
94	236	Pu	46 072±17	1 788 360±60
91	237	Pa	51 050±60	1 794 140±90
92	237	U	48 581±41	1 795 660±70
93	237	Np	48 030±41	1 795 390±70
94	237	Pu	48 277±46	1 794 380±70
95	237	Am	49 780±90	1 792 190±100
92	238	U	50 760±80	1 801 700±100
93	238	Np	50 930±70	1 800 760±80
94	238	Pu	49 520±70	1 801 280±80
96	238	Cm	53 010±70	1 796 470±80
92	239	U	54 320±60	1 806 460±80
93	239	Np	52 938±45	1 806 960±70
94	239	Pu	52 161±44	1 806 900±70
95	239	Am	52 970±60	1 805 360±80
92	240	U	56 700±50	1 812 310±80
93	240	Np	56 180±80	1 812 010±90
94	240	Pu	53 974±40	1 813 280±70
96	240	Cm	55 503±37	1 810 290±70
93	241	Np	58 170±110	1 818 230±130
94	241	Pu	56 711±41	1 818 800±70
95	241	Am	56 689±41	1 818 040±70
96	241	Cm	57 510±70	1 816 500±90

Продолжение табл. IV

Порядко- вый номер Z	Массовое число A	Символ	Избыток массы (мзе)	Энергия связи (кэв)
94	242	Pu	$58\,710 \pm 80$	$1\,825\,010 \pm 100$
95	242	Am	$59\,480 \pm 70$	$1\,823\,520 \pm 80$
96	242	Cm	$58\,800 \pm 70$	$1\,823\,370 \pm 80$
94	243	Pu	$61\,990 \pm 60$	$1\,830\,030 \pm 80$
95	243	Am	$61\,382 \pm 46$	$1\,829\,810 \pm 70$
96	243	Cm	$61\,377 \pm 44$	$1\,829\,040 \pm 70$
97	243	Bk	$62\,920 \pm 80$	$1\,826\,820 \pm 90$
95	244	Am	$64\,520 \pm 110$	$1\,834\,960 \pm 120$
96	244	Cm	$62\,910 \pm 40$	$1\,835\,680 \pm 70$
98	244	Cf	$65\,933 \pm 43$	$1\,831\,300 \pm 70$
95	245	Am	$66\,313 \pm 42$	$1\,841\,360 \pm 80$
96	245	Cm	$65\,342 \pm 41$	$1\,841\,490 \pm 70$
97	245	Bk	$66\,240 \pm 60$	$1\,839\,870 \pm 70$
98	245	Cf	$67\,890 \pm 70$	$1\,837\,550 \pm 90$
94	246	Pu	$70\,230 \pm 110$	$1\,846\,570 \pm 120$
95	246	Am	$69\,830 \pm 100$	$1\,846\,160 \pm 110$
96	246	Cm	$67\,370 \pm 90$	$1\,847\,670 \pm 100$
98	246	Cf	$68\,780 \pm 70$	$1\,844\,790 \pm 80$
97	247	Bk	$70\,180 \pm 70$	$1\,852\,340 \pm 90$
97	248	Bk	$73\,050 \pm 80$	$1\,857\,740 \pm 100$
98	248	Cf	$72\,350 \pm 50$	$1\,857\,610 \pm 70$
100	248	Fm	$77\,240 \pm 120$	$1\,851\,480 \pm 130$
96	249	Cm	$75\,800 \pm 120$	$1\,864\,030 \pm 130$
97	249	Bk	$74\,838 \pm 43$	$1\,864\,140 \pm 80$
98	249	Cf	$74\,704 \pm 42$	$1\,863\,490 \pm 80$
99	249	Es	$76\,220 \pm 80$	$1\,861\,290 \pm 90$
97	250	Bk	$78\,490 \pm 140$	$1\,868\,820 \pm 140$
98	250	Cf	$76\,550 \pm 90$	$1\,859\,830 \pm 100$
100	250	Fm	$79\,480 \pm 80$	$1\,865\,540 \pm 100$
99	251	Es	$79\,850 \pm 90$	$1\,874\,050 \pm 110$
99	252	Es	$82\,900 \pm 100$	$1\,879\,280 \pm 110$
100	252	Fm	$82\,650 \pm 60$	$1\,878\,740 \pm 80$
98	253	Cf	$84\,980 \pm 60$	$1\,886\,200 \pm 90$
99	253	Es	$84\,685 \pm 43$	$1\,885\,690 \pm 80$
99	254	Es	$88\,140 \pm 140$	$1\,890\,570 \pm 140$
100	254	Fm	$87\,030 \pm 90$	$1\,890\,820 \pm 100$
101	255	Md	$90\,570 \pm 110$	$1\,894\,780 \pm 120$

