

Б-287

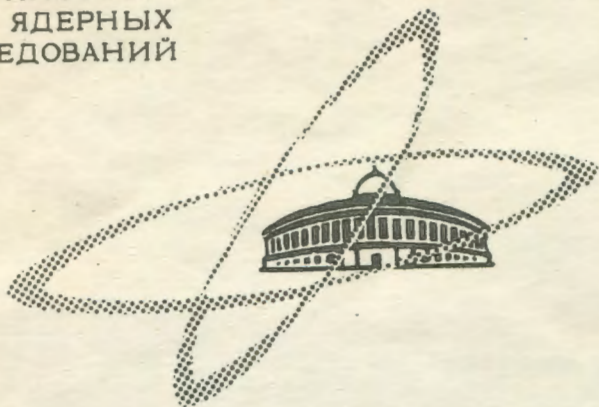
ЯФ, 1968, т. 7, в. 1,

с. 28-30

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P1 - 3372



Ю.А. Батусов, С.А. Бунятов, В.М. Сидоров,
В.А. Ямба

ОБРАЗОВАНИЕ ГЕЛИЯ -8
ПРИ ЗАХВАТЕ π^- -МЕЗОНОВ
ЯДРАМИ УГЛЕРОДА, АЗОТА И КИСЛОРОДА

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

1967.

P1 - 3372

Ю.А. Батусов, С.А. Бунятов, В.М. Сидоров,
В.А. Ямба

ОБРАЗОВАНИЕ ГЕЛИЯ -8
ПРИ ЗАХВАТЕ П⁻-МЕЗОНОВ
ЯДРАМИ УГЛЕРОДА, АЗОТА И КИСЛОРОДА

Направлено в ЯФ

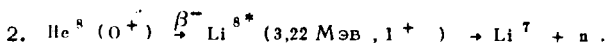
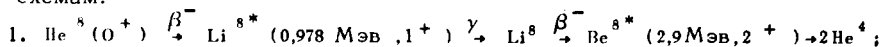
Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

5200/3 мр.

Впервые вопрос о возможности существования He^8 был рассмотрен Я.Б.Зельдовичем^{/1/} и В.И.Гольданским^{/2/} в 1960 г. Используя экспериментальные данные относительно энергии спаривания нейтронов в легких ядрах, они пришли к выводу о большой вероятности существования изотопа He^8 , стабильного по отношению к испусканию нейтронов. Однако строгого экспериментального доказательства существования He^8 до 1965 года не было. Имелось сообщение^{/3/} о возможном наблюдении двух случаев образования He^8 в фотоэмульсии, которое не было достаточно надежным с экспериментальной точки зрения^{/4,5/}. Результаты работы^{/6/} были также сомнительными^{/4,7/}, и впоследствии была показана их ошибочность^{/8,9/}.

В 1966-67 г.г. опубликован целый ряд экспериментов^{/3-14/} по обнаружению ядра He^8 и изучению некоторых его свойств. Настоящая работа является продолжением работы^{/10/}, в которой сообщалось о непосредственной регистрации актов рождения и распада ядер He^8 , образованных при захвате остановившихся π^- -мезонов ядрами углерода и кислорода. В данной работе определена более точно масса He^8 и относительные вероятности образования He^8 на различных ядрах в фотоэмульсии.

Известно, что ядро He^8 претерпевает распад по следующим двум схемам:



Первая из этих схем особенно удобна для регистрации в фотоэмульсии, т.к. в этом случае на конце следа He^8 должны наблюдаться два следа электронов и два направленных в противоположные стороны и равных по длине следа α -частиц (Т-образные следы с двумя электронами, в отличие от Т-образных следов Li^8 и B^8 , которые сопровождаются одним следом электрона или позитрона, соответственно).

При захвате π^- -мезонов легкими ядрами $\text{C}, \text{N}, \text{O}$ в фотоэмульсии He^8 может наблюдаться в следующих реакциях, дающих двух-, трех- и четырехлучевые звезды:

