

С 341.3 + С 341.21

Ф-716

25 68

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P7 - 3617



Г. Н. Флеров

ДЕЛЕНИЕ КАК МЕТОД СИНТЕЗА ИЗОТОПОВ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

1967.

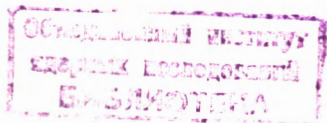
P7 - 3617

5562/1 нр.

Г.Н.Флеров

ДЕЛЕНИЕ КАК МЕТОД СИНТЕЗА ИЗОТОПОВ

Стенограмма доклада в Токио



Основными объектами исследований в ядерной физике являются стабильные и нестабильные изотопы. На первом этапе решающий вклад в наши знания внесли стабильные изотопы; дальнейший прогресс в ядерной физике связан, главным образом, с нестабильными изотопами вплоть до самых короткоживущих. Естественно проанализировать, насколько далеко продвинулись мы в этом направлении, сколько изотопов уже синтезировано и сколько предстоит сделать будущим экспериментаторам? Рис. 1 дает ответ на этот вопрос. Здесь известные стабильные изотопы (около 400) показаны черными квадратиками. Желтые квадратика соответствуют радиоактивным изотопам (примерно 1500), которые были синтезированы различными методами со времени открытия Жолио-Кюри. Сплошная линия указывает границы области стабильности на основании расчетов проф. Святецкого. Легко видеть, что известная область очень мала по сравнению с областью, которая должна быть исследована. Оценка числа изотопов в этой области дает 3000-4000, что значительно больше всего известного до сих пор. Находясь в гостеприимной Японии, можно сравнить область стабильных изотопов на этом рисунке с картой Японии. Острова стабильных изотопов окружены обширными морями. И в наших исследованиях этих морей мы находимся недалеко от суши. Вполне естественно возникают два вопроса:

- 1) является ли необходимым начинать долгое и, может быть, трудное путешествие в эти моря и что можно ожидать найти там;
- 2) возможно ли совершить это путешествие.

На мой взгляд, исследование изотопов в областях, далеко отстоящих от стабильных областей, является очень важным, так как в этом случае мы будем иметь дело с ядерным веществом в экстремальных состояниях. Например, можно рассчитывать получить изотопы кальция от $^{31}\text{Ca}_{20}$ с 20 p и 11 n до $^{70}\text{Ca}_{20}$ с 20 p и 50 n или $^{176}\text{Sn}_{50}$ с 50 p и 126 n или изотоп элемента с

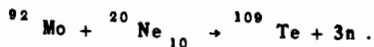
атомным номером 126 со $126p$ и $184n$ ($A=310$). В этой области соотношение между кулоновскими и ядерными силами будет совершенно другим. Нельзя исключить возможность существования и новых островов стабильности.

Каким образом можно синтезировать новые изотопы в этой области? Одна из возможностей проникновения в области нейтронообогатенных и нейтронодефицитных изотопов заключается в использовании реакций передачи. Многие доклады на этой конференции посвящены этому методу. Однако все авторы рассматривают теоретические или экспериментальные аспекты механизма однонуклонных передач. Единственная работа, в которой исследуются многонуклонные реакции передачи, это работа Волкова и др.^{1/} из Дубны, но результаты этой работы весьма неутешительны. Поперечное сечение реакции передачи 6-8 нейтронов в случае ($Tb + Ne$) очень мало (10^{-5} барна), так что метод нельзя рассматривать как перспективный для синтеза как легких, так и тяжелых изотопов в широком диапазоне Z .

Другой метод заключается в использовании источников нейтронов высокой плотности как импульсной, так и стационарной природы для последовательного захвата нейтронов. Вначале казалось, что этот метод будет очень перспективным, особенно для синтеза трансурановых элементов. Однако серии опытов, проведенных в США, показали, что этот метод обладает низкой эффективностью. Последним изотопом, полученным этим методом, был $^{257}Fm_{100}$.

В течение последних 10 лет как в США, так и в СССР было предпринято много попыток использования реакций между тяжелыми ядрами-партнерами с целью проникновения в область нейтронодефицитных изотопов. Были сконструированы специальные ускорители для тяжелых ионов таких как C , O , Ne , Ar . И, действительно, проблема была частично решена. Так, Карнаухов (Дубна) и проф. Белл (Мак-Гилльский университет, Канада) открыли излучатели запаздывающих протонов. Более того, было синтезировано несколько новых изотопов и элементов в области больших Z .

