

1042

~~1042~~ ✓

10
К 241



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

В.А. Карнаухов, Г.М. Тер-Акопян, В.Г. Субботин

P-1072

**ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ОБНАРУЖЕНИЮ
ПРОТОННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ ЯДЕР**

Дубна 1962 год

В.А. Карнаухов, Г.М. Тер-Акопьян, В.Г. Субботин

P-1072

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ОБНАРУЖЕНИЮ
ПРОТОННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ ЯДЕР

1578/3 48

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1982 год

А н н о т а ц и я

Описываются эксперименты по поискам протонной радиоактивности ядер. На внутреннем пучке 300-см циклотрона облучалась мишень из Ni ионами Ne^{20} с энергией 130 Мэв. Для регистрации распада ядер использовался телескоп из двух пропорциональных счетчиков. Полученные результаты позволяют сделать вывод об образовании радиоактивных ядер, испускающих при распаде протоны.

1. Все известные в настоящее время ядра имеют положительную энергию связи протонов и поэтому устойчивы по отношению к протонному распаду. Однако зависимость величины ядерных сил от изотопического числа и увеличение относительной роли кулоновского отталкивания при уменьшении числа нейтронов приводит к тому, что энергия связи последнего протона уменьшается при обеднении ядра нейтронами. В конечном счете появляется энергетическая возможность протонного распада. Вопрос о возможности протонного распада обсуждался в нескольких работах ^{/1-6/}. В результате было предположено существование трех разновидностей протонной радиоактивности ядер:

- а/ протонного распада из основного состояния ядра;
- б/ протонного распада возбужденного продукта β^+ -распада;
- в/ двупротонного распада.

В работе ^{/1/} для $Z \leq 20$ оценивалось, какие ядра должны быть нестабильны в отношении испускания протона. Кроме того, сделана попытка предсказать вероятность наблюдения протонной радиоактивности. В работах ^{/2-3/} определена граница протонной нестабильности в широком диапазоне ядер, рассчитаны времена жизни относительно протонного распада, обсуждена возможность протонного распада из возбужденных состояний, оценены сечения необходимых для получения таких ядер реакций. Первое указание на возможность одновременного испускания двух протонов из нейтронодефицитных ядер содержится в работе ^{/4/}. Работы ^{/5, 6/} посвящены детальному теоретическому обоснованию возможности существования двупротонной радиоактивности. В этих работах рассмотрены некоторые особенности этого типа распада, определена область ядер, в которой следует его искать, оценены сечения соответствующих реакций.

Настоящая работа описывает первую попытку экспериментального обнаружения протонной радиоактивности ядер.

2. Эксперименты проводились на внутреннем пучке циклотрона тяжелых ионов ОИЯИ. Мишень из никеля облучалась ионами Ne^{20} с энергией ~ 130 Мэв. Такая комбинация мишень - ион была выбрана нами на основании оценок в ^{/2-3/}. На рис. 1 схематически показано устройство, которое помещалось между дуантами циклотрона. Пучок попадал на мишень из никеля толщиной 3 микрона, позади мишени находился сборник ядер отдачи /никелевая фольга толщиной 2 мк /. Коллектор ионов, соединенный с измерителем тока, позволял следить за интенсивностью пучка во время облучения. Все это устройство помещалось внутри охлаждаемого водой вакуумного кожуха, входное окно которого заклеивалось алюминиевой фольгой /7 мк /. Внутренний объем кожуха заполнялся гелием, который улучшал охлаждение мишени, сборника и коллектора.

В качестве детектора излучения использовался телескоп из двух пропорциональных счетчиков - плоского /толщина рабочего объема 1 см/ и цилиндрического /диаметром 10 см/. Применение такого телескопа дает возможность одновременно измерять энергию частицы и плотность ионизации и, следовательно, устанавливать заряд частицы. Это было необходимо,