1. $\pi^- + \text{O}^{16} \rightarrow \text{He}^8 + \text{B}^8$,
2. $\pi^- + \text{C}^{12} \rightarrow \text{He}^8 + \text{He}^3 + \text{H}^1$,
3. $\pi^- + \text{N}^{14} \rightarrow \text{He}^8 + \text{He}^3 + \text{He}^3$,
4. $\pi^- + \text{O}^{16} \rightarrow \text{He}^8 + \text{Be}^7 + \text{H}^1$,
5. $\pi^- + \text{C}^{12} \rightarrow \text{He}^8 + \text{H}^2 + \text{H}^1 + \text{H}^1$,
6. $\pi^- + \text{C}^{12} \rightarrow \text{He}^8 + \text{H}^1 + \text{H}^1 + \text{H}^1 + \nu$,
7. $\pi^- + \text{N}^{14} \rightarrow \text{He}^8 + \text{He}^3 + \text{H}^2 + \text{H}^1$,
8. $\pi^- + \text{N}^{14} \rightarrow \text{He}^8 + \text{He}^4 + \text{H}^1 + \text{H}^1$,
9. $\pi^- + \text{N}^{14} \rightarrow \text{He}^8 + \text{He}^3 + \text{H}^1 + \text{H}^1 + \nu$,
10. $\pi^- + \text{O}^{16} \rightarrow \text{He}^8 + \text{Li}^6 + \text{H}^1 + \text{H}^1$,
11. $\pi^- + \text{O}^{16} \rightarrow \text{He}^8 + \text{He}^4 + \text{He}^3 + \text{H}^1$,
12. $\pi^- + \text{O}^{16} \rightarrow \text{He}^8 + \text{He}^3 + \text{He}^3 + \text{H}^2$,
13. $\pi^- + \text{O}^{16} \rightarrow \text{He}^8 + \text{He}^3 + \text{He}^3 + \text{H}^1 + \nu$.

(Реакции с большим числом заряженных частиц не приводятся). В рассматриваемых реакциях происходит полный развал ядер мишени. Энергия, выделяющаяся при захвате π^- -мезонов, точно известна. Это позволяет провести кинематический анализ наблюдаемых событий.

Эмульсионные камеры размером $10 \times 5 \times 2,5 \text{ см}^3$, составленные из слоев эмульсии толщиной 600 микрон типа НИКФИ-БР (чувствительной к релятивистским частицам), облучались π^- -мезонами с энергией 80 Мэв на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Плотность облучения составляла $2 \cdot 10^5 \text{ мез/см}^2$. Мезоны тормозились до остановки в середине камеры. Зона остановок π^- -мезонов шириной в 1 см просматривалась под микроскопом с увеличением 200 X, и регистрировались σ -звезды с Т-образными

следами. Просмотрено 7 камер, и зарегистрировано 17267 таких случаев. Среди них при повторном просмотре с увеличением 1350 X производился поиск событий с двумя электронными следами на концах T-образных следов. При этом руководствовались следующими критериями отбора:

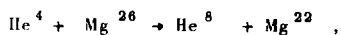
1. Электроны должны быть релятивистскими.

2. Расстояние от окончания следа He^8 до первого зерна электронного следа не должно превышать утроенного среднего расстояния между зернами. Относительное число таких разрывов составляет 5%^{/15/}.

3. Следы электронов должны продолжаться либо до остановки в камере, либо до выхода за ее пределы.

Было зарегистрировано 16 таких событий. Два из них являются звездами трехлучевого, 13 случаев - четырехлучевого и один случай - пятилучевого типа.

Для каждого события проведен кинематический анализ, результаты которого приведены в таблице. О первых трех случаях сообщалось ранее^{/10/}. Из таблицы видно, что восемь случаев удовлетворяют кинематике реакций без испускания нейтрона. В этих случаях измерена масса атома He^8 и избыток массы M-A. Среднее значение по этим измерениям $M-A = (31,0 \pm 0,4)$ Мэв. Эта величина хорошо согласуется со значением, полученным нами ранее^{/10/}, и результатами работы^{/11/}, в которой эта же величина, измеренная по 10 отсчетам в реакции



найдена равной $(31,65 \pm 0,12)$ Мэв. Семь случаев идентифицированы как реакции с испусканием одного дополнительного нейтрона. В каждом из этих случаев определена масса нейтрона, среднее значение которой получено равным $(941,5 \pm 2,2)$ Мэв. Значение массы атома He^8 принималось равным $M=7482,5$ Мэв. В одном случае не удалось провести идентификацию канала реакции, т.к. одна частица вышла за пределы камеры и пробег ее не измерен точно.

На основании зарегистрированных случаев можно определить относительные вероятности образования He^8 при захвате π^- -мезонов на различных ядрах. Как видно из таблицы, 13 случаев отнесены к реакциям на углероде и по одному случаю - к реакциям на азоте и кислороде. О верхней границе относительной вероятности реакции (1) сообщалось в работе^{/16/}. Аналогично работе^{/16/} находим, что зарегистрированное число σ -звезд с T-образными следами соответствует $3,27 \cdot 10^6$ захватам π^- -мезонов в легких и $5,81 \cdot 10^6$ захватам π^- -мезонов в тяжелых ядрах. При этом относительные числа за-

хватов π^- -мезонов отдельными компонентами легких ядер C, N, O составляют 49,4%; 14,6% и 36% соответственно.