Однако в основе этого метода заложены определенные трудности, которые не позволяют проникать далеко в неизведанную область и подходить близко к границам стабильности. Это утверждение станет очевидным на примере нового изотопа ^{109}Te , который был получен Карнауховым в реакции



Было найдено, что поперечно сечение этой реакции составляет всего 10^{-6} барна. Для получения более легких изотопов теллура следует рассчитывать на испарение, скажем, 10-15 нейтронов, однако, вероятность таких событий катастрофически уменьшается.

Несколько лет назад д-р Поликанов с сотрудниками^{/2/} нашли несколько спонтанно делящихся изомеров. Мы думаем, что они обусловлены изомерией формы ядра. Было бы очень важно найти подобные изомеры, но с другими типами распадов. Поиски их очень затруднены из-за того, что неизвестен диапазон Z и A , где их можно искать.

В настоящее время проф. Бьёрхольм в Копенгагене проводит эксперименты, облучая различные мишени протонами и дейтонами, но до сих пор результат неудовлетворительный.

Подобная же кризисная ситуация возникла и в проблеме синтеза новых элементов. Эта ситуация иллюстрируется следующими данными, полученными недавно в Дубне:

Реакция	Поперечное сечение (барн)	Выход (атомы час)	Период полураспада (сек)
$^{238}_{92}\text{U} + ^{22}_{10}\text{Ne} \rightarrow ^{258}_{102} + 4n$	$10^{-7} - 10^{-8}$	5	4
$^{243}_{95}\text{Pu} + ^{22}_{10}\text{Ne} \rightarrow \begin{matrix} ^{261}_{104} + 4n \\ ^{260}_{104} + 5n \end{matrix}$	$10^{-9} - 10^{-10}$	0,2	0,3
$^{243}_{95}\text{Am} + ^{22}_{10}\text{Ne} \rightarrow \begin{matrix} ^{261}_{105} + 4n \\ ^{260}_{105} + 5n \end{matrix}$	$10^{-9} - 10^{-10}$	0,05	$\leq 0,1$

Эксперименты по синтезу элемента с $Z=105$ проводились с помощью специальной быстрой методики. Идентификация элемента 105 выполнялась методом временной корреляции двух последовательных α -распадов наряду с амплитудным анализом. Наши детальные исследования двух изотопов элемента 103 слу-

жили основой этой работы. Результаты экспериментов по синтезу 105 элемента следующие:

$$E_{\alpha} = 9,45 \pm 0,15 \text{ мэв,}$$

$$T_{1/2} = \leq 0,1 \text{ сек.}$$

Элемент был предварительно идентифицирован как 105^{260} или 105^{261} . Работы по синтезу 105-го элемента еще раз показали, что получение более далеких трансурановых элементов с $Z \geq 106$ с помощью таких бомбардирующих частиц, как неон-аргон, неосуществимо. Таким образом, нужно искать новые пути синтеза новых элементов и изотопов, далеких от области стабильности.

На наш взгляд, очень перспективными для этой цепи являются реакции деления. Уже в 1957 году было показано, что деление, вызываемое при облучении $^{238}\text{U} + ^{12}\text{C}$, приводит к симметричной кривой распределения осколков деления с достаточно широким пиком вблизи $Z = 49$. Естественно предположить, что для подобных реакций, вызываемых более тяжелыми частицами, пик распределения будет смещаться к большим Z и, очень возможно, будет иметь большую ширину. Эта гипотеза недавно была проверена экспериментально в Дубне. На рис. 2 представлено распределение осколков деления для трех величин параметра $\frac{Z^2}{A}$. Величина $\frac{Z^2}{A} = 34,5$ соответствует реакции $\text{Au} + ^{12}\text{C}$, величина $41,5 - \text{U} + \text{Ne}$, и $43,5 - \text{U} + \text{Ar}$. Зависимость от энергии возбуждения представлена серией кривых для случая $\frac{Z^2}{A} = 40$. Эта зависимость достаточно слабая и может быть описана формулой

$$P(A) = \frac{1}{(\pi \sigma^2)^{1/2}} \exp \left[- \frac{\left(A - \frac{A_c}{2} \right)^2}{\sigma^2} \right],$$

где A_c - масса (составного) компаунд-ядра,

A - масса осколка,

σ^2 - ширина массового распределения, которая с хорошей точностью является линейной функцией от температуры ядра, т.е. от энергии возбуждения.

