

## II Международная конференция по нуклидным массам

В работе II Международной конференции по нуклидным массам, проходившей в июле 1963 г. в Вене, участвовало 82 представителя от 17 стран. Работа конференции была разделена на шесть последовательных тематических секций.

**Теория.** На этой секции были представлены доклады, посвященные в основном различным подходам к построению формулы масс. В докладах Д. Уиллера и Ф. Сигера (США) показано, что имеется довольно много геофизических и астрофизических данных, относящихся к распространенности нуклидов во Вселенной и синтезу ядер в звездах; эти данные можно использовать для проверки и сравнения различных полумпирических формул масс. В докладе Н. Зельдеса (Израиль) рассматривались свойства массовой поверхности и некоторые поправки к формуле масс, основанной на модели жидкой капли. В докладах Х. Кюммеля, Д. Маттауха и А. Вагстра приводились две новые формулы масс, содержащие 18 и 35 параметров. С помощью этих формул удалось получить правильные значения энергий связи с точностью до  $0,6-0,3$  Мэв. В. Святецкий (США) предложил ввести в формулу масс член, описывающий влияние формы поверхности на массу ядра. Результаты этой работы использованы в вышеупомянутом докладе Кюммеля. Последний доклад данной секции, сделанный Е. Брайтенбергером (США), был посвящен анализу некоторых статистических проблем, возникающих при построении формул масс.

**Фундаментальные константы.** Несколько докладов на этой секции было посвящено измерению отдельных констант (например, доклад Х. Кантуллера из ФРГ «Измерение гиромангнитного отношения протона»). Большой интерес представлял обстоятельный доклад В. Ноулеса (Канада) о прецизионных измерениях длин волн  $\gamma$ -лучей методом дифракции на кристалле. Надвойном спектрометре с плоскими кристаллами достигнуто угловое разрешение  $\sim 0,001$  сек, что позволяет измерять энергию  $\gamma$ -лучей с точностью до долей кэв (для радиационного захвата нейтрона протоном получено значение  $E_{\gamma-2224,5} \pm 0,20$  кэв.). В конце работы секции был заслушан большой доклад Р. Коэна о современном состоянии наших знаний по численным значениям фундаментальных физических констант (табл. 1).

**Разности энергий между ядерными состояниями.** Систематике одночастичных уровней был посвящен доклад Б. Коэна (США). Анализ данных, полученных при изучении  $(d, p)$ - и  $(p, d)$ -реакций, позволил установить плавную зависимость энергии одночастичных состояний (скажем,  $d_{3/2}$  или  $p_{1/2}$ ) от массового числа  $A$ . Большой интерес вызвал также доклад К. Вэй (США) «Систематика энергий отделения нейтронов и протонов», в котором изучалась зависимость энергий отделения пар нейтронов ( $S_{2n}$ ) и протонов ( $S_{2p}$ ) от  $N$  и  $Z$ . Из анализа кривых, проходящих через точки для ядер с одинаковыми значениями  $N, Z, 2Z - N, 3Z - 2N$  и т. д., были сделаны выводы о проявлении оболочечных эффектов в области средних и тяжелых ядер. В частности, отмечалось, что данные по ядерным массам не дают ясных указаний на существование оболочечных эффектов, кроме известных магических чисел 2, 28, 50, 82 и 126.

В докладе Ф. Эверлинга (США), посвященном систематике масс ядер, включая низколежащие уровни, рассматривалась зависимость энергий связи ядер в основном и в первых возбужденных состояниях от  $A$ .

При этом было замечено, что для таких ядер, как  $Ne^{20}$ ,  $Mg^{24}$  и  $Si^{28}$ , энергии уровней  $2^+$  и  $4^+$  ложатся почти на прямые линии с примерно одинаковым наклоном, тогда как об энергии основных состояний этого сказать нельзя. Снижение энергии основного состояния для ядра  $Ne^{20}$  связывается с влиянием близкой оболочки с магическим числом 8 (магическое ядро  $O_8^{16}$  имеет значительно меньшую полную энергию основного состояния). Можно допустить, что ядра, подобные  $Ne^{20}$ , имеют неизвестные пока возбужденные состояния, которые точно ложатся на плавные кривые в координатах  $E - A$ . Аналогичные скачки наблюдаются и в районе магического числа 20.

С большим вниманием участники конференции выслушали доклад В. А. Кравцова (СССР) «Массы нуклидов и строение ядер».

**Калибрационные энергии для ядерных измерений.** Два доклада на секции — А. Ритца (Франция) и С. Брауна (США) — были посвящены точному измерению энергий  $\alpha$ -частиц естественных радиоактивных элементов. Особое внимание в этих докладах уделялось изотопу  $Po^{210}$ , для энергии  $\alpha$ -частиц которого в настоящее время рекомендуется принимать значение 5304,5 кэв.

Интересный доклад Р. Херба (США) был посвящен рассмотрению атомных эффектов, влияющих на выход ядерных реакций вблизи порога, а следовательно, и на точное определение пороговых и резонансных энергий.