Используя эти данные, находим

$$W_1 = \frac{\pi^- \text{C}^{12} \rightarrow \text{He}^8 + \dots}{\pi^- \text{C}^{12} \rightarrow \text{все каналы}} = (8,0 \begin{smallmatrix} +2,8 \\ -2,2 \end{smallmatrix}) 10^{-6}$$

$$W_2 = \frac{\pi^- \text{O}^{16} \rightarrow \text{He}^8 + \dots}{\pi^- \text{O}^{16} \rightarrow \text{все каналы}} = 0,8 \cdot 10^{-6}$$

$$W_3 = \frac{\pi^- \text{N}^{14} \rightarrow \text{He}^8 + \dots}{\pi^- \text{N}^{14} \rightarrow \text{все каналы}} = 2,0 \cdot 10^{-6}$$

Здесь приводятся вероятности образования He^8 , который распадается по схеме 1. Согласно данным работы ^{/8/} доля распадов по этой схеме составляет 88%.

Можно отметить, что образование He^8 при захвате π^- -мезонов легкими ядрами с большой вероятностью сопровождается вылетом еще трех заряженных частиц. При испускании же Li^8 , наиболее вероятно, дополнительно вылетают только две заряженных частицы. Это связано с тем, что Li^8 уносит больший заряд.

С точки зрения теории прямых ядерных реакций образование He^8 протекает путем захвата π^- -мезона ассоциацией нуклонов в ядре ^{/18,19/}. В этом случае на углероде, например, виртуальной частицей должно быть ядро Be^4 . Представляет интерес исследование вероятности существования таких ассоциаций ^{/16,20/}.

Из факта существования β -активного ядра He^8 с массой атома $M_{\text{He}^8} = (7482,5 \pm 0,4)$ Мэв следует, что энергия связи тетранейтрона (если он существует ^{/17/}) не превышает $(3,7 \pm 0,4)$ Мэв. В противном случае He^8 распался бы на $\text{He}^4 + \alpha^4$.

Авторы благодарны проф. В.П.Джелелову и проф. Л.И.Липидусу за интерес и внимание к работе.

Л и т е р а т у р а

1. Я.Б.Зельдович. ЖЭТФ, 38, 122 (1960).
2. В.И.Гольданский. ЖЭТФ, 38, 1637 (1960).
3. О.В.Ложкин, А.А.Римский-Корсаков. ЖЭТФ, 40, 1519 (1961).
4. А.И.Базь, В.И.Гольданский, Я.Б.Зельдович. УФН, 85, 445 (1965).
5. Н.А.Власов. УФН, 89, 511 (1966).
6. В.М.К.Nefkens. Phys. Rev. Lett., 10, 243 (1963).
7. А.М.Poskanzer et al. Phys. Rev. 138, 1B, В18 (1965).
8. А.М.Poskanzer et al. Phys. Rev. Lett., 15, 1030 (1965).
9. В.М.К.Nefkens et al. Nuclear Phys., 88, 523 (1966).
10. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. Препринт ОИЯИ, E-2774, Дубна 1966. Phys. Lett., 22, 487 (1966).
11. J.Cerny et al. Phys. Rev. Lett., 16, 468 (1966).
12. S.L.Whetstone and T.D.Thomas. Phys. Rev. Lett., 15, 298 (1965).
13. G.C.Deka et al. Nuovo Cim., 45B, 63 (1966).
14. M.Sowinski et al., Report INR No. 765 /1A /PL, 1966, Warsaw.
15. P.H.Fowler and D.H.Perkins. Phil. Mag., 46, 587 (1955).
16. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. Препринт ОИЯИ, P-3306, Дубна, 1967; ЯФ (в печати).
17. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. Препринт ОИЯИ, P-3306, Дубна, 1967; ЯФ (в печати).
18. И.С.Шапиро, В.М.Колыбасов. ЖЭТФ, 44, 270 (1967).
19. Н.С.Зеленская, Ю.Ф.Смирнов, Н.П.Юдин. Известия АН СССР, 29, 186 (1965).
20. П.Береги, Н.С.Зеленская, В.Г.Неудачин, Ю.Ф.Смирнов. Nucl.Phys., 66, 513 (1966).