Следующий рисунок (рис. 3) представляет собой массовые распределения для деления урана тепловыми нейтронами и ионами неона. Существенная разница очевидна.

Из рис. 4 можно провести сравнение эффективности различных методов получения нейтронодефицитных и нейтроноизбыточных изотопов в делительных и испарительных реакциях.

Особенно интересно деление, возникающее в реакции $U + Ar$ (рис. 5). В этом случае даже такие тяжелые элементы, как Po и Ra , были обнаружены как осколки деления. Из рис. 6 видно, что в реакции $U + Ar$ производится около 800 изотопов. Некоторые из них до сих пор неизвестны. Безусловно, что много изомеров различного сорта, включая и изомеры формы, должны при этом образовываться.

Уширения массового распределения можно достичь путем увеличения либо энергии возбуждения, либо путем увеличения массы и заряда частицы.

На наш взгляд, второе направление более обещающее. Следовательно, главная экспериментальная задача состоит сейчас в ускорении таких тяжелых ионов как Kr , Xe , U . Мне хотелось бы выразить надежду, что к следующей конференции такие частицы будут ускорены.

Что касается наших ближайших планов в Дубне, то мы начали длительное облучение Ta и U -мишеней ионами Ne и Ar . Полученные изотопы и изомеры будут затем разделены радиохимически и с помощью масс-сепараторов и их необходимо будет изучать спектроскопическими методами. Нам кажется, что эта обширная программа потребует больших усилий большого числа ученых во многих странах.

Дискуссия:

Председатель: Благодарю Вас. Имеются ли вопросы и замечания?

Профессор Вэй (Ок-Ридж): Каким образом Вы оценили пределы стабильности на диаграмме (рис. 1), показывающей возможное число изотопов?

Профессор Флеров: При определении границ стабильности нейтронодефицитных и нейтроноизбыточных изотопов мы использовали расчеты проф. Святецкого (*Swiatecki*)^{3/}. Естественно, что эти расчеты не являются абсолютно точными, и поэтому одна из задач будущих экспериментов состоит в нахождении этих границ.

Вопрос о возможной стабильности таких далеких элементов, как $Z = 114$ и $Z = 126$ (см. рис. 1), значительно сложнее. Теоретиками ряда стран различными методами были проведены оценки стабильности элементов в этих областях

по отношению к различным типам распада. Эти оценки позволяют ожидать с большой вероятностью существование островов стабильности в этой далекой области.

Профессор Шелайн (Университет штата Флорида):

В Вашем докладе имеется очень волнующее сообщение относительно элемента 105. В связи с этим мне хотелось бы задать Вам два вопроса. Во-первых, мне не очень ясно, какой метод идентификации был использован, чтобы быть уверенным, что это был элемент 105. Во-вторых, предложили ли Вы название, и если да, то какое?

Профессор Флеров: В течение многих лет мы в Дубне синтезировали несколько изотопов элементов 101, 102, 103 и 104^{4/}. Один из методов основан на следующем: атомы отдачи (102, 103 и др.) тормозятся в гелии, подхватываются атомами гелия и выносятся через небольшое отверстие из камеры мишени. Затем эти атомы нового элемента садятся на диск, который перемещается к детекторам. Твердотельные детекторы регистрируют α -распад ядер этих атомов. (рис. 7). Таким образом можно измерить спектр α -частиц. Далее, если в энергетическом спектре α -частиц обнаруживаются новая неизвестная линия, то следует провести много контрольных экспериментов с изменением энергии бомбардирующих частиц и с заменой самих частиц и мишеней. Это позволяет сделать достаточно уверенный вывод относительно излучателя, в результате распада которого появляется исследуемая α -частица.

Такой метод был очень хорошим вплоть до элементов 102 и 103, поскольку время транспортировки этих атомов от мишени до детекторов, включающее время выноса атомов газовым потоком и механического переноса диском, достаточно мало (0,9 сек) по сравнению с периодами полураспада этих элементов.