В докладе Г. Филлипса (США) приведены следующие рекомендуемые значения пороговых энергий некоторых ядерных реакций, используемых в университете Райса для калибровки ускорителя Ван де Граафа:

Реакция	Пороговая энергия, Мэв
$Al^{27}(p, \gamma)$ . . . . .	$0,9922 \pm 0,0005$
$Li^7(p, n)$ . . . . .	$1,8805 \pm 0,0008$
$B^{11}(p, n)$ . . . . .	$3,0164 \pm 0,0015$
$C^{13}(p, n)$ . . . . .	$3,2353 \pm 0,0015$
$F^{19}(p, n)$ . . . . .	$4,2332 \pm 0,0020$

Более полная сводка рекомендуемых значений пороговых энергий различных реакций приведена в обзорном докладе Д. Марфона (США):

Реакция	Пороговая энергия, кэв
$Al^{27}(p, \gamma)$ . . . . .	$991,82 \pm 0,10$
$Li^7(p, n)$ . . . . .	$1880,36 \pm 0,22$
$C^{13}(p, n)$ . . . . .	$3236,0 \pm 1,0$
$F^{19}(p, n)$ . . . . .	$4234,2 \pm 1,5$
$Al^{27}(p, n)$ . . . . .	$5798,6 \pm 5$
$Ni^{60}(p, n)$ . . . . .	$7024 \pm 7$
$Fe^{54}(p, n)$ . . . . .	$9203 \pm 5$
$Ni^{58}(p, n)$ . . . . .	$9514 \pm 5$
$C^{12}(He^3, n)$ . . . . .	$1436,2 \pm 0,9$
$Li^6(He^3, n)$ . . . . .	$2966,1 \pm 1,7$
$Li^7(\alpha, n)$ . . . . .	$4379 \pm 6$
$Li^6(\alpha, n)$ . . . . .	$6630 \pm 20$
$C^{12}(\alpha, n)$ . . . . .	$11\,341 \pm 15$

В этом же докладе приведены параметры резонансов некоторых реакций (табл. 2), которые также используются для калибровки ускорителей.

Таблица 1

Рекомендуемые значения физических констант (1963 г.)

Константа	Символ или формула	Значение	Предельная ошибка	Единицы измерения
Скорость света	$c$	299792,5	0,3	$10^8$ м·сек <sup>-1</sup>
Заряд электрона	$e$	4,80298	0,00020	$10^{-10}$ СГСЭ
Число Авогадро	$e' = e/c$	1,60210	0,00007	$10^{-20}$ СГСМ
Масса покоя электрона	$N$	6022,52	0,28	$10^{20}$ моль <sup>-1</sup>
Постоянная Планка	$m$	9,1091	0,0004	$10^{-28}$ г
	$h$	6,6256	0,0005	$10^{-27}$ эрг·сек
	$\hbar$	1,05450	9,00007	$10^{-27}$ эрг·сек
Постоянная Фарадея	$F = Ne$	2,89261	0,00005	$10^{14}$ СГСЭ·моль <sup>-1</sup>
Атомный вес электрона	$Nm$	9648,70	0,16	СГСМ·моль <sup>-1</sup>
	$Nm$	5,48597	0,00009	$10^{-3}$
Постоянная тонкой структуры	$\alpha$	0,00729720	0,00000010	
	$1/\alpha$	137,0388	0,0019	
	$\alpha/2\pi$	1,161385	0,000016	$10^{-3}$
	$\alpha^2$	53,2492	0,0014	$10^{-6}$
Удельный заряд электрона	$1 - (1 - \alpha^2)^{1/2}$	26,6242	0,0007	$10^{-6}$
	$e/mc$	1,758796	0,000019	$10^7$ СГСМ·г <sup>-1</sup>
	$e/m$	5,27274	0,00006	$10^{17}$ СГСЭ·г <sup>-1</sup>
	$h/e$	1,37947	0,00004	$10^{-17}$ эрг·сек·СГСЭ <sup>-1</sup>
Комптоновская длина волны электрона	$hc/e$	4,13556	0,00012	$10^{-17}$ эрг·сек·СГСМ <sup>-1</sup>
	$h/mc$	2,42621	0,00006	$10^{-10}$ см
Комптоновская длина волны протона	$\hbar/mc$	3,86144	0,00009	$10^{-11}$ см
	$Nh/M_p c$	1,32140	0,00004	$10^{-13}$ см
Постоянная Ридберга	$\lambda_{cp}$	2,10307	0,00006	$10^{-14}$ см
	$R_\infty = \frac{\alpha^2 mc}{2h}$	109737,31	0,03	см <sup>-1</sup>
Радиус первой борвской орбиты	$a_0 = \hbar/(mca) = \alpha/(4\pi R_\infty)$	5,29167	0,00007	$10^{-9}$ см
Классический радиус электрона	$r_0 = e^2/mc^2$	2,81777	0,00011	$10^{-13}$ см
	$r_0^2$	7,9398	0,0006	$10^{-26}$ см <sup>2</sup>
Томпсоновское поперечное сечение	$\frac{8}{3} \pi r_0^2$	6,6516	0,0005	$10^{-25}$ см <sup>2</sup>
Магнетон Бора	$\frac{\hbar e}{2mc}$	9,2732	0,0006	$10^{-21}$ эрг·гс <sup>-1</sup>
Ядерный магнетон	$\frac{\hbar e N}{2M_p c^2}$	5,0505	0,0004	$10^{-24}$ эрг·гс <sup>-1</sup>
Магнитный момент протона	$\mu_p$	1,41049	0,00013	$10^{-23}$ эрг·гс <sup>-1</sup>
Энергия, эквивалентная:				
	массе электрона	511006	5	эв
	единице атомной массы	931,478	0,015	Мэв
	массе протона	938,256	0,015	Мэв
Газовая постоянная		939,550	0,015	Мэв
	$R_0$	8,3143	0,0012	кал·моль <sup>-1</sup> ·град <sup>-1</sup>
Объем 1 моля идеального газа		82,056	0,011	см <sup>3</sup> ·атм·моль <sup>-1</sup> ·град <sup>-1</sup>
	$V_0$	1,9858	0,0003	кал·моль <sup>-1</sup> ·град <sup>-1</sup>
Постоянная Больцмана		22413,6	3,0	см <sup>3</sup> ·моль <sup>-1</sup>
	$k = R_0/N$	1,38054	0,00018	$10^{-16}$ эрг·град <sup>-1</sup>
	$R_0/F$	8,6170	0,0012	$10^{-5}$ эв·град <sup>-1</sup>
Первая постоянная закона излучения	$1/k = F/R_0$	11604,9	1,5	град·эв <sup>-1</sup>
	$c_1 = 8\pi\hbar c$	23045	3	кал·эв <sup>-1</sup>
Вторая постоянная закона излучения	$8\pi\hbar c^2$	4,9921	0,0003	$10^{-15}$ эрг·см
	$2\hbar c^2$	1,49660	0,00011	$10^{-11}$ вт·см <sup>2</sup>
	$c_2 = \hbar c/k$	1,49096	0,00009	$10^{-12}$ вт·см <sup>2</sup> ·стер <sup>-1</sup>
	$c_2/c$	1,43879	0,00019	см·град
		4,7993	0,0006	$10^{-11}$ сек·град