так как априори нельзя исключить существование неизвестных α -излучателей в середине таблицы элементов, а также наличия примесей тяжелых элементов / Bi , Pb / в никеле, которые под действием Ne^{20} могут дать α -активные изотопы. Таким образом, назначение телескопа - отделить протоны от α -частиц. Объем счетчиков был вакуумно изолирован, входное окно заклеивалось алюминиевой фольгой /7 мк/. Счетчики наполнялись смесью Ar /95%/ + CH_4 /5%/. В условиях "хорошей" геометрии удавалось получить энергетическое разрешение $\sim 3\%$ для α -излучения Am^{241} . В рабочих условиях разрешение было существенно хуже. Размеры входного окна и сборника были выбраны большими, чтобы получить максимальную эффективность. Поэтому для энергичных частиц /например, протонов с энергией более 2 Мэв/, не останавливающихся в круглом счетчике, потери энергии в рабочем объеме имели большой разброс по величине. Помещение счетчиков в магнитное поле циклотрона приводит к появлению "хвоста" в области малых амплитуд импульсов. Это, вероятно, связано с увеличением времени собирания электронов и возрастанием вероятности рекомбинации. На рис. 2 показаны для примера спектры α -частиц, полученные с используемыми счетчиками.

Наличие магнитного поля приводит еще к одному неприятному последствию: сильно возрастает фон от β -частиц. Ионизация, производимая электронами в счетчиках вне магнитного поля пренебрежимо мала. Однако в магнитном поле электроны движутся по спиральным траекториям, и значительная часть их пробега может уложиться в рабочем объеме счетчиков. Нам удалось снизить β -фон, сместив окно счетчика относительно мишени по горизонтали.

Для измерения пробега частиц, регистрируемых телескопом, перед входным окном помещались алюминиевые поглотители, укрепленные на подвижной рамке. Калибровка счетчиков производилась периодически в рабочих условиях с помощью α -частиц Pu^{238} , препарат которого также помещен на подвижную рамку. Блок-схема аппаратуры изображена на рис. 3. Импульсы от счетчиков через катодные повторители поступали на предусилители и далее на основные усилители. Импульс с плоского счетчика после усиления поступал на вход дифференциального дискриминатора. Выходной импульс с этого дискриминатора разрешал прохождение импульса с круглого счетчика через линейные ворота на многоканальный амплитудный анализатор. Катодные повторители были смонтированы в непосредственной близости от счетчиков и работали в магнитном поле циклотрона. В основных усилителях импульсы со счетчиков формировались на длинных линиях / ~ 2 мксек/. Ширина канала дифференциального дискриминатора могла изменяться ступенчато от 0,5 до 20 вольт. Дискриминатор имел два выхода - дифференциальный и интегральный. Это позволяло одновременно получать два спектра импульсов с круглого счетчика: первый - соответствующий импульсам в плоском счетчике выше некоторого порога V , второй - соответствующий импульсам с плоского счетчика в интервале от V до $V + \Delta V$. В рабочих условиях $V = 6$ вольт, $\Delta V = 20$ вольт; при этом регистрировались частицы с удельной ионизацией примерно в 20 раз меньшей, чем у α -частиц с энергией 4 Мэв.

Для регистрации распадов короткоживущих продуктов реакций высокочастотное напряжение на дуанты циклотрона включалось прерывисто на 0,1 сек с периодом 0,4 сек. Запись на многоканальный анализатор начиналась через 0,1 сек после выключения напряжения ВЧ; это достигалось с помощью схемы блокировки /см. рис. 3/.

8. На рис. 4 изображены спектры импульсов в круглом счетчике, полученные при облучении мишени из никеля пучком ионов Ne^{20} . Линейные ворота управлялись импульсами с интегрального выхода дискриминатора. Из рисунка видно, что при отсутствии поглотителя перед окном счетчиков регистрируются заряженные частицы, которые оставляют в круглом счетчике энергию от 1 до 6 Мэв и практически полностью поглощаются в алюминиевой фольге толщиной 100 мк. При энергии менее 0,8 Мэв сильно возрастает β -фон. На рис. 5 изображен тот же спектр, а также соответствующий ему спектр, полученный при управлении линейных ворот импульсами с дифференциального выхода дискриминатора. На рис. 6 показаны аналогичные спектры, полученные с поглотителем 20 мк алюминия, помещенным перед входным окном счетчиков.

Суммарные эффекты для энергии выше 0,8 Мэв при одинаковом интегральном потоке ионов Ne^{20} сведены в таблицу. В первой колонке обозначена сумма толщин поглотителя и входной фольги счетчиков с учетом смещения входного окна относительно мишени и сборника. Во второй и третьей колонках приведен суммарный эффект в круглом счетчике, соответствующий в плоском счетчике импульсам с амплитудой более 6 вольт и с амплитудой от 6 до 26 вольт. В нижней строке таблицы приводятся те же данные, полученные в рабочих условиях для калибровочных α -частиц с энергией 4 Мэв.

