

ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ**МНОГОКРАТНЫЕ ЯДЕРНЫЕ РАСЩЕПЛЕНИЯ («ЗВЁЗДЫ») ПОД ДЕЙСТВИЕМ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ В 100 MeV**

Как известно, изучение ядерных расщеплений под действием квантов высокой энергии до недавнего времени сильно затруднялось недостатком подходящих источников, дающих фотоны достаточной энергии. Тем не менее, в таблицах изотопов Сиборга<sup>2</sup> зарегистрировано около 35 ( $\gamma$ ,  $n$ ) реакций. Определение минимальной энергии, необходимой для освобождения нейтрона при этих реакциях, дало величины от 1,6 MeV для бериллия до 19 MeV для углерода. Энергия, необходимая для освобождения протона, несколько больше, так как протону для вылета из ядра нужно преодолеть кулоновский потенциальный барьер, отсутствующий в случае нейтрона.

Недавно построенный бетатрон на 100 MeV значительно расширил возможности эксперимента. Фотоны рентгеновских лучей, получаемые при таких энергиях возбуждения, могут освобождать как нейтроны, так и протоны практически с одинаковой вероятностью. Остающееся ядро, кроме того, будет «нагрето» до такой высокой температуры, что открывается возможность «испарения» ещё нескольких частиц. Можно ожидать, что при энергии возбуждения в 100 MeV будут наблюдаться реакции с освобождением от 6 до 8 частиц. Такие многократные расщепления до сих пор наблюдались только в космических лучах.

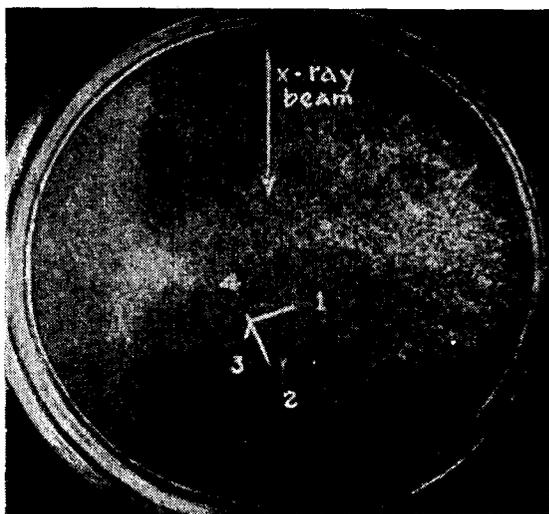
Для изучения многократных расщеплений можно воспользоваться фотографированием треков освобождаемых частиц при помощи камеры Вильсона или методом толстослойных эмульсий. В том и другом случаях можно наблюдать направление вылета частиц и определять их относительные энергии. Однако этот метод имеет тот недостаток, что при его помощи невозможно обнаруживать вылет нейтронов, так что картина расщепления получается неполной. Кроме того, так как в камере Вильсона всегда присутствует смесь элементов, то природа ядра, испытывающего расщепления, редко может быть установлена с достоверностью.

Другой, в некоторых отношениях более удобный метод состоит в наблюдении искусственной радиоактивности, возникающей при облучении образца рентгеновскими лучами.

Г. Боядуин и Г. Стэнли Клайбер<sup>1</sup> воспользовались 100-миллионным бетатроном, построенным Чарльтоном и Вестендорпом, для наблюдения фото-разрушений ядер при помощи обоих указанных методов. Была построена горизонтальная камера Вильсона диаметром в 30 см, которая давала расширения один раз в минуту синхронно с работой бетатрона. Благодаря этому наблюдавшиеся треки обладали большой резкостью. Камера была наполнена воздухом и смесью паров воды и алкоголя. Она была расположена на расстоянии 25 футов от источника рентгеновских лучей; интенсивность последних намеренно уменьшалась в  $10^5$  раз по сравнению с максимально возможной. Всего было сделано 1500 вильсоновских фотографий. Из них на 105 были получены треки единичных протонов с энергиями до 9 MeV; на 7 фотографиях были

получены треки, напоминающие картину расщеплений под действием быстрых нейтронов: одна из этих частиц была протоном или  $\alpha$ -частицей, а другая — тяжёлым ядром отдачи. Наконец, на трёх фотографиях были обнаружены «звёзды» из четырёх частиц, причём на двух из них эти частицы были отождествлены следующим образом: одна  $\alpha$ -частица, два протона и остаточное ядро отдачи. Кроме того, в каждом из звёздных расщеплений должен был освободиться ещё по крайней мере один нейтрон, так как иначе нарушался бы закон сохранения количества движения. Одна из полученных авторами «звёзд» приведена на рисунке.