Эта аппаратура была использована и для поиска 105 элемента. Однако в области энергий α -частиц, ожидаемых для 105 элемента, мы ничего не обнаружили. Теоретические оценки для времени жизни 105 элемента дают $3 \cdot 10^{-3}$ сек. Однако некоторые изотопы должны иметь запрет благодаря своей нечетной природе, но, конечно, величина этого коэффициента запрета неизвестна. Поэтому мы уменьшили время собирания атомов от 0,6 до 0,2 сек, а время движения диска - от 0,3 до 0,12 сек. Получилась совершенно ужасающая машина, кото-

рая работает как пулемет. После этого усовершенствования мы кое-что наблюдали в интересующем нас участке α -спектра.

Затем мы остановили наши опыты на полгода, чтобы изучить два изотопа 103-го элемента, которые могут образоваться при α -распаде возможных изотопов 105 элемента. Мы измерили энергию α -частиц и время жизни 103^{257} и 103^{256} . Затем для идентификации 105 элемента мы использовали метод время-амплитудных корреляций.

Этот метод состоял в следующем: после появления α -частицы с энергией в интервале 8,2–9,8 мэв движение диска прекращалось, и в течение 3-х периодов изотопов 103 элемента сборник выдерживался под детектором до появления α -частицы от распада дочернего атома. В этом случае каждое совпадение характеризуется четырьмя параметрами: энергией и временем появления первичной α -частицы и энергией и временем появления вторичной α -частицы. Вероятность случайного совпадения настолько мала, что надежность идентификации 105 элемента даже для одного совпадения составляет 99%. К сожалению, характеристики распада изотопов 103^{256} и 103^{257} очень близки (см. препринт ОИЯИ Е7-3257, Дубна 1967 г.), поэтому пока невозможно установить, наблюдается 105^{260} или 105^{261} .

Как известно, история открытия элементов 102 и 103 оказалось длительной и запутанной. Поэтому перед окончательным наименованием элемента мы считаем необходимым проведение идентификации элемента другим методом.

Такая методика в настоящее время разработана у нас в лаборатории, но мы были бы очень благодарны американским коллегам, если бы они также получили дополнительные сведения о свойствах элемента 105.

Л и т е р а т у р а

1. W.Grochulski, T.Kwiecienska, Zian Go Chan, E.Lozynski, J.Maly, L.K.Tarasov, V.V.Volkov, Contr. Inter. Conference on Nuclear Structure 7-11 p. 215, 1967. Tokyo, Japan.
2. S.M.Polikanov, Contr. Inter. Conference on Nuclear Structure 7.17. p. 221, 1967 Tokyo, Japan.
3. W.D.Mayers, W.I.Swiatecki Lawrence Radiation Laboratory Report UCRL 11980, 1965.
4. Г.Н. Флеров. Препринт ОИЯИ Д7-3444, Дубна 1967 г.

Рукопись поступила в издательский
отдел 2 декабря 1967 г.