Из приведенных результатов видно, что нами регистрировались заряженные частицы с удельной ионизацией существенно меньшей, чем у α -частиц с энергией 4 Мэв. Этот вывод подтверждается цифрами из четвертой колонки таблицы. Кроме того, большая часть частиц не поглощается в алюминии толщиной 40 мк. За этим поглотителем их удельная ионизация не возрастает заметно.

Мы предполагаем, что основная часть регистрируемых частиц — протоны, возникающие при распаде продуктов реакций. Время жизни этих излучателей порядка 0,1 сек или больше. Энергия протонов, регистрируемых с поглотителем Al 40 мк, заключена в интервале /3-4,5/ Мэв. Возможно присутствие и менее энергичных протонов, не проникающих через 40 мк алюминия.

В другом опыте ионами Ne^{20} облучалась танталовая мишень; сборник и коллектор тока также были сделаны из тантала. Спектр регистрируемых частиц, а также их выход мало отличается от того, что было получено при облучении никеля.

Для контрольного опыта ионами Ne^{20} облучалась "толстая" мишень из Ni, так что на танталовый сборник и коллектор попадали ионы с энергией ниже кулоновского барьера. Таким образом, существенную роль играли лишь ядерные реакции на мишени (никель). Мишень помещалась в толстую медную кассету с отверстиями для пучка и не была видна со стороны входного окна счетчиков. В этом опыте могли быть зарегистрированы лишь частицы, возникающие в результате радиоактивного распада длиннопробежных продуктов ядерных реакций Ne^{20} на никеле, а фоновые явления, возможные в других опытах, должны были отсутствовать. Результаты опыта как по спектрам, так и по выходам совпали с предыдущими. Это позволяет сделать вывод, что, во-первых, регистрируемые нами импульсы не обусловлены каким-либо фоновым явлением, во-вторых, эффект на никеле слабо зависит от энергии ионов Ne^{20} .

При облучении мишеней из Ni ионами Ne^{20} ядра, близкие к границе протонной нестабильности, могут образоваться в ряде реакций типа $Ni(Ne^{20}, xn)$, $Ni(Ne^{20}, \alpha xn)$, а также в реакциях передачи. По-видимому, значительная доля наблюдаемого эффекта обусловлена протонным распадом длиннопробежных ядер, образующихся при реакциях передачи. Этим объясняется слабая зависимость эффекта от вещества мишени и от энергии ионов Ne^{20} . Судя по энергии протонов и сравнительно большому периоду полураспада, нам представляется, что наблюдаемые протоны испускаются ядром, образующимся после β^+ - распада материнского ядра. Однако, нельзя полностью исключить и два других вида протонного распада.

Изложенные результаты носят предварительный характер. Нами продолжаются работы по уточнению периода полураспада и энергии протонов, а также по определению изотопа, испускающего протоны.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность члену-корреспонденту АН СССР Г.Н. Флерову за руководство работой.