Магнитное поле, в котором находилась камера, в этом случае составляло 1350 эрстед. Треки были отождествлены следующим образом: 1 —  $\alpha$ -частица с пробегом 3 см и энергией 4,5 MeV; 2 и 3 — протоны; 4 — вероятно, ядро отдачи. Кроме того, как уже было сказано, должен был освободиться по крайней мере один нейтрон. Если



расщеплению подвергалось ядро азота (что вероятнее всего), то остаточное ядро отдачи должно принадлежать  $\text{Li}^7$  или  $\text{Li}^6$ . Была получена также «звезда» из трёх частиц; одну из этих частиц авторы отождествляют с мезоном (приводимая авторами фотография, к сожалению, невоспроизводима). Это отождествление, повидимому, однако не подтверждается.

Наблюдения по методу искусственной радиоактивности, проделанные с 13 элементами (Li, Be, B, C, N, O, F, Na, Mg, Al, Si, P, Pb), позволили в большинстве случаев установить типы реакций и возникающие изотопы. Так, например, углерод после облучения (обычно облучение производилось рентгеновскими лучами в 100 MeV в течение часа) обнаружил сильную активность с периодом в 20,5 мин. Эта активность принадлежит  $\text{C}^{11}$  (см. таблицы Сиборга), и реакция поэтому такова:  $\text{C}^{12}(\gamma, n)\text{C}^{11}$ . В случае кислорода было установлено 2 периода: 2,1 мин. ( $\text{O}^{15}$ ) и  $20 \pm 2$  мин. (наиболее вероятный носитель —  $\text{C}^{11}$ ). Таким образом в этом случае возможны реакции  $\text{O}^{16}(\gamma, n)\text{O}^{15}$  для двухминутной активности и реакции  $\text{O}^{16}(\gamma, an)\text{C}^{11}$  или  $\text{O}^{16}(\gamma, 2p\ 3n)$  для 20-минутной активности. В случаях алюминия и фосфора получились, наряду с активностями, которые можно было легко истолковать (например, в случае Al периоды в 63 сек. и 14,8 часа можно было истолковать как следствия реакций  $\text{Al}^{27}(\gamma, 2p)\text{Na}^{25}$  и  $\text{Al}^{27}(\gamma, 2pn)\text{Na}^{24}$ , также и активности, истолкование которых оказалось затруднительным. Именно, в случае Al 10-минутная активность могла бы принадлежать  $\text{Mg}^{27}$ , но в таком случае реакция  $^{13}\text{Al}^{27}(\gamma, ?)^{12}\text{Mg}^{27}$  означала бы возможность процесса потери заряда без потери массы. Равным образом в случае фосфора активность в 2,6 часа можно было бы отождествить с  $\text{Si}^{31}$ , но это также означало бы превращение  $^{15}\text{P}^{31} \rightarrow ^{14}\text{Si}^{31}$ . Возможность побочных реакций вроде  $\text{Al}^{27}(n, p)\text{Mg}^{27}$  в случае алюминия авторы считают исключённой на основании своих контрольных опытов. В резюме своей работы авторы считают, что эти результаты следует рассматривать

как указание на возможность реакций указанного типа, т. е. превращений с потерей положительного заряда без потери массы.

