

С 341.2Г

П-672

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

14/8-65

P-2116



Е.Д.Донец, В.А.Шеголев, В.А.Ермаков

СИНТЕЗ ИЗОТОПА 103 ЭЛЕМЕНТА
(ЛОУРЕНСИЯ)
С МАССОВЫМ ЧИСЛОМ 258

*Ат. энергия, 1965, т.19, в.2,
с. 109-113.*

АБСОЛЮТНО НЕВЫХОДЯЩИЙ

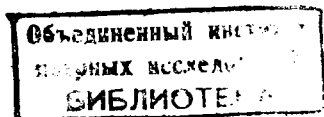
1965

P-2116

Е.Д. Донец, В.А. Шеголев, В.А. Ермаков

СИНТЕЗ ИЗОТОПА 103 ЭЛЕМЕНТА
(ЛОУРЕНСИЯ)
С МАССОВЫМ ЧИСЛОМ 256

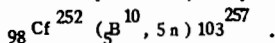
Направлено в журнал "Атомная энергия"



3/72/1 нр.

1. Введение

Первая и единственная работа, посвященная синтезу 103 элемента, была опубликована весной 1961 года^{/1/}. Авторы (А.Гиорсо и др.) сообщили о том, что ими синтезирован изотоп нового 103-го элемента с массовым числом 257. В опытах по облучению мишени, содержащей различные изотопы калифорния, ускоренными ионами бора-10 и -11 была обнаружена α -активность с $E_\alpha = 8,6$ Мэв и периодом полураспада $T_{1/2} = 8$ сек. Используя метод перекрестных реакций, авторы пришли к заключению, что обнаруженная α -активность принадлежит изотопу $^{257}_{103}\text{Bf}$, получающемуся, например, в реакции



Из-за сложного изотопного состава использовавшейся в экспериментах мишени (${}_{98}\text{Cf}^{252} - 50,8\%$, ${}_{98}\text{Cf}^{251} - 12,3\%$, ${}_{98}\text{Cf}^{250} - 32,8\%$, ${}_{98}\text{Cf}^{249} - 3,3\%$) не удалось показать, что функция возбуждения имеет вид испарительной кривой. В связи с этим массовое число синтезированного изотопа - 257 дается как наиболее вероятное.

В честь Е.О. Лоуренса авторы предложили назвать открытый ими 103-й элемент периодической системы лоуренсием.

Настоящая работа посвящена дальнейшему исследованию свойств лоуренсия, в частности, изотопу ${}_{103}\text{Lw}^{256}$.

Изучение закономерностей образования фермия и трансфермиевых элементов, выполненное в нашей работе^{/2/}, позволяло надеяться, что сечение образования ${}_{103}\text{Lw}^{256}$ в ядерной реакции ${}_{95}\text{Am}^{243} + {}_8^0$ имеет величину $(5-10) \cdot 10^{-32}$ см².

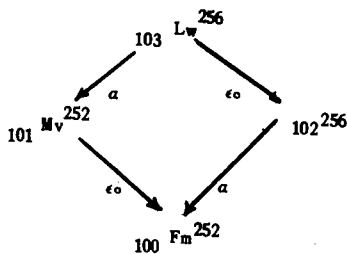
Такое сечение вполне доступно для исследования на внутреннем пучке циклотрона.

II. Экспериментальная часть

1. Методика эксперимента

Регистрация и идентификация изотопа ${}_{103}\text{Lw}^{256}$ производилась с помощью методики, применявшейся при изучении изотопа ${}_{102}\text{Bf}^{256}$ и подробно описанной в нашей работе^{/3/}.