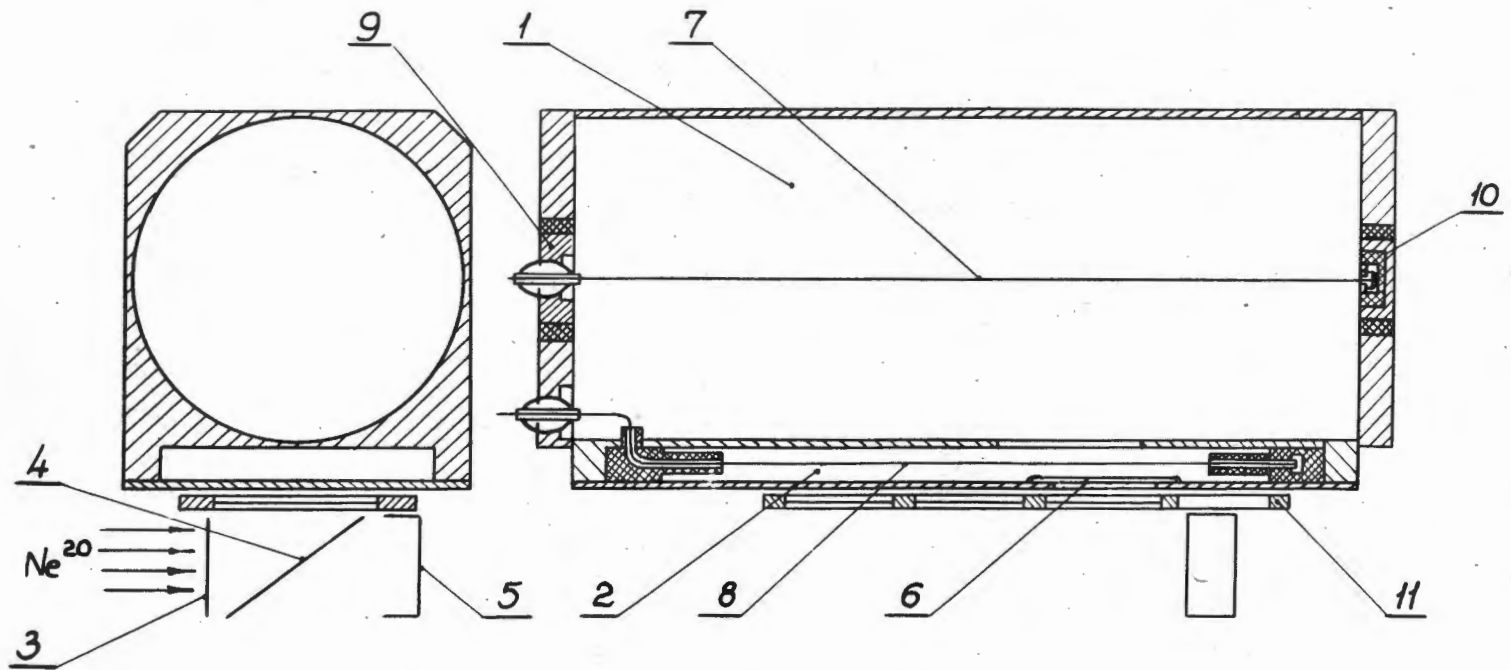
Л и т е р а т у р а

1. Б.С. Джелепов. Известия АН СССР, сер. физич., 15, 498, /1951/.
2. В.А. Карнауков. Сборник "Материалы конференции по ядерным реакциям с многозарядными ионами, март 1958 г., Дубна", 1959 г. стр. 71.
3. В.А. Карнауков, Н.И. Тарантин. ЖЭТФ, 39, 1106, /1960/.
4. Я.Б. Зельдович. ЖЭТФ, 38, 1123 /1960 г./
5. В.И. Гольданский ЖЭТФ, 39, 497 /1960/.
6. В.И. Гольданский. Nuclear Physics , 27, 648 /1961 г./.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 августа 1962 г.

Таблица

Поглотитель м Ас	I	II	I/II
	V = 66	$\Delta V = 206$	
10	331	95	3,5
40	229	72	32
150	20	10	—
калибровоч- ные α -частицы 4 мэв	1327	50	26