Рукопись поступила в издательский отдел
6 июня 1967 года.

Таблица

Случай №1

Номер следа	Пробег [микрон]	Угол [град.]	Энергия [МэВ]	Идентификация	Реакция, масса атома He ⁸ , избыток массы
1	44,8 ± 1,1	0	10,9 ± 0,1	He ⁸	$\pi^- C^{12} \rightarrow He^8 + He^3 + H^1$ $M = (7481,7 \pm 3,1) \text{ МэВ}$ $M - A = (30,2 \pm 3,1) \text{ МэВ}$
2	52,4 ± 7	21,9 ± 1,7	33,9 ± 0,3	He ³	
3	>1320	103,5 ± 15	41,7 ± 3,0	H ¹	

Случай №2

1	7,9 ± 1,0	0	2,7 ± 0,3	He ⁸	$\pi^- C^{12} \rightarrow He^8 + H^2 + H^1 + H^1$ $M = (7480,0 \pm 1,1) \text{ МэВ}$ $M - A = (28,5 \pm 1,1) \text{ МэВ}$
2	1823 ± 20	136,1 ± 2,4	26,5 ± 0,3	H ²	
3	1880 ± 27	215,2 ± 2,4	20,1 ± 0,2	H ¹	
4	4626 ± 80	317,1 ± 2,4	33,6 ± 0,5	H ¹	

Случай №3

1	18,1 ± 1,0	0	5,4 ± 0,3	He ⁸	$\pi^- O^{16} \rightarrow He^8 + H^1 + He^4 + He^3$ $M = (7482,6 \pm 1,0) \text{ МэВ}$ $M - A = (31,1 \pm 1,0) \text{ МэВ}$
2	5208 ± 75	89,3 ± 1,9	36,0 ± 0,3	H ¹	
3	383 ± 4,0	211,4 ± 2,1	32,0 ± 0,5	He ⁴	
4	33,1 ± 1,5	320,4 ± 1,8	6,2 ± 0,3	He ³	

Случай №4

Номер следа	Пробег [микрон]	Угол [град.]	Энергия [МэВ]	Идентификация	Реакция, масса атома He ⁸ , избыток массы
1	6,8 ± 1,0	0	2,6 ± 0,3	He ⁸	$\pi^- C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + He^3$ $M = (7483,2 \pm 1,0) \text{ МэВ}$ $M - A = (31,7 \pm 1,0) \text{ МэВ}$
2	11200 ± 140	72,3 ± 1,0	56,0 ± 0,4	H ¹	
3	379 ± 5	232 ± 1,1	27,8 ± 0,3	He ³	

Случай №5

1	63,0 ± 1,0	0	14,0 ± 0,2	He ⁸	$\pi^- C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + H^2 + H^1$ $M = (7482,5 \pm 1,0) \text{ МэВ}$ $M - A = (31,0 \pm 1,0) \text{ МэВ}$
2	571 ± 9	104,4 ± 1,5	10,0 ± 0,3	H ¹	
3	430 ± 5	148,9 ± 1,5	11,2 ± 0,3	H ²	
4	8075 ± 100	220,3 ± 1,0	46,7 ± 0,3	H ¹	

Случай №6

1	10,0 ± 1,0	0	3,8 ± 0,3	He ⁸	$\pi^- C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + H^1 + H^2$ $M = (7483,5 \pm 1,0) \text{ МэВ}$ $M - A = (32,0 \pm 1,0) \text{ МэВ}$
2	983 ± 16	119,7 ± 1,2	13,7 ± 0,2	H ¹	
3	8490 ± 100	155,2 ± 1,0	48,0 ± 0,4	H ¹	
4	708 ± 15	270,4 ± 1,1	15,0 ± 0,2	H ²	

Случай №7

Номер следа	Пробег [микрон]	Угол [град.]	Энергия [МэВ]	Идентификация	Реакция, масса атома He ⁸ , избыток массы
1	44,0 ± 1,0	0	11,0 ± 0,3	He ⁸	$\pi^- C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + H^2 + H^1$ $M = (7483,0 \pm 1,0) \text{ МэВ}$ $M - A = (31,5 \pm 1,0) \text{ МэВ}$
2	463 ± 8	95,3 ± 1,8	9,0 ± 0,2	H ¹	
3	4690 ± 70	144,0 ± 1,0	45,0 ± 0,5	H ²	
4	1283 ± 20	245,6 ± 1,1	16,0 ± 0,2	H ¹	

