

1288

14
560



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

С.Х. Биктимиров, Ю.П. Кумекин, С.Б. Нурушев, Г.Д. Столетов

1288

УСТАНОВКА
ДЛЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПРИ РАССЕЯНИИ ПРОТОНОВ
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ЖИЭ, 1964, №1, с. 25-30.

С.У. Виктимиров, Ю.П. Кумекин, С.Б. Нурушев, Г.Д. Столетов

1288

УСТАНОВКА
ДЛЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПРИ РАССЕЯНИИ ПРОТОНОВ
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1963

1943/2 ч8.

При изучении изменения поляризации частиц при рассеянии возникает необходимость проводить опыты по тройному рассеянию. Теоретические и экспериментальные соображения, связанные с вопросом о постановке таких опытов и взаимосвязи их результатов, подробно рассмотрены в обзоре^{/1/}. Схема опытов по тройному рассеянию выглядит следующим образом. В первом рассеянии возникает поперечно поляризованный пучок протонов. С помощью специального магнитного поля этот пучок можно сделать продольно поляризованным (см., например,^{/2/}). Далее производится второе рассеяние, в котором поляризация изменяется. Изучение этого изменения поляризации производится с помощью третьего рассеяния. Наиболее просто могут быть измерены поперечные компоненты поляризации дважды рассеянного пучка. С этими компонентами связаны следующие параметры тройного рассеяния: параметр D , измеряемый в опыте, когда все три рассеяния производятся в одной плоскости и используется поперечно поляризованный пучок; параметры R и A , измеряемые в опыте, когда все три рассеяния производятся в последовательно перпендикулярных плоскостях с использованием соответственно поперечно и продольно поляризованных пучков. Дальнейшее изучение тройного рассеяния связано с измерением продольной компоненты поляризации дважды рассеянного пучка протонов.

В статье дано описание установки, предназначенной для измерения параметров тройного рассеяния в упругом pp -рассеянии с использованием продольно и поперечно поляризованных пучков протонов шестиметрового синхротрона Объединенного института ядерных исследований^{/2,3/}. Установка может быть использована также для изучения корреляции поперечных компонент поляризации при рассеянии неполяризованных и поляризованных пучков протонов высоких энергий.

Общее описание

Установка, показанная на рис. 1, предназначена прежде всего для измерения параметров тройного рассеяния в случае, когда рассеяние в водороде происходит в горизонтальной плоскости. Установка состоит из двух жестких ферм 4 и 5, которые могут вращаться вокруг неподвижной вертикальной колонны 2, опираясь на общее основание 1. На колонне 2 устанавливается водородная мишень 3, которая в опыте служит вторым рассеивателем. На поворотных фермах 4 и 5 располагаются сцинтилляционные счетчики Л31, Л32, Л33 и П31, П32, П33. Эти счетчики образуют соответственно телескопы ЛЗ и ПЗ, которые регистрируют заряженные частицы, испущенные из водородной мишени под углами Θ_2 и Θ'_2 в лабораторной системе. Отсчет значений Θ_2 и Θ'_2 производится на угломерном круге 6.

Для выделения процесса упругого pp -рассеяния фермы 4 и 5 устанавливаются так, чтобы угол раствора между телескопами $\Theta_2 + \Theta'_2$ отвечал кинематике упругих pp -соударений, а значения Θ_2 и Θ'_2 соответствовали исследуемым углам θ_2 и θ'_2 в системе

центра масс (с.ц.м.). Таким образом, с помощью описываемой установки можно одновременно измерять параметры тройного рассеяния для обоих сопряженных углов θ_2 и θ'_2 .

На концах ферм крепятся опорные диски 7 и 8, которые вместе с мишенями-анализаторами 9 и 10 и сцинтилляционными счетчиками Л11-П23, регистрирующими трижды рассеянные протоны, образуют самостоятельные узлы установки-поляриметры.

Жесткость поворотных ферм рассчитана на большую нагрузку, создаваемую поляриметрами, поскольку главной причиной систематических ошибок в поляризационных опытах является нарушение юстировки аппаратуры анализирующего рассеяния.

Опорные диски 7 и 8 могут быть установлены вертикально, как это показано на рис.1, и горизонтально. Вертикальное расположение дисков используется в опытах, в которых плоскости второго и третьего рассеяний взаимно перпендикулярны (измерение параметров A и R), горизонтальное расположение - в опытах, когда плоскости второго и третьего рассеяний совпадают (измерение параметра D , калибровочные эксперименты).