Предполагалось, что изотоп ${}_{103}\text{Lw}^{256}$ испытывает радиоактивный распад либо с испусканием α -частиц, либо с захватом орбитального электрона:



В этом случае устройство (рис. 1), применявшееся для регистрации $^{256}_{103}\text{Lw}$ по $^{252}_{100}\text{Fm}$, работает следующим образом: продукты ядерных реакций ($^{243}_{95}\text{Am}$, $^{18}_8\text{O}$), среди которых имеются ядра $^{256}_{103}\text{Lw}$, выбиваются из мишени за счет импульса налетающих частиц в замкнутый объем, тормозятся в газе и диффундируют на стенки, ограничивающие объем. Ядра, адсорбированные на поверхности кольцевого углубления, при вращении диска переносятся из зоны облучения в зону собирания ядер отдачи после α -распада. Здесь ионизованные в момент распада продукты α -распада осаждаются отрицательным напряжением (-25 в) на сборник.

Таким образом, обнаружение на сборнике ядер $^{252}_{100}\text{Fm}$ свидетельствует о синтезе $^{256}_{103}\text{Lw}$ в ядерной реакции и распадающегося по выше изображенной схеме. Естественно, что другие возможности попадания $^{252}_{100}\text{Fm}$ на сборник должны быть исключены.

Из распределения активности $^{252}_{100}\text{Fm}$ на сборнике и скорости вращения диска можно определить период полураспада $^{256}_{103}\text{Lw}$.

Фермий, накапливавшийся на сборнике, химически выделялся с применением ионообменных методов. Альфа-активность фермиевой фракции измерялась на α -спектрометре. В качестве датчика в α -спектрометре использовались поверхностно-барьерные Au-Si детекторы. Применялись спектрометры, обладающие достаточно хорошим энергетическим разрешением - 60 кэв и чрезвычайно низким уровнем фона.

2. Эксперименты по синтезу изотопа $^{256}_{103}\text{Lw}$

Опыты по синтезу изотопа $^{256}_{103}\text{Lw}$ представляли собой продолжительные (8-12 часов) облучения мишени из $^{243}_{95}\text{Am}$ пучком ускоренных ионов $^{18}_8\text{O}$ с одновременным накоплением на сборнике продуктов радиоактивного распада. Суммарный поток ионов в каждом облучении составлял 15-25 мка.час, измеренный по восьмизарядным ионам $^{18}_8\text{O}$.

Было обнаружено, что на сборнике в процессе облучения накапливается то или иное количество атомов $^{252}_{100}\text{Fm}$, которое зависит от интенсивности облучения и энергии бомбардирующих ионов $^{18}_8\text{O}$. На рис. 2 представлен α -спектр продуктов

фермиевой фракции, накопленных на сборнике в процессе одного из облучений при энергии ионов 80^{18} , равной 97 Мэв (лаб. сист.).

Было установлено, что α -активность с $E = 7,04$ Мэв распадается с периодом $T_{1/2}$ около 25 часов. Принадлежность к фермиевой фракции и свойства радиоактивного распада показывают, что на сборнике действительно накапливается 100 Fm^{252} .

Однако этот факт является лишь необходимым условием, которое должно выполняться, если синтезируется изотоп 103 Lw^{256} , но отнюдь не достаточным. С необходимостью должно выполняться и другое условие, а именно: если в реакции ${}_{95}\text{Am}^{234}({}_8\text{O}^{18}, 5n){}_{103}\text{Lw}^{256}$ синтезируется этот изотоп, то зависимость сечения его образования от энергии бомбардирующих ионов должна иметь вид кривой с максимумом в районе энергий на 5-7 Мэв выше кулоновского барьера и полушириной 8-10 Мэв, как это имеет место для всех известных случаев при синтезе трансурановых элементов^{/2/}. Поэтому были выполнены эксперименты по определению вида зависимости выхода 100 Fm^{252} на сборнике от энергии ионов 80^{18} .

Результаты экспериментов представлены на рис. 3. Оказалось, что кривая имеет типично "испарительный" вид с полушириной ~9 Мэв и максимумом при 98 Мэв. Это обстоятельство дало основание предположить, что 100 Fm^{252} действительно появляется на сборнике как продукт распада 103 Lw^{256} . С учетом эффективности аппаратуры сечение его образования достигает в максимуме $6 \cdot 10^{-32} \text{ см}^2$. Это значение находится в хорошем соответствии с тем, что можно было ожидать для этой реакции из экстраполяции по известным данным^{/2/}.