Опыты со свинцом были произведены с целью установить возможность реакции фотоделения в этом случае. Однако результат получился отрицательный. Все результаты, полученные авторами, сведены в следующей таблице:

Элемент	Период	Активность	Вероятный изотоп	Вероятная реакция
Li	Активность не обнаружена		—	—
Be			—	—
B			—	—
C	20,5 мин.	сильная	C <sup>11</sup> 20,5 мин.	C <sup>13</sup> (γ, n) C <sup>11</sup>
N	9,9 мин.	сильная	N <sup>13</sup> 9,96 мин.	N <sup>14</sup> (γ, n) N <sup>13</sup>
	20 мин.	слабая	C <sup>11</sup> 20,5 мин.	N <sup>14</sup> (γ, 2pn) C <sup>11</sup>
O	2,1 мин.	сильная	O <sup>15</sup> 2,1 мин.	O <sup>16</sup> (γ, n) O <sup>15</sup>
	20 мин.	слабая	C <sup>11</sup> 20,5 мин.	O <sup>16</sup> (γ, an) C <sup>11</sup>
F	1,1 мин.	сильная	F <sup>17</sup> 70 сек.	F <sup>19</sup> (γ, 2n) F <sup>17</sup>
	112 мин.	сильная	F <sup>18</sup> 112 мин.	F <sup>19</sup> (γ, n) F <sup>18</sup>
Na	2 часа	слабая	F <sup>18</sup> 112 мин.	Na <sup>23</sup> (γ, an) F <sup>18</sup>
Mg	2 сек.	сильная	Mg <sup>23</sup> 11,6 сек.	Mg <sup>24</sup> (γ, n) Mg <sup>23</sup>
	62,5 сек.	сильная	Na <sup>25</sup> 62 сек.	Mg <sup>26</sup> (γ, p) Na <sup>25</sup>
	40 мин.	слабая	?	?
	14,8 часа	сильная	Na <sup>24</sup> 14,8 часа	Mg <sup>25</sup> (γ, p) Na <sup>24</sup>
Al	короткий	сильная	Al <sup>26</sup> 7 сек.	Al <sup>27</sup> (γ, n) Al <sup>26</sup>
	63 сек.	умеренная	Na <sup>25</sup> 62 сек.	Al <sup>27</sup> (γ, 2p) Na <sup>25</sup>
	10 мин.	средняя	Mg <sup>27</sup> 10,5 мин.	?
	14,8 часа	средняя	Na <sup>24</sup> 14,8 часа	Al <sup>27</sup> (γ, 2pn) Al <sup>24</sup>
Si	2,5 мин.	сильная	Al <sup>28</sup> 2,4 мин.	Si <sup>29</sup> (γ, p) Al <sup>28</sup>
	6,7 мин.	сильная	Al <sup>29</sup> 6,7 мин.	Si <sup>30</sup> (γ, p) Al <sup>29</sup>
	15 часов	слабая	Na <sup>24</sup> 14,8 часа	Si <sup>28</sup> (γ, 3pn) Na <sup>24</sup>
P	короткий	сильная	P <sup>29</sup> 4,6 сек.	P <sup>31</sup> (γ, 2n) P <sup>29</sup>
	2,5 мин.	сильная	P <sup>30</sup> 2,55 мин.	P <sup>31</sup> (γ, n) P <sup>30</sup>
	6,7 мин.	средняя	Al <sup>29</sup> 6,7 мин.	P <sup>31</sup> (γ, 2p) Al <sup>29</sup>
	2,6 часа	средняя	Si <sup>31</sup> 2,8 часа	?
Pb	4,5 мин.	сильная	Tl <sup>204</sup> 4,1 мин.	Pb <sup>206</sup> (γ, pn) Tl <sup>204</sup>
	69 мин.	сильная	Pb <sup>205</sup> 69 мин.	Pb <sup>206</sup> (γ, n) Pb <sup>205</sup>
	5,5 часа	средняя	?	?
	52 часа	сильная	Pb <sup>203</sup> 52 часа	Pb <sup>204</sup> (γ, n) Pb <sup>203</sup>

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. George C. Baldwin and G. Stanley Klaiber, Phys. Rev. **70**, 259 (September 1 and 15, 1946).
2. Glenn T. Seaborg, Rev. Modern. Physics. Русский перевод У.Ф.Н. 28, вып. 2—3, 285. (1946).

Э. Шпольский