При одновременном анализе поляризаций обоих сопряженных протонов измеряются коэффициенты корреляции, которые определяются величиной и направлением поляризации падающего пучка, а также взаимным расположением плоскости рр-рассеяния и плоскостей анализирующих рассеяний. С использованием неполяризованного, поперечно и продольно поляризованных пучков протонов описываемая установка позволяет вести измерения восьми различных коэффициентов корреляций. Теоретическое рассмотрение этих экспериментов произведено Вольфенштейном^{/4/}.

Для уменьшения фона случайных совпадений протоны, не рассеянные в третьих мишенях 9 и 10, регистрируются сцинтилляционными счетчиками ЛЗА и ПЗА, включенными на антисовпадения с остальными счетчиками.

При помощи специального устройства, описанного в работе^{/2/} и не показанного на рис. 1, непосредственно в ходе опыта можно измерять положение и профиль пучка поляризованных протонов.

Ниже описываются отдельные узлы установки и их характеристики.

Водородная мишень

При измерении параметров D , R , A в рр-рассеянии вторым рассеивателем является водородная мишень 3. Эта мишень представляет собой цилиндрический сосуд Дьюара, наполняемый жидким водородом. Внутренний диаметр сосуда - 12 см, емкость - 3,5 л, толщина стеклянных стенок - 1 мм. Сосуд находится в металлическом защитном кожухе, верхняя часть которого соединяется с системой принудительной вытяжной вентиляции (см.рис. 1). Испаряющийся водород отводится в независимую систему естественной вентиляции. На уровне пучка протонов в защитном кожухе прорезаны окна, заклеенные алюминиевой фольгой.

Заполнение мишени жидким водородом осуществляется из специальных переносных дьюаров емкостью 24 л^{/5/}. Пополнение мишени производится через каждые 6-7 часов работы.

Поперечные размеры пучка поляризованных протонов и кристаллов сцинтилляционных счетчиков были выбраны так, чтобы система сопряженных телескопов, используемая для выделения упругого рр-рассеяния, "не видела" стенок дьюара. Благодаря этому, регистрируются только протоны, рассеянные в жидком водороде.

Поляриметры

Измерение поперечных компонент поляризации дважды рассеянных протонов производится с помощью рассеяния в мишенях 9 и 10 на угол Θ_z . Трижды рассеянные протоны регистрируются телескопами Л1, Л2 и П1, П2, состоящими соответственно из сцинтилляционных счетчиков Л11, Л12, Л13; Л21, Л22, Л23 и П11, П12, П13; П21, П22, П23, укрепленных на поворотных штангах 11, 12, и 13, 14. Эти поворотные штанги могут вращаться независимо друг от друга, в плоскостях опорных дисков 7 и 8. При вертикальном расположении опорных дисков поворот штанг 11-14 производится червячными парами 15, колеса которых жестко укреплены на втулках соответствующих штанг, а червяки - на опорных дисках. Сами диски в этом случае крепятся к поворотным фермам 4 и 5 посредством кронштейнов 16. При горизонтальном расположении опорных дисков червячные механизмы 15 и кронштейны 16 снимаются, и диски 7 и 8 крепятся непосредственно к фермам 4 и 5.

Конструкция и компоновка узлов прибора выполнены так, что при любом расположении опорных дисков центры третьих мишеней, находящихся на оси вращения штанг 11-14, а также центры сцинтилляторов любого из телескопов Л1, Л2, П1, П2 при установке этих телескопов под углом $\Theta_z = 0^\circ$, лежат на одной прямой - среднем направлении импульсов дважды рассеянных протонов. В рабочих измерениях телескопы Л1, Л2 (также как и П1, П2) устанавливаются поочередно под углами $\pm \Theta_z$ и $\mp \Theta_z$. По соответствующим скоростям счета определяются асимметрии, характеризующие компоненты поляризаций пучков дважды рассеянных протонов, перпендикулярные плоскостям опорных дисков 7 и 8. Одновременная регистрация трижды рассеянных протонов парами телескопов позволяет увеличить вдвое скорость измерений и контролировать работу аппаратуры в ходе опыта. Для перестановки телескопов надо счетчики на штанге 12 (14) повернуть на петлях 17 (18), опустить штангу 12 (14) вниз, а штангу 11 (13) поднять вверх, вернуть счетчики телескопа Л2 (П2) в прежнее положение и снова установить штанги под углами $\pm \Theta_z$. Отсчет значений Θ_z производится с точностью 3'.

Во время фоновых измерений - при отсутствии третьих мишеней - перед счетчиками Л13, Л23, П13, П23 помещаются полиэтиленовые или углеродные фильтры, эквивалентные третьим мишеням по тормозной способности.

Материал мишеней - анализаторов и величина угла Θ_z выбираются так, чтобы третье рассеяние обладало оптимальной анализирующей способностью. В серии экспериментов по тройному рассеянию протонов были использованы углеродные мишени, третье рассеяние регистрировалось под углом $\Theta_z = 12^\circ$. При начальной энергии протонов 660 Мэв это позволяет измерять поляризационные параметры в диапазоне углов $\theta_2 = 50^\circ - 130^\circ$.