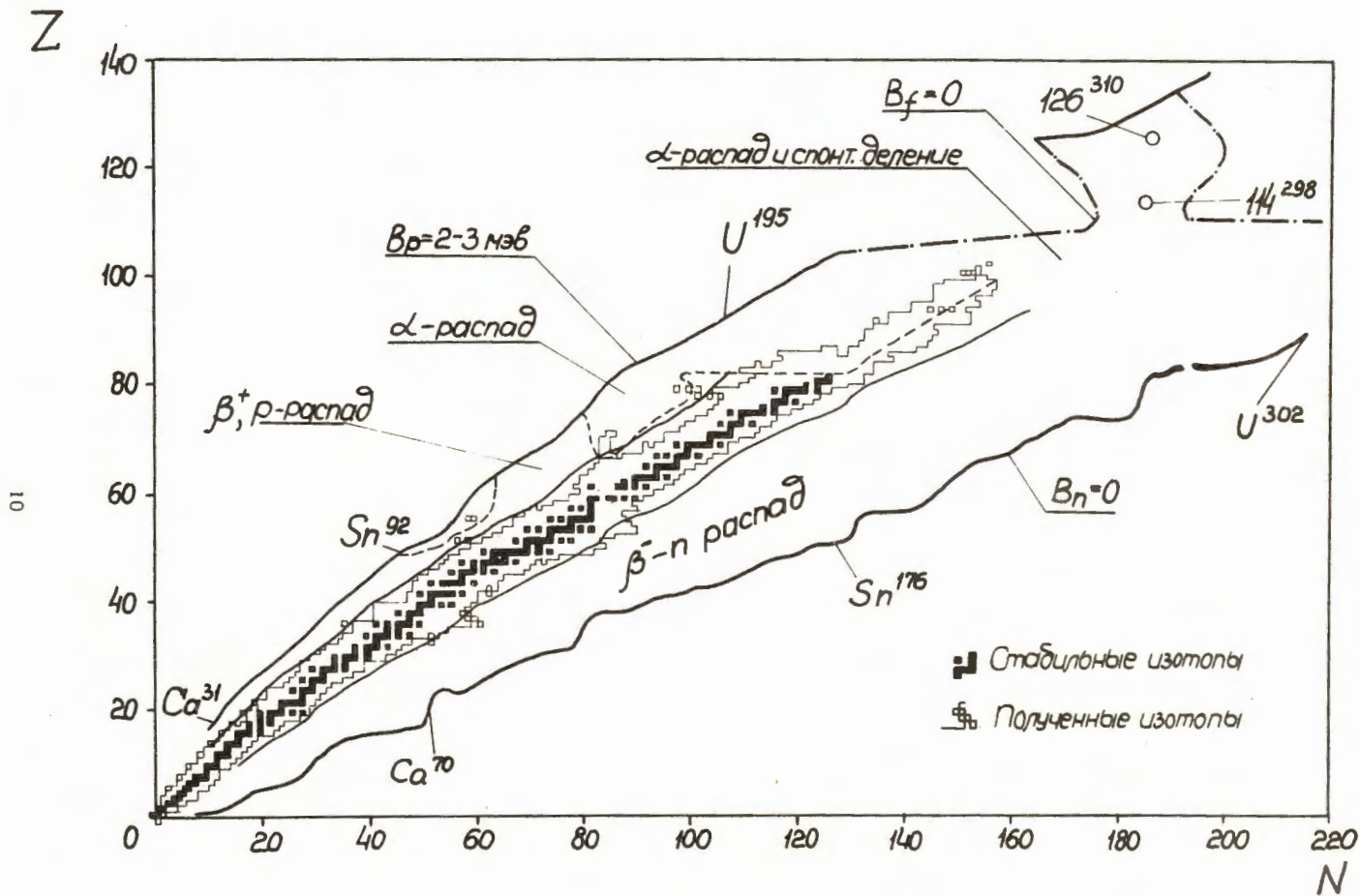
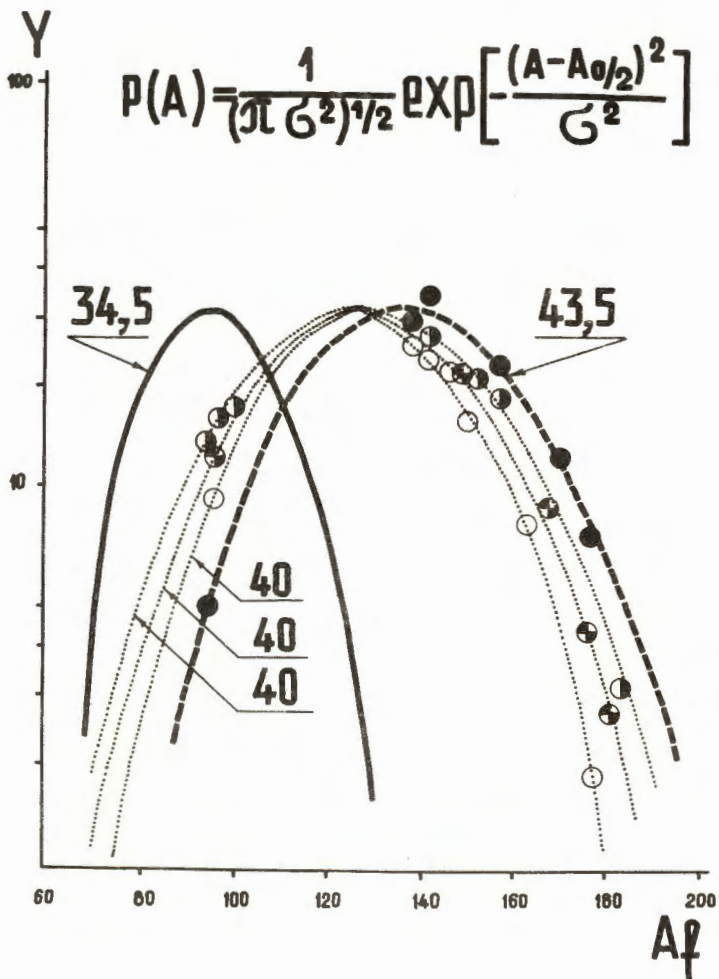