Случай №8

1	18,0 ± 1,0	0	5,8 ± 0,2	He ⁸	$\pi^- C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + H^2 + H^1$ $M = (7481,7 \pm 1,0) \text{ МэВ}$ $M - A = (30,2 \pm 1,0) \text{ МэВ}$
2	790 ± 13	128,5 ± 1,2	12,0 ± 0,2	H ¹	
3	753 ± 6	253,6 ± 1,1	15,5 ± 0,2	H ²	
4	8630 ± 100	246,5 ± 1,0	48,4 ± 0,4	H ¹	

Случай №9

Номер следа	Пробег [микрон]	Угол [град.]	Энергия [МэВ]	Идентификация	Реакция, масса нейтрона
1	11,5 ± 1,0	0	4,1 ± 0,3	He ⁸	$\pi^- C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + H^1 + H^1 + n$ $M_n = (934,6 \pm 5,0) \text{ МэВ}$
2	457 ± 7	33,2 ± 1,5	4,0 ± 0,2	H ¹	
3	5704 ± 80	152,5 ± 1,0	38,2 ± 0,3	H ¹	
4	2755 ± 40	247,7 ± 1,0	25,2 ± 0,2	H ¹	

Случай №10

Номер следа	Пробег [микрон]	Угол [град.]	Энергия [МэВ]	Идентификация	Реакция, масса нейтрона
1	6,8 ± 1,0	0	2,8 ± 0,3	He ⁸	$\pi^- C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + H^1 + H^1 + n$ $M_n = (941,8 \pm 5,0) \text{ МэВ}$
2	1476 ± 22	29,2 ± 1,0	17,5 ± 0,2	H ¹	
3	7490 ± 100	207,5 ± 1,0	44,7 ± 0,3	H ¹	
4	202 ± 7	205,0 ± 2,0	5,5 ± 0,2	H ¹	

Случай №11

1	16,0 ± 1,0	0	5,1 ± 0,3	He ⁸	$\pi^- C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + H^1 + H^1 + n$ $M_n = (941,9 \pm 5,0) \text{ МэВ}$
2	3455 ± 50	144,0 ± 1,0	28,5 ± 0,3	H ¹	
3	1215 ± 20	171,1 ± 1,0	15,6 ± 0,2	H ¹	
4	213 ± 7	239,8 ± 2,6	5,6 ± 0,2	H ¹	

Случай №12

1	34,4 ± 1,0	0	9,1 ± 0,2	He ⁸	$\pi^- C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + H^1 + H^1 + n$ $M_n = (934,3 \pm 5,0) \text{ МэВ}$
2	1200 ± 20	82,1 ± 1,0	15,5 ± 0,2	H ¹	
3	4354 ± 62	228,3 ± 1,0	32,8 ± 0,3	H ¹	
4	232 ± 6,0	225,8 ± 2,0	7,5 ± 0,2	H ¹	

Случай № 13

Номер следа	Пробег [микрон]	Угол [град.]	Энергия [МэВ]	Идентификация	Реакция, масса нейтрона
1	16,2±1,0	0	5,1±0,3	He ⁸	$\pi^- C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + H^1 + H^1 + n$ $M_n = (949,8 \pm 5,0) \text{ МэВ}$
2	112 ± 5	47,8±3,5	3,8±0,2	H ¹	
3	3176±48	159,7±1,0	27,3±0,2	H ¹	
4	1176 ± 20	257,3±1,0	15,3±0,2	H ¹	

Случай № 14

1	25,5±1,0	0	7,5±0,3	He ⁸	$\pi^- C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + H^1 + H^1 + n$ $M_n = (947,4 \pm 5,0) \text{ МэВ}$
2	825±13	116,7±1,5	12,5±0,2	H ¹	
3	3278±46	243,4±1,0	27,8±0,3	H ¹	
4	341 ± 6	118,9±2,0	7,2 ± 0,2	H ¹	

Случай № 15

1	19,6±1,0	0	6,0±0,3	He ⁸	$\pi^- N^{14} \rightarrow He^8 + H^2 + H^1 + H^1 + H^1 + n$ $M_n = (940,6 \pm 5,0) \text{ МэВ}$
2	75 ± 4	86,9±1,5	3,9±0,2	H ²	
3	300±6	102,1±2,0	7,0±0,3	H ¹	
4	103 ± 5	209,2±2,0	4,0±0,3	H ¹	
5	361 ± 7	297,3±2,0	7,7±0,3	H ¹	