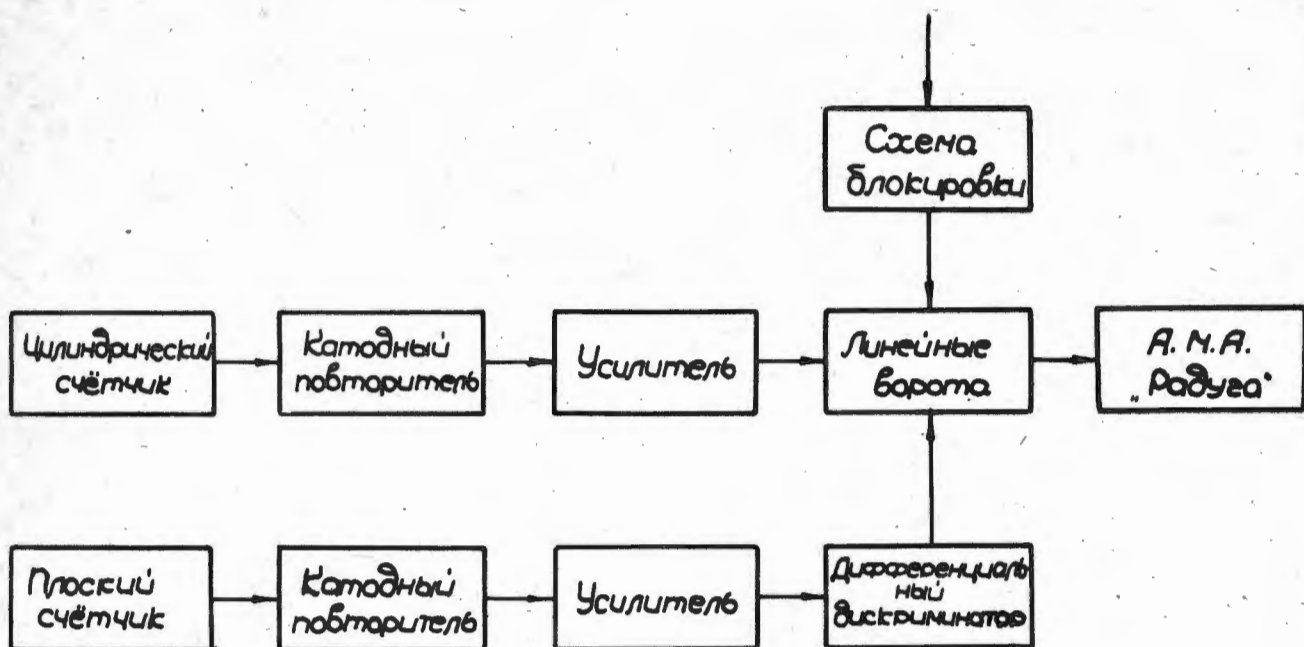


- 1. Цилиндрический счётчик
- 2. Плоский счётчик
- 3. Мишень
- 4. Сборник ядер отдачи
- 5. Коллектор тока
- 6. Входное окно телескопа (заклеено фольгой)

- 7,8. Нити цилиндрического и плоского счётчиков
- 9,10. Охранные кольца
- 11. Подвижная рамка с поглотителями.

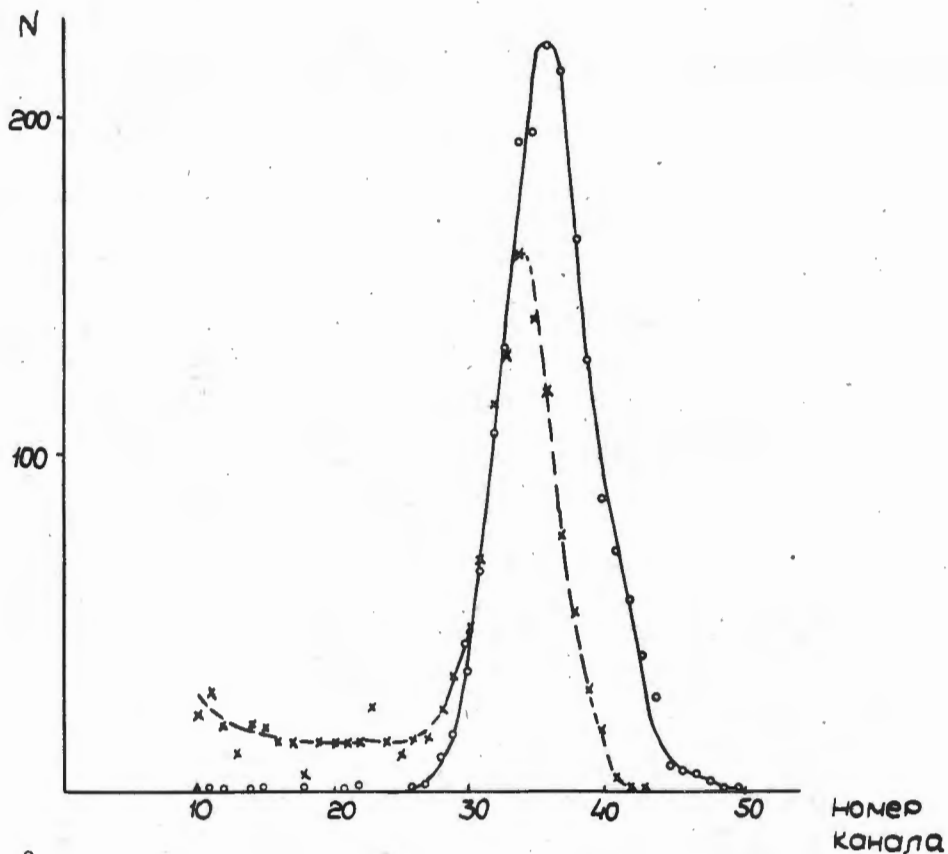
Р и с. 1.