Константа	Символ или формула	Значение	Предельная ошибка	Единицы измерения
Постоянная смещения Вина	$c_2/4,965114$	0,28978	0,00004	см·град
Постоянная Стефана—Больцмана	$\sigma = \left(\frac{\pi^2}{60}\right) \left(\frac{k^4}{h^3 c^2}\right)$	5,6697	0,0029	$10^{-5} \text{ эрг} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1} \times \text{град}^{-4}$
	$a = \frac{4\sigma}{c} = \left(\frac{\pi^2}{15}\right) \left(\frac{k^4}{h^3 c^3}\right)$	7,565	0,004	$10^{-15} \text{ эрг} \cdot \text{см}^{-3} \cdot \text{град}^{-4}$
Зеемановское смещение на 1 эс	$e/4\pi mc^2$	4,66858	0,00004	$10^{-5} \text{ см}^{-1} \cdot \text{эс}$
Аномальный магнитный момент электрона	$\mu_e/\mu_0 - 1 = \frac{\alpha}{2\pi} - 0,328 \frac{\alpha^2}{\pi^2}$	1,159615	0,000015	$10^{-3}$
Магнитный момент свободного протона	$\mu_p/\mu_n$	2,79276	0,00007	Ядерные магнетоны
Магнитный момент протона в сферической молекуле H <sub>2</sub> O	$\mu_p/\mu_n$	2,79268	0,00007	То же
Гиромагнитное отношение для протона	$\gamma$	26751,9	0,2	$\text{сек}^{-1} \cdot \text{эс}^{-1}$
		4257,70	0,03	$\text{гц} \cdot \text{эс}^{-1}$

Таблица 2

Энергия резонансов при реакциях на  $\alpha$ -частицах

Реакция	Энергия резонансов, кэв	$\Gamma$ , кэв
Li <sup>6</sup> ( $\alpha$ , $\gamma$ )	2605	$\leq 1,5$
C <sup>13</sup> ( $\alpha$ , $n$ )	$2800 \pm 3$	$\sim 4$
Mg <sup>24</sup> ( $\alpha$ , $\gamma$ )	$3199,8 \pm 1,0$	$1,8 \pm 0,3$
Na <sup>23</sup> ( $\alpha$ , $n$ )	$3492 \pm 3$	$< 1$
Cl <sup>32</sup> ( $\alpha$ , $n$ )	$14\,600 \pm 40$	$220 \pm 60$

**Определение энергий ядерных реакций.** В докладе А. Спердута и В. Бюхнера (США) даны значения  $Q$  для 136 реакций ( $d, p$ ), ( $p, \alpha$ ), ( $d, \alpha$ ), ( $d, t$ ), ( $p, d$ ), ( $\alpha, p$ ), ( $\alpha, d$ ), ( $\text{He}^3, \alpha$ ), ( $\text{He}^3, d$ ) и ( $\text{He}^3, p$ ) (табл. 3).

Р. Миддлтон и Х. Марчент (Великобритания) измерили энергии нескольких ядерных реакций на изотопах урана (табл. 4). В дальнейшем они предполагают исследовать также реакции  $U^{235} (d, p) U^{236}$ ,  $U^{235} (p, d) U^{234}$ ,  $U^{235} (d, p) U^{237}$ ,  $U^{235} (p, d) U^{235}$  и  $U^{237} (p, t) U^{234}$ .

**Значения масс по данным масс-спектрокопии.** На этой секции рассматривались результаты прецизионных измерений масс ядер с помощью магнитных спектрометров. В двух докладах Р. Риеса, Р. Дамерова и В. Джонсона (США) приводились результаты измерений масс атомов от Ga до Mo и от Ru до Xe. Некоторые из этих данных приведены в табл. 5. Измерения проводились на спектрометре с разрешающей способностью от 60 000 до 200 000, что соответствовало ошибке в массе ядра  $\sim 3 \div 8$  кэв.

В докладе Г. Дакворса (Канада) основное внимание уделялось описанию конструкции большого масс-спектрометра с радиусом магнита 2,7 м и полученным на нем

результатам. Точность измерения масс на этом приборе доходила до 500 эв. В докладе К. Огата (Япония) были приведены значения дублетов легких ядер и описывалась методика подсчета коэффициентов дисперсии на большом масс-спектрографе ( $R_{\text{магнита}} \sim 2$  м). Описание работы большого спектрометра был посвящен доклад П. Мореленда и К. Бейнбриджа (США). Их прибор с радиусом магнита около 3 м обладает разрешающей способностью 300 000, что позволяет в области легких ядер проводить измерения масс с точностью до 200 эв.

Последним на конференции был заслушан доклад Р. А. Демирханова, В. В. Дорохова и М. И. Дзкуя (СССР), в котором описывался метод измерения масс с помощью органических соединений и контроля данных составлением замкнутых циклов. В области элементов от Lu до Sm проведены измерения масс изотопов с точностью 20—60 кэв, что в 2—5 раз превышает точность других данных для этой области.