Рис. 1



Puc 2

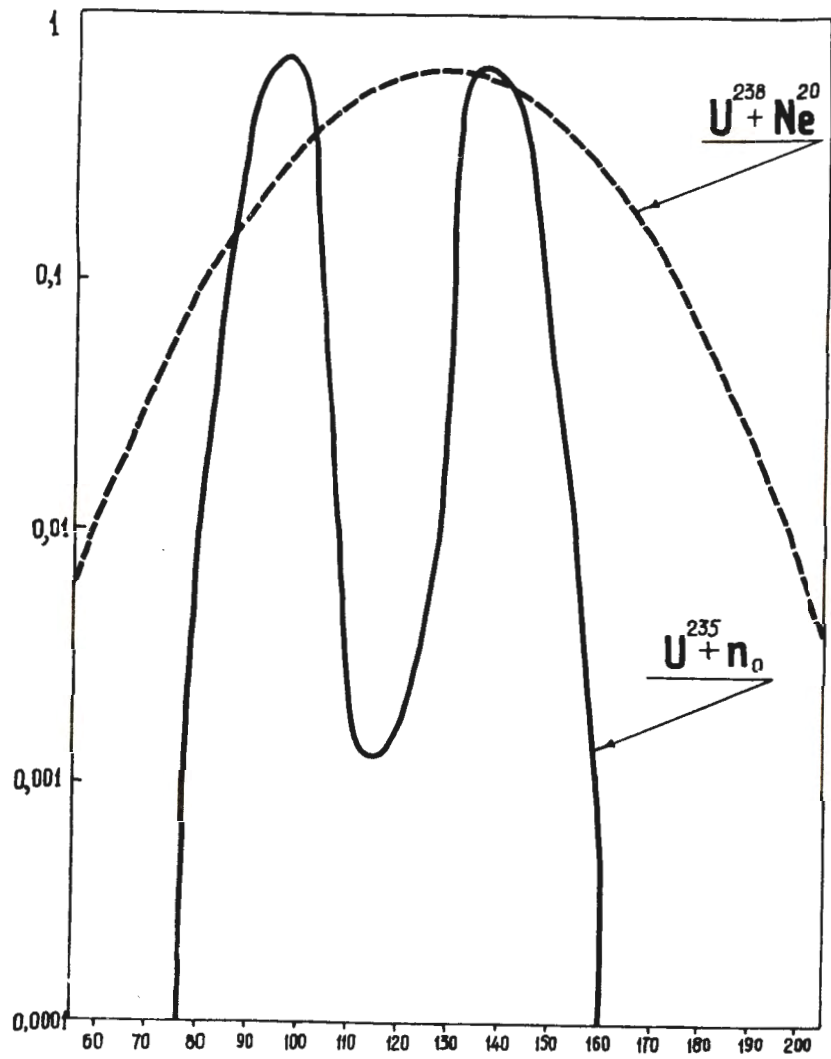


Рис. 3

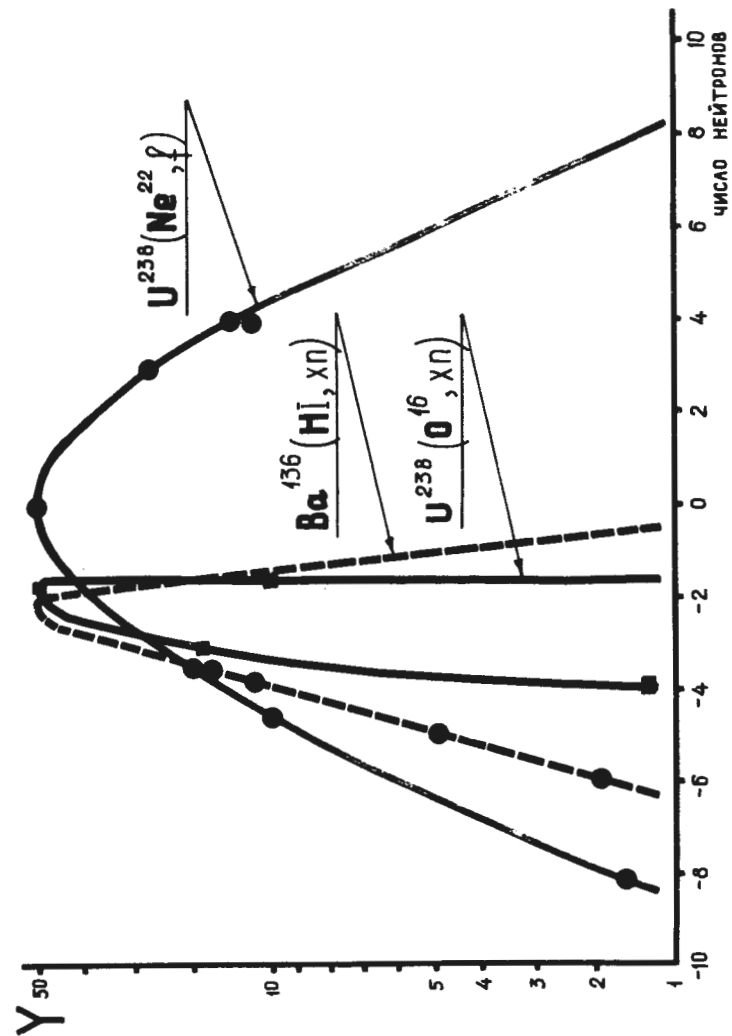