Схема физической аппаратуры.



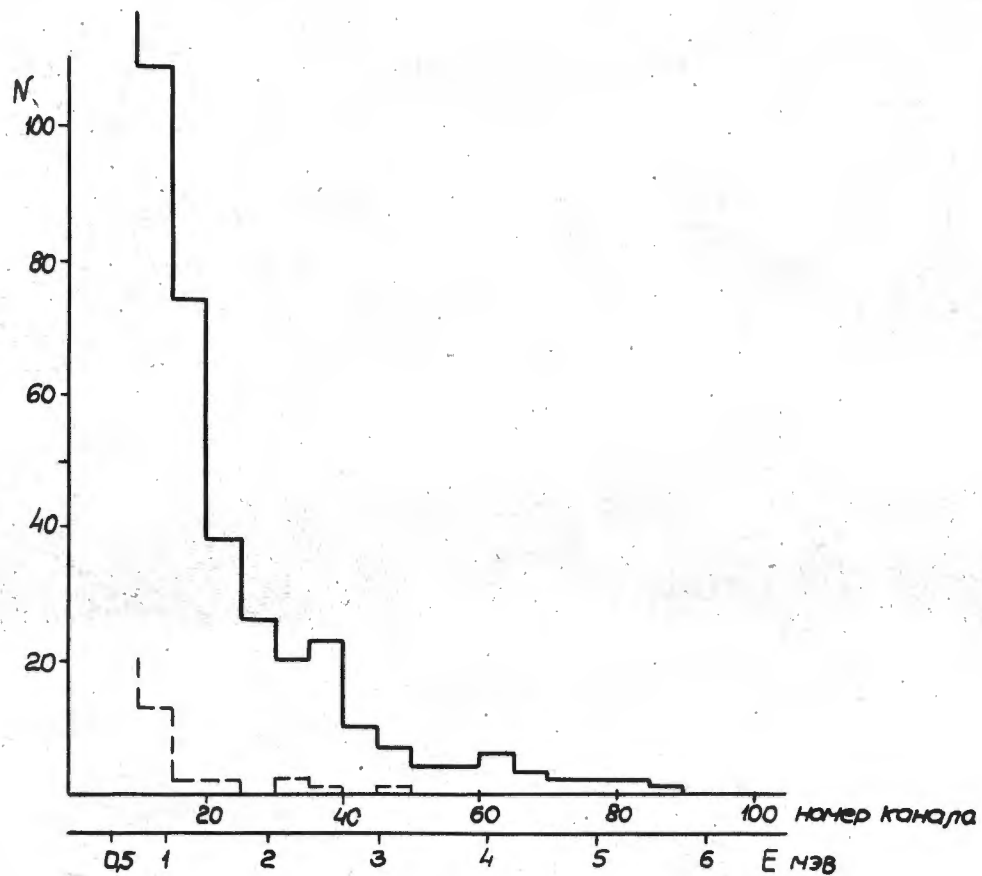
Р и с. 2.

Блок-схема радиотехнической аппаратуры.



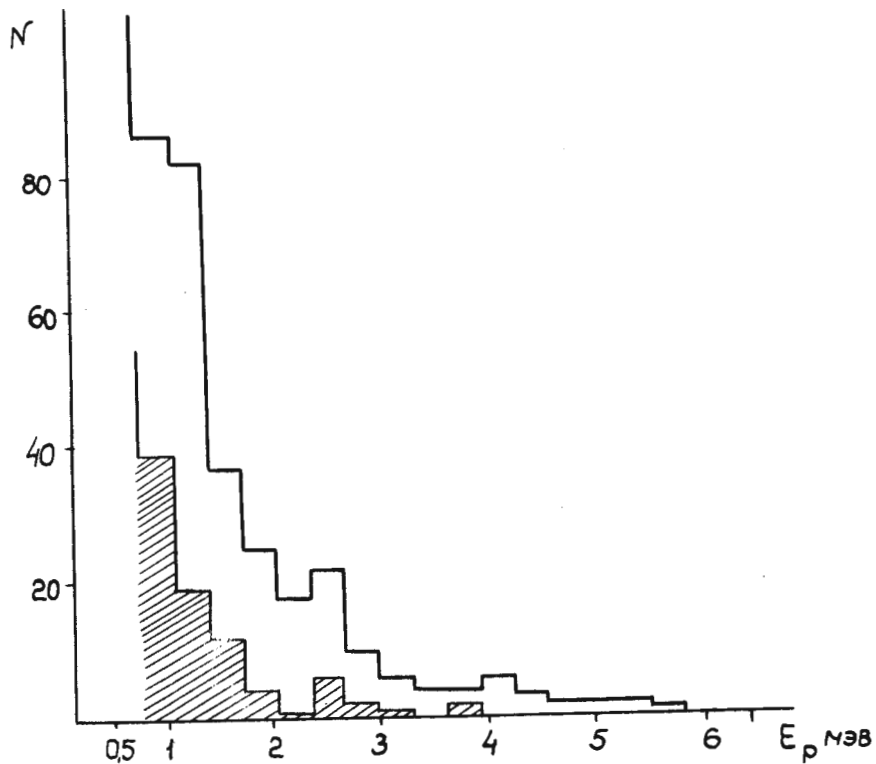
Р и с. 3.