Однако, чтобы сделать однозначный вывод о синтезе 103 Lw^{256} , необходимо исключить все другие возможности.

3. Измерение периода полураспада^а и контрольные опыты

а) Возможно, что 100 Fm^{252} попадает на сборник как продукт α -распада 102^{258} , получающегося в реакции ${}_{95}\text{Am}^{243}({}_8\text{O}^{18}, 4n){}_{102}^{256}$. Известно, что сечения реакций с испарением протонов в области трансфермиевых элементов очень малы^{/4/} и максимумы их сдвинуты в область высоких энергий возбуждения. Однако нам казалось, что требуется однозначное экспериментальное доказательство, исключающее эту возможность. Таким доказательством могло быть и явилось обнаружение значительной разницы в периодах полураспада 102^{256} (8 сек) и 103 Lw^{256} .

Измерение периода полураспада производилось следующим образом. Скорость вращения диска менялась в каждом опыте. После облучения сборник разрезался на 2 половины. Число ядер 100 Fm^{252} , зарегистрированное на ближней к мишени половине (по направлению вращения диска), принималось за единицу и относилось к начальному момен-

ту времени. Число ядер $^{100}\text{Fm}^{252}$, зарегистрированное на дальней половине, было равно определенной доле единицы и относилось к моменту времени, зависящему от скорости вращения.

Результаты эксперимента по измерению периода полураспада $^{103}\text{Lw}^{256}$ представлены на рис. 4. Период оказался близким к 45 сек, что значительно отличается от 8 сек.

б) Возможно, что $^{100}\text{Fm}^{252}$ попадает на сборник в процессе распада $^{101}\text{Mv}^{252}$, получающегося в реакции $^{95}\text{Am}^{243}(\alpha, n)^{101}\text{Mv}^{252}$. Однако в работе ^{/2/} мы показали, что изотоп $^{101}\text{Mv}^{252}$ испытывает электронный захват и превращается в $^{100}\text{Fm}^{252}$ с периодом полураспада $T_{1/2} = 8$ мин. Это значение резко отличается от периода полураспада $^{103}\text{Lw}^{256}$, равного 45 сек. Кроме того следует заметить, что реакция типа (α, n) имеет функцию возбуждения, заметно отличную от функции возбуждения (α, p) ; она значительно шире и максимум ее сдвинут в область более высоких энергий.

Несмотря на отмеченную выше разницу в периодах полураспада и видах функций возбуждения эта возможность была исключена постановкой еще одного эксперимента, поскольку было известно ^{/2/}, что на сборник могут собираться продукты электронного захвата. Эксперимент показал, что эффективность собирания в результате распада, дающего на сборнике $^{100}\text{Fm}^{252}$, при синтезе $^{103}\text{Lw}^{256}$ составляет 100%. Такая эффективность собирания соответствует α -распаду. В то же время было показано, что собирание $^{100}\text{Fm}^{252}$ при электронном захвате $^{101}\text{Mv}^{252}$ не превышает 15%. В этом случае $^{101}\text{Mv}^{252}$ получался в реакции $^{92}\text{U}^{238}(\alpha, n)^{101}\text{Mv}^{252}$.

в) Наконец, непосредственное попадание на сборник продуктов ядерных реакций, среди которых мог быть и $^{100}\text{Fm}^{252}$, исключено, так как система экранов (рис. 1) надежно защищала область мишени от области собирания дочерних продуктов. Экспериментально было показано в реакции $^{92}\text{U}^{238}(\alpha, n)^{100}\text{Fm}^{250}$, что на сборник попадает менее 0,1% всех ядер $^{100}\text{Fm}^{250}$, получившихся в реакции. В то же время в опытах по синтезу $^{103}\text{Lw}^{256}$ количество $^{100}\text{Fm}^{252}$ на сборнике составляло ~20% от всего количества ядер $^{100}\text{Fm}^{252}$, получившихся в результате облучения. Эта цифра хорошо соответствует тому, что практически весь $^{100}\text{Fm}^{252}$, возникающий при облучении $^{95}\text{Am}^{243}$ ионами $^8\text{O}^{18}$ при энергии 87 Мэв, является результатом распада $^{103}\text{Lw}^{256}$.