Определение анализирующей способности третьего рассеяния производится следующим

образом. Используется поперечно поляризованный пучок протонов с известной поляризацией, заторможенный до энергии, равной энергии протонов, рассеянных в водороде на заданный угол Θ_2 . Поворотные фермы 4 и 5 поочередно устанавливаются под углом $\Theta_2 = 0^\circ$, опорные диски располагаются горизонтально, и в тех же геометрических условиях, что и при измерении параметров тройного рассеяния, измеряется асимметрия двойного рассеяния, пропорциональная поляризации пучка и анализирующей способности углеродных мишеней.

На рис. 2 показана анализирующая способность поляриметра в зависимости от энергии анализируемых протонов.

Сцинтилляционные счетчики и электроника

В установке используются сцинтилляционные счетчики, состоящие из пластмассовых сцинтилляторов, полых световодов и фотоумножителей ФЭУ-33 с магнитными экранами. В таблице указаны размеры сцинтилляторов, а также расстояния от сцинтилляторов до центра водородной мишени или до центра мишеней-анализаторов, выбранные при измерении параметра А для угла $\theta_2 = \theta'_2 = 90^\circ$. При измерениях под другими углами несколько изменяются расстояния от сцинтилляторов счетчиков Л31, Л32 или П31, П32 до центра водородной мишени так, чтобы кожухи этих счетчиков не попадали в пучок поляризованных протонов.

На рис. 3 показана логическая схема включения сцинтилляционных счетчиков и телескопов. В установке используются диодные схемы быстрых совпадений^{/6/} с разрешающим временем 10 нсек. и обычные ламповые схемы медленных совпадений ($\tau = 18$ нсек), антисовпадений и т.д.

Счетчики	Размеры сцинтилляторов, см.			Расст. от центра водородн. мишени, см.	Расстояние от центра мишеней-анализаторов, см.
	Высота	Ширина	Толщина		
Л31, П31	5,0	8,0	1,0	17,5	6,5
Л32, П32	6,0	10,0	1,0	30,0	
Л33, П33	5,0	5,0	0,5	93,5	
Л3А, П3А	8,0	10,0	1,0	155,0	
Л11, Л21, П11, П21	6,0	4,0	1,0		42,0
Л12, Л22, П12, П22	7,0	5,0	1,0		64,0
Л13, Л23, П13, П23	8,0	6,0	1,0		81,0

Конструктивно вся радиотехническая часть установки изготовлена в виде трех стоек. В стойке быстрых совпадений расположены схемы совпадений импульсов от отдельных счетчиков телескопов. Эта стойка находится в непосредственной близости к установке. Импульсы от телескопов передаются с нее в зал регистрирующей аппаратуры по кабелям длиной 70 м.

В стойке медленных совпадений импульсы от телескопов Л1, Л3, ЛС; Л2, Л3, ЛС;

ЛЗА, ЛС; П1, ПЗ, ПС; П2, ПЗ, ПС и ПЗА, ПС подаются на входы схем совпадений и, далее, схем, антисовпадений так, что окончательно регистрируются скорости счета Л1ЗСА, Л2ЗСА, П1ЗСА, П2ЗСА антисовпадений $L/(1+3+C)-(C+3A)/$, $L/(2+3+C)-(C+3A)/$, $P/(1+3+C)-(C+3A)/$, $P/(2+3+C)-(C+3A)/$, соответственно. Импульсы этих антисовпадений подаются также на входы схем совпадений в следующей стойке, что позволяет регистрировать корреляционные совпадения Л1П1, Л2П2, Л2П1 и Л1П2. Кроме того, для контроля работы установки и мониторов пучка предусмотрена регистрация счета ЛП совпадений $L(C+3A)+P(C+3A)$. Специальный канал предназначен для проверки отдельных счетчиков перед каждым сеансом работы на ускорителе.

Первоначальная наладка электроники состояла в подборе фотоумножителей, длин передающих кабелей и дискриминаций в схемах совпадений и антисовпадений. Рабочее напряжение питания фотоумножителей было выбрано при значении, превышающем на 100 вольт напряжение начала плато счетной характеристики. Проверка показала, что эффективность регистрации схем совпадений и антисовпадений близка к 100%.

Описанная аппаратура эксплуатировалась в течение длительного периода времени, начиная с 1960 года. За это время не потребовалось ни одной дополнительной настройки схем, если не считать замены вышедших из строя ламп. Высокая стабильность аппаратуры полностью соответствует требованиям, предъявляемым к экспериментальным установкам при изучении поляризационных явлений.