Спектры импульсов в цилиндрическом счетчике для коливровочных α -частиц с энергией 4 Мэв. Сплошной кривой изображен спектр вне магнитного поля, пунктирной прямой показан тот же спектр, полученный при помещении счетчика в магнитное поле циклотрона.



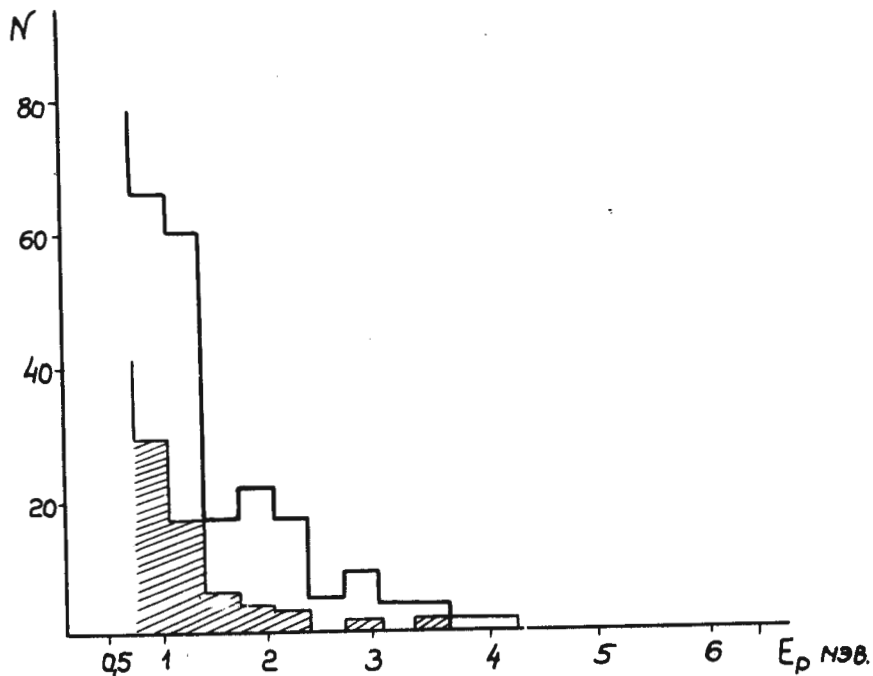
Р и с. 4.

Спектры импульсов в цилиндрическом счетчике, полученные при облучении мишени из никеля толщиной 3 микрона ионами неон-20. Сплошной линией указан спектр, полученный без поглотителя; пунктирной линией - спектр, полученный с поглотителем 100 микрон алюминия, помещенным перед входным окном телескопа. По оси абсцисс отложен № канала, а также энергия, выделенная в рабочем объеме счетчика.



Р и с. 5.

Спектры импульсов в цилиндрическом счетчике, полученные при облучении мишени из никеля толщиной 3 микрона ионами неон-20. Спектр, соответствующий импульсам с плоского счетчика больше $V = 6$ вольт не заштрихован. Заштрихован спектр, соответствующий импульсам в плоском счетчике в интервале от $V = 6$ вольт до $V + \Delta V = 26$ вольт. Поглотитель перед входным окном телескопа отсутствовал. По оси абсцисс отложена энергия, выделенная протонами в рабочем объеме счетчиков.



Р и с. 6.

Те же спектры, что на рис. 5, полученные с поглотителем 20 микрон алюминия, помещенным перед входным окном телескопа.