Таким образом однозначно можно утверждать, что в реакции $^{95}\text{Am}^{243}(\alpha, n)^{103}\text{Lw}^{256}$ синтезирована изотоп $^{103}\text{Lw}^{256}$, имеющий период полураспада ~45 сек. Сечение образования этого изотопа в максимуме достигает $6 \cdot 10^{-32}$ см².

Одновременно были получены данные о том, что в реакции $^{95}\text{Am}^{243}(\alpha, n)^{101}\text{Mv}^{254}$ образуется изотоп $^{101}\text{Mv}^{254}$, который испытывает электронный захват с периодом $T_{1/2} > 2$ мин.

III. Обсуждение результатов

1. Радиоактивные свойства $^{103}_{54}\text{Lw}^{256}$.

На основе экспериментальных данных нельзя точно сказать, каковы парциальные периоды для α -распада и электронного захвата изотопа $^{103}_{54}\text{Lw}^{256}$ при общем периоде полураспада 45 сек.

Теоретические оценки дают для электронного захвата $T_{1/2} = 5$ мин, а для α -распада $T_{1/2} = 2$ сек (без запрета).

По-видимому, в основном $^{103}_{54}\text{Lw}^{256}$ распадается с испусканием α -частиц и в небольшой доле случаев испытывает электронный захват. В этом случае коэффициент запрета для α -распада имеет величину ~ 30 .

2. Сечение реакции $^{95}_{47}\text{Am}^{243} (^8_{0}\text{O}^{18}, \text{Sn}) ^{103}_{54}\text{Lw}^{256}$.

Расчет энергетических характеристик реакции $^{95}_{47}\text{Am}^{243} (^8_{0}\text{O}^{18}, \text{Sn}) ^{103}_{54}\text{Lw}^{256}$ показывает, что максимум вероятности испарения 5 нейтронов из составного ядра достигается при энергиях, на 5-7 Мэв превышающих кулоновский барьер системы $^{95}_{47}\text{Am}^{243} + ^8_{0}\text{O}^{18}$. Этим объясняется положение максимума сечения образования $^{103}_{54}\text{Lw}^{256}$ на энергетической оси (значение $E_{\text{г}0}^{18} = 98$ Мэв достаточно хорошо согласуется с расчетной величиной).

Значение $\sigma_{\text{вн}} = 6 \cdot 10^{-32} \text{ см}^2$ дает величину для среднего по испарительному каскаду отношения вероятности испарения нейтрона к вероятности деления $\overline{\Gamma_n / \Gamma_f} = 0,053$. Это значение $\overline{\Gamma_n / \Gamma_f}$ хорошо согласуется с экстраполяционным для этой реакции, полученным в работе ^{/2/}.

Это согласие дает нам надежду на то, что теперь имеется возможность предсказать значение максимумов сечений реакций с образованием изотопов 104-го ($\sigma_{\text{вн}} = 1 \cdot 2 \cdot 10^{-32} \text{ см}^2$) и 105-го ($\sigma_{\text{вн}} = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-33} \text{ см}^2$) элементов, если они участвуют в реакциях с испарением 5 нейтронов. Оказывается, что эти сечения мало зависят от выбора мишеней и частиц, имеющихся в настоящее время.

По-прежнему ^{/2/} вопрос о сечениях реакций с испарением 4 нейтронов остается менее определенным.

В заключение мы считаем своим долгом выразить благодарность члену-корреспонденту АН СССР Г.Н.Флерову за интерес к работе и предоставление возможности для ее выполнения.

Мы благодарны А.Н.Филипсону и руководимой им группе, обеспечившим безотказную работу циклотрона в период проведения экспериментов.