В заключительном слове проф. А. Вапстра отметил большой прогресс в области масс-спектрометрии за время, прошедшее после первой конференции по ядерным массам. Особенно замечен прогресс в области измерения фундаментальных констант, в области повышения точности масс-спектрометрических измерений и в области измерений энергий ядерных реакций.

Достигнутые в настоящее время точности таковы, что при интерпретации масс-спектрографических результатов для тяжелых элементов ( $A = 200$ ) приходится учитывать даже энергии связи электронов. Благодаря работам советской группы Р. А. Демирханова и др., представившей значения масс в области редких земель, в самое ближайшее время вся таблица ядерных масс будет известна с точностью не менее  $\pm 30$  кэв. Однако еще есть расхождения между результатами, полученными различными методами. Поэтому дальнейшие усилия по увеличению точности измерений представляют большой интерес.

Также улучшилось положение в области поисков универсальной формулы масс. Раньше была тенден-

Таблица 3

Значения энергий реакций  $Q$  (основное состояние)\*

Реакция	$Q_{\text{МИТ}}$ , кэв	Источ-ник и спект-рог-раф****	$Q_{\text{М}}$ , кэв***	$Q_{\text{МИТ}} - Q_{\text{М}}$	Реакция	$Q_{\text{МИТ}}$ , кэв	Источ-ник и спект-рог-раф****	$Q_{\text{М}}$ , кэв***	$Q_{\text{МИТ}} - Q_{\text{М}}$
Реакции (d, p)					Реакции (p, $\alpha$ )				
$\text{H}^2(d, p)\text{H}^3$	4034±6	a	4033±0,2	+1	$\text{Li}^6(p, \alpha)\text{He}^3$	4025±6	a	4022±1	+3
$\text{He}^3(d, p)\text{He}^4$	18 377	c	18 352±0,4	+25	$\text{Li}^7(p, \alpha)\text{He}^4$	17357±14	a	17347±1	+10
$\text{Li}^6(d, p)\text{Li}^7$	5024±14	a	5028±1	-4	$\text{Be}^9(p, \alpha)\text{Li}^6$	2144±6	a	2125±1	+19
$\text{Li}^7(d, p)\text{Li}^8$	-188±7	a	-192±1	+4	$\text{B}^{10}(p, \alpha)\text{Be}^7$	1153±4	a	1147±1	+6
$\text{Be}^9(d, p)\text{Be}^{10}$	4590±8	a, b	4590±2	0	$\text{B}^{11}(p, \alpha)\text{Be}^8$	8575±11	a	8586±1	-11
$\text{B}^{10}(d, p)\text{B}^{11}$	9244±11	a	9231±1	+13	$\text{N}^{15}(p, \alpha)\text{C}^{12}$	4965±7	a	4964±1	+1
$\text{B}^{11}(d, p)\text{B}^{12}$	1137±5	a	1145±1	-8	$\text{O}^{16}(p, \alpha)\text{N}^{13}$	-5201±10	c	-5218±1	+17
$\text{C}^{12}(d, p)\text{C}^{13}$	2722±4	a, b, c, d	2722±1	0	$\text{F}^{19}(p, \alpha)\text{O}^{16}$	8122±9	a, c	8114±1	+8
$\text{C}^{13}(d, p)\text{C}^{14}$	5951±8	a, b	5951±1	0	$\text{N}^{23}(p, \alpha)\text{Ne}^{20}$	2373±8	a, c	2379±2	-6
$\text{N}^{14}(d, p)\text{N}^{15}$	8623±3	a, c	8610±1	+13	$\text{Al}^{27}(p, \alpha)\text{Mg}^{24}$	1596±7	a	1595±1	+1
$\text{N}^{15}(d, p)\text{N}^{16**}$	267±8	d	275±6	-8	$\text{Si}^{30}(p, \alpha)\text{Al}^{27}$	-2364±10	c	-2378±4	+14
$\text{O}^{16}(d, p)\text{O}^{17}$	1920±3	a, b, c, d	1917±1	+3	$\text{P}^{31}(p, \alpha)\text{Si}^{28}$	1911±10	a, c	1917±3	-6
$\text{O}^{18}(d, p)\text{O}^{19**}$	1727±8	d	1732±4	-5	$\text{Cl}^{35}(p, \alpha)\text{S}^{32}$	1865±8	c	1865±3	0
$\text{F}^{19}(d, p)\text{F}^{20}$	4377±7	a	4374±4	+3	$\text{Cl}^{37}(p, \alpha)\text{S}^{34}$	3029±8	c	3030±3	-1
$\text{Ne}^{20}(d, p)\text{Ne}^{21}$	4534±7	a, c	4534±1	0	$\text{K}^{39}(p, \alpha)\text{Ar}^{36}$	1287±7	c	1292±4	-5
$\text{Ne}^{22}(d, p)\text{Ne}^{23}$	2968±7	a, c	2968±5	0	$\text{K}^{41}(p, \alpha)\text{Ar}^{38}$	4018±10	c	4035±5	-17
$\text{Na}^{23}(d, p)\text{Na}^{24}$	4736±7	a, c	4734±3	+2					
$\text{Mg}^{24}(d, p)\text{Mg}^{25}$	5102±7	a	5106±2	-4					
$\text{Mg}^{25}(d, p)\text{Mg}^{26}$	8889±10	a	8873±3	+16					
$\text{Mg}^{26}(d, p)\text{Mg}^{27}$	4211±6	a	4212±3	-1					