Рис. 4

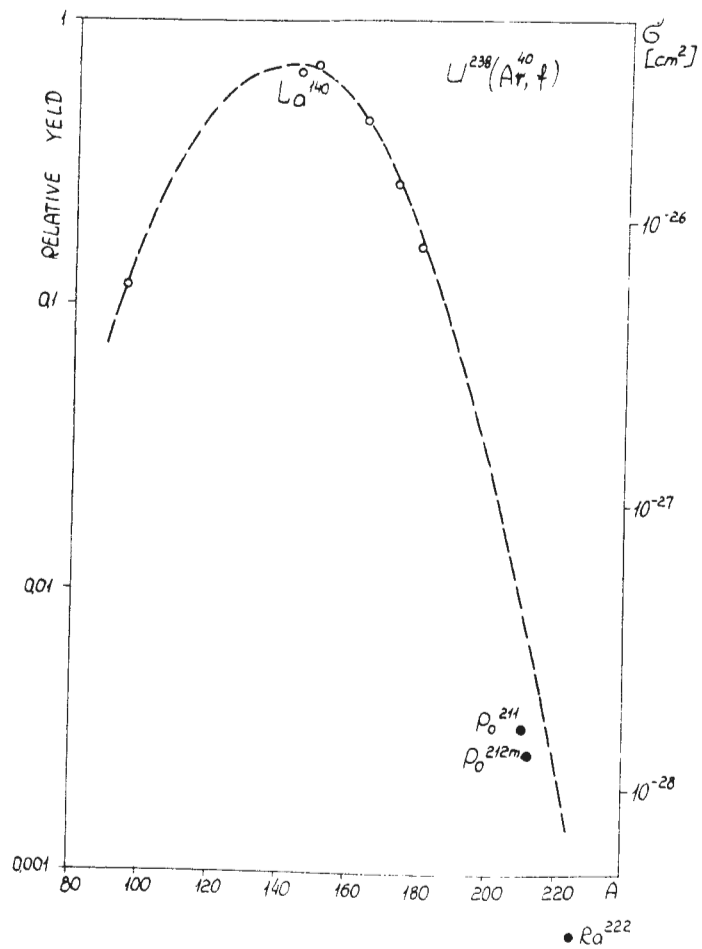


Рис. 5