Нам очень приятно выразить благодарность Л.Кумпф и А.М.Сухову за разработку высокостабильной бесфоновой электронной аппаратуры; А.Г.Пилькову за создание и наладку механической части экспериментального оборудования, Э.З.Рындиной и В.Ф.Кушнрику за разработку и изготовление высококачественных полупроводниковых детекторов.

Мы весьма признательны В.И.Кузнецову, А.Г.Козлову и А.П.Смирнову-Аверину, работы которых во многом способствовали эффективному проведению эксперимента.

Л и т е р а т у р а

1. A.Ghiorso et al. Phys. Rev. Lett, 6, No. 9, 473 (1961).
2. Е.Д.Донец, В.А.Шеголев, В.А.Ермаков. Препринт ОИЯИ, Р-2114, Дубна, 1965.
3. Е.Д.Донец, В.А.Шеголев, В.А.Ермаков. Атомная энергия, 18, 195 (1964).
4. В.А.Друин. Препринт ОИЯИ Р-874, Дубна (1962).

Рукопись поступила в издательский отдел
14 апреля 1965 г.

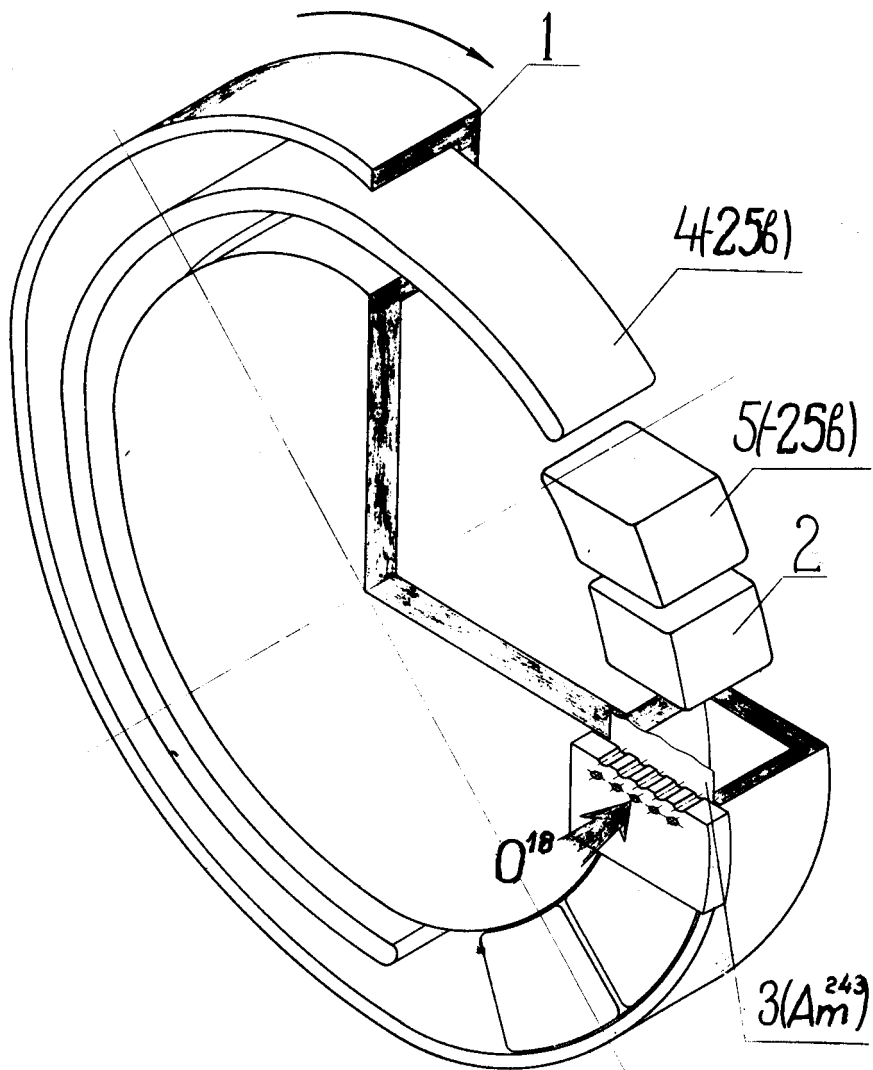


Рис. 1. Схема устройства для синтеза изотопа $^{103}\text{Lw}^{256}$ и накопления продукта его распада $^{100}\text{Fm}^{252}$.