$\text{Al}^{27}(d, p)\text{Al}^{28}$	5503±10	a, c	5499±3	+4					
$\text{Si}^{28}(d, p)\text{Si}^{29}$	6252±10	a	6253±3	-1					
$\text{Si}^{29}(d, p)\text{Si}^{30}$	8396±13	a	8390±4	+6					
$\text{Si}^{30}(d, p)\text{Si}^{31}$	4368±7	a	4367±4	+1					
$\text{P}^{31}(d, p)\text{P}^{32}$	5712±8	a, c	5712±2	0					
$\text{S}^{32}(d, p)\text{S}^{33}$	6420±6	a, c	6418±3	+2					
$\text{S}^{33}(d, p)\text{S}^{34}$	9202±10	c	9196±4	-6					
$\text{S}^{34}(d, p)\text{S}^{35}$	4762±10	c	4757±4	+5					
$\text{Cl}^{35}(d, p)\text{Cl}^{36}$	6360±8	c	6352±5	+8					
$\text{Cl}^{37}(d, p)\text{Cl}^{38}$	3885±8	c	3885±8	0					
$\text{Ar}^{40}(d, p)\text{Ar}^{41}$	3878±6	c	3868±11	+10					
$\text{K}^{39}(d, p)\text{K}^{40}$	5579±10	b, c	5573±3	+6					
$\text{K}^{41}(d, p)\text{K}^{42}$	5314±12	c	5304±21	+10					
$\text{Ca}^{40}(d, p)\text{Ca}^{41}$	6146±9	b, c	6136±8	+10					
$\text{Ca}^{42}(d, p)\text{Ca}^{43}$	5716±10	b, c	5705±5	+11					
$\text{Ca}^{43}(d, p)\text{Ca}^{44}$	8922±14	b, c	8911±6	+11					
$\text{Ca}^{44}(d, p)\text{Ca}^{45}$	5193±10	b, c	5195±6	-2					
$\text{Ca}^{48}(d, p)\text{Ca}^{49}$	2919±6	c	2919±6	0					
$\text{Sc}^{45}(d, p)\text{Sc}^{46}$	6541±8	c, d	6542±5	-1					
$\text{Ti}^{46}(d, p)\text{Ti}^{47**}$	6675±8	c, d	6662±8	+13					
$\text{Ti}^{47}(d, p)\text{Ti}^{48**}$	9402±8	c, d	9396±8	+13					
$\text{Ti}^{48}(d, p)\text{Ti}^{49**}$	5930±8	c	5922±4	+8					
$\text{Ti}^{49}(d, p)\text{Ti}^{50**}$	8744±8	c	8713±6	+28					
$\text{Ti}^{50}(d, p)\text{Ti}^{51**}$	4157±8	c	4137±21	+20					
$\text{V}^{51}(d, p)\text{V}^{52}$	5098±9	b, c	5079±6	+19					
$\text{Cr}^{52}(d, p)\text{Cr}^{53**}$	5725±6	c	5719±4	+6					
$\text{Cr}^{53}(d, p)\text{Cr}^{54**}$	7480±12	d	7497±5	-17					
$\text{Cr}^{54}(d, p)\text{Cr}^{55}$	4027±8	c	3800±140	+227					
$\text{Mn}^{55}(d, p)\text{Mn}^{56}$	5052±5	c	5046±4	+6					
$\text{Fe}^{54}(d, p)\text{Fe}^{55}$	7084±8	c	7075±5	+9					
$\text{Fe}^{56}(d, p)\text{Fe}^{57}$	4525±8	c	5416±3	+9					
$\text{Fe}^{57}(d, p)\text{Fe}^{58}$	7815±8	c	7823±6	-8					
$\text{Fe}^{58}(d, p)\text{Fe}^{59}$	4357±8	c	4361±6	-4					
$\text{Co}^{59}(d, p)\text{Co}^{60}$	5267±11	b, c	5272±4	-5					
$\text{Ni}^{58}(d, p)\text{Ni}^{59}$	6785±8	c, d	6776±4	+9					
$\text{Ni}^{60}(d, p)\text{Ni}^{61}$	5604±8	c	5598±6	+6					
$\text{Ni}^{61}(d, p)\text{Ni}^{62**}$	8379±8	c	8365±9	+14					
$\text{Ni}^{62}(d, p)\text{Ni}^{63}$	4623±8	c, d	4617±5	+6					
$\text{Ni}^{64}(d, p)\text{Ni}^{65}$	3876±6	c, d	3910±200	-34					
$\text{Cu}^{63}(d, p)\text{Cu}^{64}$	5697±8	c	5691±4	+6					
$\text{Cu}^{65}(d, p)\text{Cu}^{66}$	4837±8	c	4836±7	+1					
$\text{Se}^{78}(d, p)\text{Se}^{79**}$	4660±6	c	4754±45	-94					
$\text{Se}^{80}(d, p)\text{Se}^{81**}$	4490±6	c	4590±60	-100					
$\text{Zr}^{90}(d, p)\text{Zr}^{91**}$	4929±13	d	4981±49	-52					
$\text{Rh}^{103}(d, p)\text{Rh}^{104**}$	4735±10	d	4567±14	-32					
$\text{Ag}^{107}(d, p)\text{Ag}^{108**}$	4973±10	c	4988±9	-15					
$\text{Ag}^{109}(d, p)\text{Ag}^{110**}$	4590±5	c	4591±5	-1					
$\text{Ba}^{138}(d, p)\text{Ba}^{139}$	2495±10	c	2495±10	0					
$\text{Ce}^{140}(d, p)\text{Ce}^{141**}$	3210±10	d	3304±27	-94					
$\text{Pr}^{141}(d, p)\text{Pr}^{142**}$	3626±10	d	3611±28	-15					
$\text{Tb}^{159}(d, p)\text{Tb}^{160**}$	4165±20	d	4280±400	-115					
$\text{Ta}^{181}(d, p)\text{Ta}^{182**}$	3835±8	d	3847±30	-12					
$\text{W}^{182}(d, p)\text{W}^{183**}$	3912±5	d	3960±8	-48					
$\text{Pb}^{208}(d, p)\text{Pb}^{209**}$	1705±15	d	1695±26	+10					
$\text{Bi}^{209}(d, p)\text{Bi}^{210}$	2369±10	d	2412±28	-43					