Международная комиссия по атомным весам предложила изменить название таблицы атомных весов и называть ее: «Таблица относительных атомных масс». Эти предложения подлежат еще рассмотрению и утверждению ЮПАК.

С уточнением данных о массах нуклидов и распространенности изотопов будет увеличиваться и точность значений атомных весов (масс) химических элементов.

В настоящее время уже можно составить несколько более точную таблицу масс нуклидов (табл. IV) по сравнению с таблицей ²², на основе которой вычислены атомные веса на 1961 г. Более точные значения масс нуклидов будут использованы в дальнейшем при составлении таблиц новых атомных весов элементов.

В таблице IV в основном приведены массы нуклидов, взятые из последней сводки масс Кёнига, Маттауха и Вапстра²², однако ряд значений заменен автором данными, полученными в работах Демирханова, Дорохова и Дзкуя²⁶. Некоторые значения масс радиоактивных изотопов также заменены с учетом новых данных.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. F. A s t o n, Proc. Roy. Soc. Lond. A155, 487 (1927).
2. J. M a t t a u c h, Z. Naturforsch. 13a, 572 (1958).
3. Physics Today 9, № 11, 23 (1956).
4. В. К р а в ц о в, УФН 65, 451 (1958).
5. K. R a n k a m a, Isotope Geology, London, 1954.
6. H. D u c k w o r t h, Mass-spectroscopy, Cambridge, 1958.
7. Г. Х у к с т р а и Дж. К а ц, Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1955), М., 1958, стр. 636.
8. M. D o l e, Chem. Rev. 51, 263 (1952).
9. Г. Г а м о в, Строение атомного ядра и радиоактивность, М.—Л., 1932.
10. H. B e t h e, Phys. Rev. 47, 633 (1935).
11. M. D o l e, J. Amer. Chem. Soc. 57, 2731 (1935).
12. И. С е л и н о в, УФН 44, 511 (1951).
13. E. W i c h e r s, J. Amer. Chem. Soc. 78, 3237 (1956).
14. V. G a g l i o t i, Nuovo cimento 6, 280 (1957).
15. A. N i e r, частное сообщение, 1957.
16. A. Ö l a n d e r, частное сообщение, 1957.
17. R. B i r g e, частное сообщение, 1957.
18. Ф. А с т о н, Масс-спектры и изотопы, М., 1948.
19. K. Q u i s e n b e r r y, T. S c o l m a n and A. N i e r, Phys. Rev. 102, 1071 (1956).
20. T. K o h m a n, J. M a t t a u c h, Science 127, 1431 (1958).
21. F. E v e r l i n g, L. K ö n i g, J. M a t t a u c h and A. W a p s t r a, Nucl. Phys. 18, 529 (1960).
22. L. K ö n i g, J. M a t t a u c h and A. W a p s t r a, Nucl. Phys. 31, 18 (1962).
23. I U P A C, Preliminary Report of the Comission on Atomic Weights, October 1961.
24. I U P A C, Revises Atomic Weight Values. Chem. and Engng. News 39, № 47, 42 (Nov. 20, 1961).
25. K. W a y, 1959 Nuclear Data Tables, Washington, 1950, стр. 66.
26. Р. Д е м и р х а н о в, В. Д о р о х о в и М. Д з к у я, ЖЭТФ 40, 1572 (1961).