- (1) - медный диск с кольцевым углублением на периферии.
- (2) - механические пробки, ограничивающие объем для собирания продуктов ядерных реакций.
- (3) - мишень из $^{95}\text{Am}^{243}$ на подложке из алюминиевой фольги.
- (4) - сборник продуктов распада.
- (5) - "электрические пробки" для предохранения сборника от попадания на него продуктов ядерных реакций.

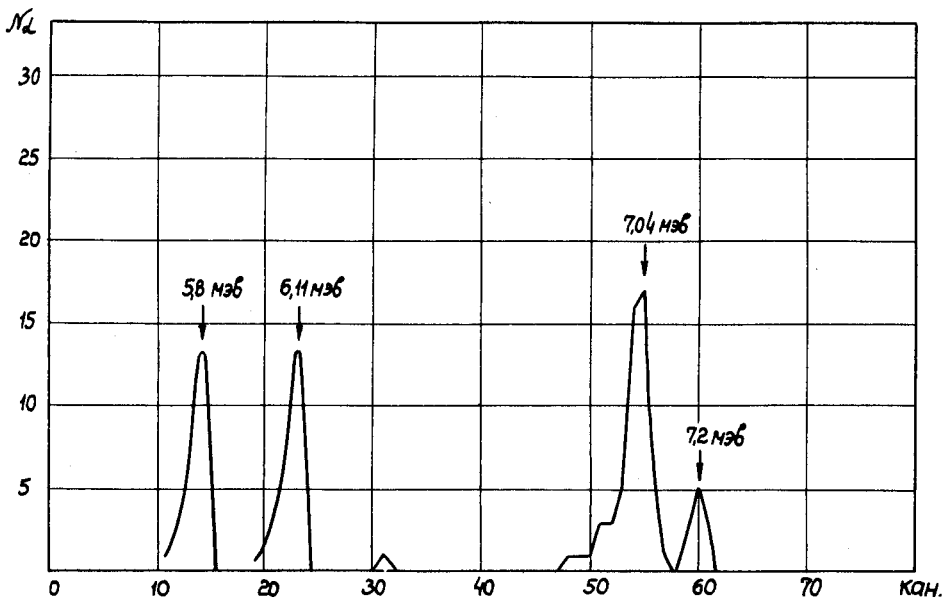


Рис. 2. Альфа-спектр фермиевой фракции продуктов, накопленных на сборнике в процессе облучения ${}_{95}\text{Am}^{243} + {}_8\text{O}^{18}$ при $E_{{}_8\text{O}^{18}} = 97$ МэВ (лаб. сист.). Кроме линий $E_{\alpha} = 7,04$ МэВ (${}_{100}\text{Fm}^{252}$ - продукт распада ${}_{103}\text{Lw}^{256}$) и $E_{\alpha} = 7,2$ МэВ (${}_{100}\text{Fm}^{254}$ - продукт распада ${}_{101}\text{Mv}^{254}$), даны калибровочные линии ${}_{96}\text{Cm}^{244}$ и ${}_{96}\text{Cm}^{242}$.