Реакция	$Q_{\text{МИТ}}, \text{кэВ}$	Источ-ник и спек-трог-раф****	$Q_{\text{М}}, \text{кэВ}^{***}$	$Q_{\text{МИТ}} - Q_{\text{М}}$	Реакция	$Q_{\text{МИТ}}, \text{кэВ}$	Источ-ник и спек-трог-раф****	$Q_{\text{М}}, \text{кэВ}^{***}$	$Q_{\text{МИТ}} - Q_{\text{М}}$
$\text{Ca}^{42}(p, \alpha)\text{K}^{38}$	$118 \pm 7$	<i>b, c</i>	$126 \pm 4$	-8	$\text{Ca}^{40}(d, \alpha)\text{K}^{38}$	$4655 \pm 10$	<i>a, c</i>	$4655 \pm 10$	0
$\text{Ca}^{43}(p, \alpha)\text{K}^{40}$	$-14 \pm 8$	<i>b, c</i>	$-6 \pm 5$	-8	$\text{Sc}^{45}(d, \alpha)\text{Ca}^{43}$	$8028 \pm 12$	<i>d</i>	$8045 \pm 6$	-17
$\text{Ca}^{44}(p, \alpha)\text{K}^{41}$	$-1056 \pm 10$	<i>b, c</i>	$-1047 \pm 6$	-9	$\text{Mn}^{55}(d, \alpha)\text{Cr}^{53}$	$8283 \pm 13$	<i>c</i>	$8291 \pm 4$	-8
$\text{Sc}^{45}(p, \alpha)\text{Ca}^{42}$	$2343 \pm 8$	<i>c</i>	$2341 \pm 6$	+2	Реакции ( <i>d, t</i> )				
$\text{Ti}^{46}(p, \alpha)\text{Sc}^{43}$	$-3211 \pm 14$	<i>c</i>	$-3082 \pm 11$	-129	$\text{Be}^9(d, t)\text{Be}^8$	$4602 \pm 13$	<i>a</i>	$4592 \pm 1$	+10
$\text{V}^{51}(p, \alpha)\text{Ti}^{48}$	$1162 \pm 10$	<i>c</i>	$1166 \pm 5$	-4	$\text{B}^{10}(d, t)\text{B}^9$	$-2185 \pm 10$	<i>c</i>	$-2182 \pm 2$	-3
$\text{Mn}^{55}(p, \alpha)\text{Cr}^{52}$	$2570 \pm 8$	<i>c</i>	$2572 \pm 4$	-2	$\text{C}^{13}(d, t)\text{C}^{12}$	$1311 \pm 6$	<i>a</i>	$1311 \pm 1$	0
$\text{Fe}^{56}(p, \alpha)\text{Mn}^{53}$	$-1060 \pm 9$	<i>c</i>	$-1061 \pm 10$	+1	Реакции ( <i>p, d</i> )				
$\text{Fe}^{57}(p, \alpha)\text{Mn}^{54}$	$237 \pm 9$	<i>c</i>	$238 \pm 7$	-1	$\text{Be}^9(p, d)\text{Be}^8$	$562 \pm 4$	<i>a</i>	$559 \pm 1$	+3
$\text{Fe}^{58}(p, \alpha)\text{Mn}^{55}$	$420 \pm 9$	<i>c</i>	$410 \pm 7$	+10	$\text{C}^{13}(p, d)\text{C}^{12}$	$-2718 \pm 7$	<i>c</i>	$-2722 \pm 1$	+4
$\text{Co}^{59}(p, \alpha)\text{Fe}^{56}$	$3245 \pm 8$	<i>c</i>	$3240 \pm 5$	+5	Реакции ( <i>a, p</i> )				
$\text{Ni}^{62}(p, \alpha)\text{Co}^{59}$	$342 \pm 10$	<i>c</i>	$352 \pm 7$	-10	$\text{B}^{10}(a, p)\text{C}^{13}$	$4068 \pm 12$	<i>b, c</i>	$4064 \pm 1$	+4
$\text{Cu}^{63}(p, \alpha)\text{Ni}^{60}$	$3757 \pm 8$	<i>c</i>	$3756 \pm 6$	+1	$\text{B}^{11}(a, p)\text{C}^{14}$	$789 \pm 17$	<i>b, c</i>	$784 \pm 1$	+5
$\text{Cu}^{65}(p, \alpha)\text{Ni}^{62}$	$4345 \pm 8$	<i>c</i>	$4343 \pm 6$	+2	$\text{N}^{14}(a, p)\text{O}^{17}$	$-1198 \pm 17$	<i>b, c</i>	$-1193 \pm 1$	-5
Реакции ( <i>d, a</i> )					$\text{F}^{19}(a, p)\text{Ne}^{22}$	$1674 \pm 11$	<i>b, c</i>	$1675 \pm 1$	-1
$\text{Be}^9(d, \alpha)\text{Li}^7$	$7157 \pm 8$	<i>a</i>	$7153 \pm 1$	+4	$\text{S}^{32}(a, p)\text{Cl}^{35}$	$-1858 \pm 17$	<i>b, c</i>	$-1865 \pm 3$	+7
$\text{B}^{11}(d, \alpha)\text{Be}^9$	$8024 \pm 7$	<i>a, c</i>	$8027 \pm 1$	-3	Реакция ( <i>a, d</i> )				
$\text{C}^{13}(d, \alpha)\text{B}^{11}$	$5165 \pm 10$	<i>a</i>	$5167 \pm 1$	-2	$\text{B}^{10}(a, d)\text{C}^{12}$	$1341 \pm 15$	<i>b, c</i>	$1342 \pm 1$	-1
$\text{N}^{14}(d, \alpha)\text{C}^{12}$	$13588 \pm 6$	<i>c</i>	$13574 \pm 0,4$	+14	Реакции ( $\text{He}^3, d$ )				
$\text{N}^{15}(d, \alpha)\text{C}^{13}$	$7689 \pm 12$	<i>a</i>	$7687 \pm 1$	+2	$\text{C}^{13}(\text{He}^3, d)\text{N}^{14**}$	$2048 \pm 14$	<i>d</i>	$2056 \pm 1$	-8
$\text{O}^{16}(d, \alpha)\text{N}^{14}$	$3113 \pm 6$	<i>a</i>	$3110 \pm 0,4$	+3	$\text{P}^{31}(\text{He}^3, d)\text{S}^{32**}$	$3356 \pm 13$	<i>d</i>	$3369 \pm 2$	-13
$\text{F}^{19}(d, \alpha)\text{O}^{17}$	$10060 \pm 10$	<i>a</i>	$10031 \pm 1$	+29	Реакция ( $\text{He}^3, a$ )				
$\text{Na}^{23}(d, \alpha)\text{Ne}^{21}$	$6909 \pm 10$	<i>a</i>	$6913 \pm 2$	-4	$\text{He}^{20}(\text{He}^3, a)\text{Ne}^{19**}$	$3750 \pm 13$	<i>d</i>	$3702 \pm 5$	+48
$\text{Mg}^{24}(d, \alpha)\text{Na}^{22}$	$1955 \pm 12$	<i>c</i>	$1964 \pm 5$	-9	Реакция ( $\text{He}^3, p$ )				
$\text{Mg}^{25}(d, \alpha)\text{Na}^{23}$	$7026 \pm 13$	<i>a</i>	$7047 \pm 2$	-21	$\text{Ca}^{40}(\text{He}^3, p)\text{Sc}^{42**}$	$4966 \pm 20$	<i>d</i>	$5400 \pm 600$	-434
$\text{Al}^{27}(d, \alpha)\text{Mg}^{25}$	$6700 \pm 10$	<i>a</i>	$6700 \pm 2$	0					
$\text{Si}^{28}(d, \alpha)\text{Al}^{26}$	$1429 \pm 4$	<i>c</i>	$1421 \pm 4$	+8					
$\text{Si}^{29}(d, \alpha)\text{Al}^{27}$	$6000 \pm 11$	<i>a</i>	$6012 \pm 4$	-12					
$\text{Si}^{30}(d, \alpha)\text{Al}^{28}$	$3123 \pm 10$	<i>a</i>	$3121 \pm 4$	+2					
$\text{P}^{31}(d, \alpha)\text{Si}^{29}$	$8166 \pm 11$	<i>a</i>	$8170 \pm 3$	-4					
$\text{S}^{32}(d, \alpha)\text{P}^{30}$	$4892 \pm 10$	<i>c</i>	$4892 \pm 10$	0					
$\text{Cl}^{35}(d, \alpha)\text{S}^{33}$	$8285 \pm 10$	<i>c</i>	$8283 \pm 4$	+2					
$\text{Cl}^{37}(d, \alpha)\text{S}^{35}$	$7791 \pm 12$	<i>c</i>	$7787 \pm 3$	+4					