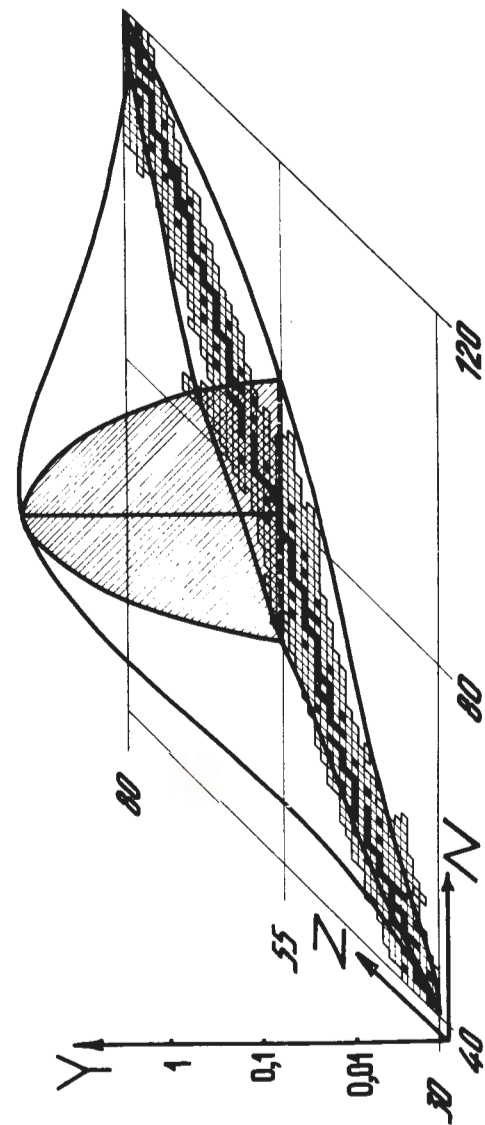


Рис. 6

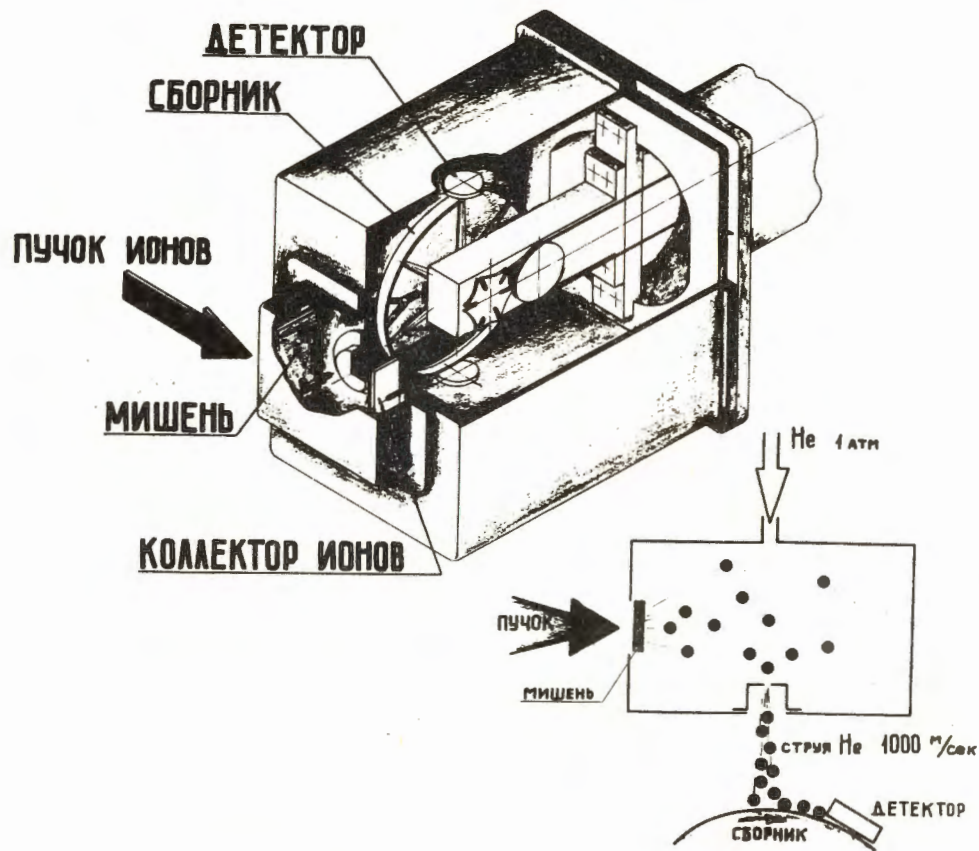


Рис 7