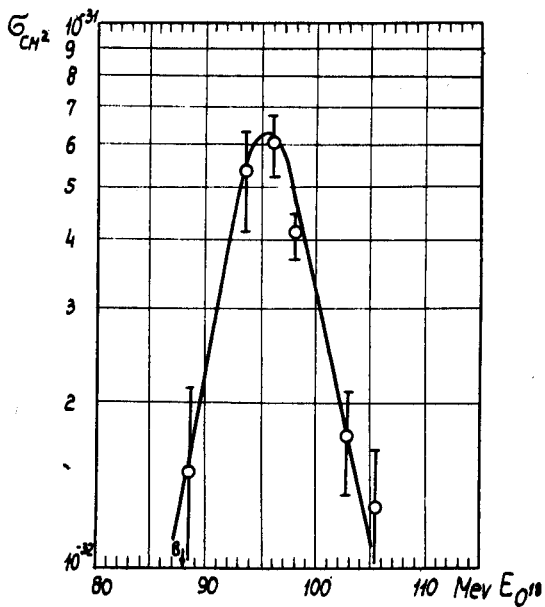


Рис. 3. Энергетическая зависимость сечения образования $^{103}\text{Lw}^{256}$ в реакции $^{95}\text{Am}^{243} + ^8\text{O}^{18}$ (получена по продукту распада изотопу $^{100}\text{Fm}^{252}$).

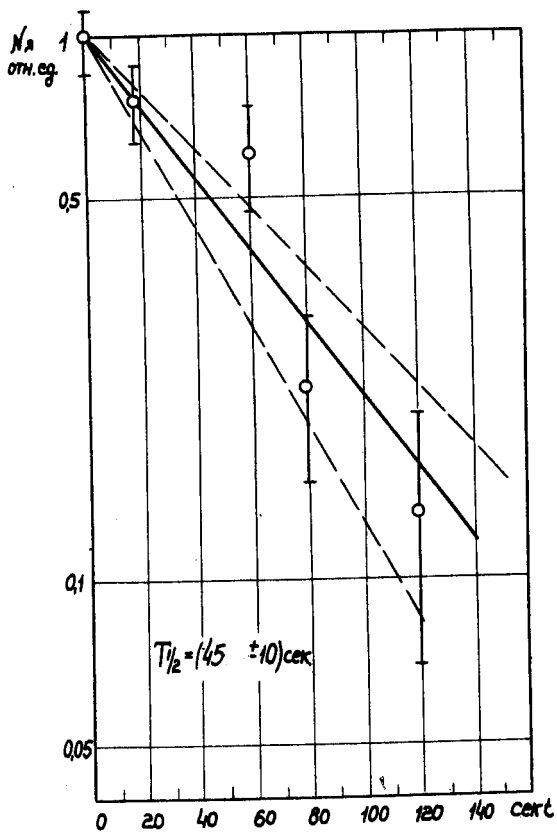


Рис. 4. Результаты экспериментов по измерению периода
 полураспада изотопа $^{256}_{103}\text{Lw}$.

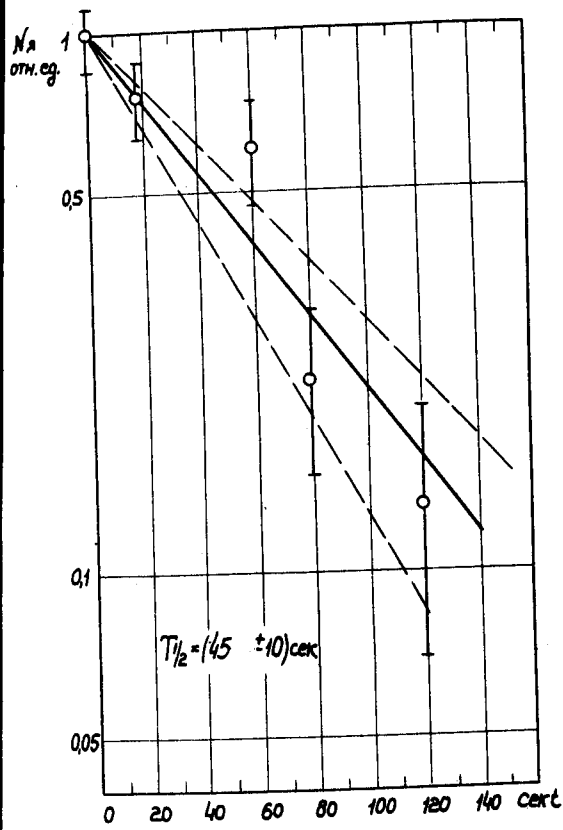


Рис. 4. Результаты экспериментов по измерению периода полураспада изотопа ${}_{103}\text{Lw}^{256}$.