\* Таблица включает все реакции, измеренные в Массачусетском технологическом институте (МИТ) в течение 1947—1963 гг. Практически все ранее опубликованные значения  $Q$  основывались на принятой в качестве стандартной величины энергии  $\alpha$ -частиц  $\text{Po}^{210}$ , равной  $5,299 \text{ МэВ}$  ( $B_Q = 331,59 \text{ кг}\cdot\text{см}$ ). В 1960 г. было принято новое значение для энергии этих  $\alpha$ -частиц, равное  $5,3042 \text{ МэВ}$  ( $B_Q = 331,750 \text{ кг}\cdot\text{см}$ ). Приведенные в настоящей таблице величины  $Q$  основаны на последнем значении энергий  $\alpha$ -частиц  $\text{Po}^{210}$ .

\*\* Значения  $Q$  публикуются впервые.

\*\*\* F. Everling et al. Consistent Set of  $Q$ -Values, Nuclear Data Tables, Part I and II, National Academy of Sciences—National Research Council, Feb. 1961 — also Nuclear Physics, 15, 342 (1960).

\*\*\*\* В этой колонке указаны ускоритель, использованный в качестве источника бомбардирующих частиц, и спектрограф, с помощью которого анализировались продукты реакций. Если энергия реакции измерялась на равных ускорителях и с помощью разных спектрографов, то приведено среднее взвешенное значение. Буквенные обозначения соответствуют: *a* — ускоритель Ван де Граафа на  $2,5 \text{ МэВ}$  с воздушной изоляцией и спектрограф с фокусировкой на  $180^\circ$ ; *b* — ускоритель Ван де Граафа на  $8,5 \text{ МэВ}$  (Ок-Риджская национальная лаборатория, ОНЛ) и  $180$ -градусный спектрограф; *c* — ускоритель Ван де Граафа на  $8,5 \text{ МэВ}$  (ОНЛ) и одноканальный спектрограф с широким фокусом; *d* — ускоритель Ван де Граафа на  $8,5 \text{ МэВ}$  (ОНЛ) и многоканальный спектрограф с широким фокусом.

Таблица 4

Энергии реакций на  $U^{238}$ ,  $U^{236}$  и  $U^{235}$

Реакция	Энергия реакции, Мэв	Опорная реакция	Энергия опорной реакции, Мэв
$U^{238}(d, p)U^{239}$	$2,588 \pm 0,020$	$C^{12}(d, p)C^{13}$	2,722
$U^{238}(p, d)U^{237}$	$-3,951 \pm 0,020$	$C^{13}(p, d)C^{12}$	-2,722
$U^{238}(t, p)U^{240}$	$2,242 \pm 0,020$	$O^{16}(t, p)O^{18}$	3,706
$U^{236}(t, p)U^{238}$	$2,900 \pm 0,020$	$C^{12}(t, p)C^{14}$	4,614
$U^{235}(t, p)U^{237}$	$2,980 \pm 0,020$		

ция вводить много параметров для каждой подболочки. Но так как в каждой подболочке массы меняются довольно плавно, то, возможно, это не является необходимым. Отмеченная во многих докладах плавность изменения масс производит, как выразился А. Ванстра, «громоздкое впечатление».

Закрывая конференцию, проф Д. Маттаух подчеркнул ее большую пользу и выразил уверенность в необходимости проведения таких конференций в будущем.

Л. Н. Усачев, А. И. Абрамов, В. В. Дорохов, И. А. Ютландов

Таблица 5

Значения масс атомов Ru, Sn, Sb  
(шкала  $C^{12} = 12,000\ 000$ )

Изотоп	Масса, а. е. м.	Ошибка, мк а. е. м.
Ru <sup>96</sup>	95,907592	4
Ru <sup>98</sup>	97,905282	4
Ru <sup>99</sup>	98,905928	4
Ru <sup>100</sup>	99,904210	5
Ru <sup>101</sup>	100,905574	2
Ru <sup>102</sup>	101,904343	3
Ru <sup>104</sup>	103,905426	4
Sn <sup>116</sup>	115,901737	6
Sn <sup>117</sup>	116,902944	8
Sn <sup>118</sup>	117,901601	6
Sn <sup>119</sup>	118,903298	6
Sn <sup>120</sup>	119,902186	9
Sn <sup>122</sup>	121,903428	8
Sn <sup>124</sup>	123,905264	9
Sb <sup>121</sup>	120,903811	4
Sb <sup>123</sup>	122,904214	4

## Совещание по ядерной физике низких энергий

В сентябре 1963 г. в Венгрии (Тихань, оз. Балатон) состоялось совещание по ядерной физике низких энергий. В работе совещания приняли участие ученые Венгрии, ГДР, Дании, Польши, Румынии, Советского Союза, Чехословакии и Югославии. Было заслушано около 50 докладов.

Все представленные доклады можно разделить на три группы: 1) исследования ядерных реакций; 2) исследования по ядерной спектроскопии; 3) работы по теории ядра.

**Ядерные реакции.** На совещание было представлено более двадцати докладов, посвященных экспериментальному исследованию ядерных реакций. Изучались реакции, вызываемые нейтронами, протонами, дейтронами, тритонами и  $\alpha$ -частицами. Источниками частиц служили ядерные реакторы, электростатические и каскадные генераторы, циклотроны.

Несколько докладов было посвящено исследованию реакций типа  $(n, 2n)$ ,  $(p, n)$ ,  $(d, n)$ ,  $(d, He^3)$ ,  $(d, p)$ ; для ряда элементов мишени  $(t, p)$  и  $(t, d)$  на  $He^3$ ;  $(t, p)$  и  $(t, \alpha)$  на углероде, а также поляризационным эффектам в ядерных реакциях. Привлекает внимание работа И. Ере и др. (Будапешт), посвященная изучению реакции  $B^{10}(d, p\gamma)B^{11}$  с измерением циркулярной поляризации  $\gamma$ -лучей. Показано, что при энергии дейтронов 400 кэв основным механизмом реакции является прямой процесс. Интересные результаты по поляризации нейтронов в реакции  $D(d, n)He^3$  в области энергий от 5,9 до 11,3 Мэв были представлены Н. Неводничанским и др. (Краков). Имеющиеся в литературе данные противоречивы. Полученные краковской группой результаты позволяют выделить из этих данных наиболее надежные. Доклад Н. А. Власова и др. (Москва) также посвящен измерению степени поляризации нейтронов из реакций  $D(d, n)He^3$

для более высоких энергий дейтронов (от 11,6 до 19,5 Мэв). Данные, полученные в этой работе, хорошо согласуются с результатами краковской группы.

Исследованию упругого и неупругого рассеяний посвящены работы Х. Хулубея и др. (Бухарест), П. Бема (Прага), А. Будзановского и др. (Краков), О. Хансена (Копенгаген). Здесь хочется отметить фундаментальную работу польских физиков по изучению упругого рассеяния  $\alpha$ -частиц с энергией 25 Мэв различными ядрами от кислорода до висмута. Была обнаружена аномалия в угловом распределении  $\alpha$ -частиц при рассеянии на кальции: дифференциальное сечение испытывают осцилляции, амплитуда которых не уменьшается с ростом угла.

Некоторые работы связаны с изучением механизмов реакций. Доклады И. Бачо и др. (Дебрецен, ВНР), И. Бржоске и др. (Варшава), А. Адам и др., З. Заморы (Будапешт) посвящены исследованию энергетической зависимости отношения сечений изомеров и изучению реакций типа  $(n, \gamma)$ ,  $(n, p)$ ,  $(n, 2n)$  для ряда изотопов. Полученные данные используются для определения параметров энергетических состояний ядра, а также для выводов о механизме реакций. Интересна работа, выполненная О. Хансеном, Б. Мадсенем (Копенгаген) и Э. Колтаи (Дебрецен), по исследованию реакции  $Mg^{25}(d, \alpha)Na^{23}$ . Измерение дифференциальных сечений при работе с пучком высокой монохроматичности (на тандем-генераторе) позволило наблюдать эриксонские флуктуации в сечении реакции и определить, таким образом, время жизни составного ядра. С большим интересом были прослушаны доклады В. А. Карнаухова (Дубна) «Поиски излучателей протонов среди продуктов реакций с тяжелыми ионами» и обзорный доклад И. Шинтельмейстера «О некоторых работах, выполненных в лаборатории сектора физика атомных