Угловое разрешение регистрирующей аппаратуры

В опытах по тройному рассеянию из-за недостаточной интенсивности имеющихся поляризованных пучков протонов приходится увеличивать используемые размеры поперечного сечения пучка протонов, размеры водородной мишени и сцинтилляторов в телескопах, хотя при этом ухудшается угловое разрешение аппаратуры.

Угловое разрешение при измерении поляризационных параметров определяется тремя факторами: во-первых, геометрическим угловым разрешением $\overline{\Delta\Theta}_1$, которое зависит от размеров просматриваемой сопряженными телескопами части водородной мишени, ширины определяющих сцинтилляторов ЛЗЗ и ПЗЗ и расстояния от мишени до этих сцинтилляторов; во-вторых, углом $\overline{\Delta\Theta}_2$ многократного рассеяния протонов на пути до определяющих сцинтилляторов; в-третьих, расходимостью пучка $\overline{\Delta\Theta}_3$. В описываемой установке угловое разрешение зависит главным образом от геометрических размеров (см. таблицу), при которых величина $\overline{\Delta\Theta}_1$ изменяется от $1,5^\circ$ до $1,9^\circ$ для углов рассеяния от 50° до 130° (с.п.м.).

Обеспечение измерений в области малых углов

Использование углерода в качестве анализатора имеет определенные преимущества при больших углах второго рассеяния, когда образование π -мезонов в третьей мишени либо незначительно, либо не происходит вовсе. Однако в ряде случаев представляют интерес

исследования при втором рассеянии в области малых углов, где, с одной стороны, становится невозможным выделение упругого рр-рассеяния сопряженными телескопами, с другой, резко уменьшается анализирующая способность углерода. В этом случае становится целесообразным использовать в качестве анализатора поляризации процесс упругого рр-рассеяния /7/.

Для этого в установке углеродная мишень 9 (или 10) заменяется на полиэтиленовую, телескопы Л1 и Л2 (или П1 и П2) устанавливаются под сопряженными углами, а электроника переключается так, что в опыте регистрируется скорость счета Л123А или П123А антисовпадений $L/(1+2+3) - 3A/$ или $P/(1+2+3) - 3A/$ или $P/(1+2+3) - (3A/$.

З а к л ю ч е н и е

Как показала практика работы с установкой, весь комплекс аппаратуры и вспомогательных устройств отличается универсальностью и удобством при выполнении поляризационных экспериментов в различных вариантах. В качестве примера ниже приводятся данные об условиях типичного эксперимента по тройному рассеянию. В этом опыте поперечное сечение пучка поляризованных протонов на входе в водородную мишень имело форму круга диаметром 4 см. Поворотные фермы 4 и 5 устанавливались так, чтобы регистрировались протоны, рассеянные в водороде налево и направо на угол $\theta_2 = \theta'_2 = 90^\circ$. Использовались углеродные мишени-анализаторы толщиной 8,5 г/см². При интенсивности поляризованного пучка $\approx 2 \cdot 10^7$ протонов/сек скорость счета трижды рассеянных протонов составляла по каждому из четырех каналов около 3 протонов/мин, а корреляционные совпадения считались со скоростью $\approx 0,1$ события/час. При этом фон, регистрируемый аппаратурой в отсутствие третьих мишеней, составлял $\approx 16\%$ от общей скорости счета; фон, регистрируемый в отсутствие жидкого водорода в дьюаре, не превышал 1%.

В заключение пользуемся случаем выразить благодарность проф. М.Г.Мещерякову за руководство работой. Мы признательны также Л.В.Будкину, В.И.Никиткину, В.М.Прибору и Г.В.Рыкову за помощь при изготовлении и наладке аппаратуры.

Л и т е р а т у р а

1. Г.Файснер. Поляризация нуклонов при рассеянии. ИЛ, 1960.
2. Ю.П.Кумекин, М.Г.Мещеряков, С.Б.Нурушев, Г.Д.Столетов. Атомная энергия. 14, 38 /1963/.
3. М.Г.Мещеряков, С.Б.Нурушев, Г.Д.Столетов. ЖЭТФ, 31, 361 /1956/.
4. Л.Вольфенштейн. Успехи физических наук. 62, 71 (1957).
5. Т.Д.Блохинцева, А.Т.Василенко, В.Г.Гребинник, В.А.Жуков, Г.Либман, Л.Л.Неменов, Г.И.Селиванов, Юань Жун-фан. ПТЭ, № 5, 51 /1962/.
6. R.Madey. Rev. Sci. Instr., 26, 971 (1955).
7. Ю.П.Кумекин, М.Г.Мещеряков, С.Б.Нурушев, Г.Д.Столетов. ЖЭТФ, 35, 1398 /1958/.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 мая 1963 года.

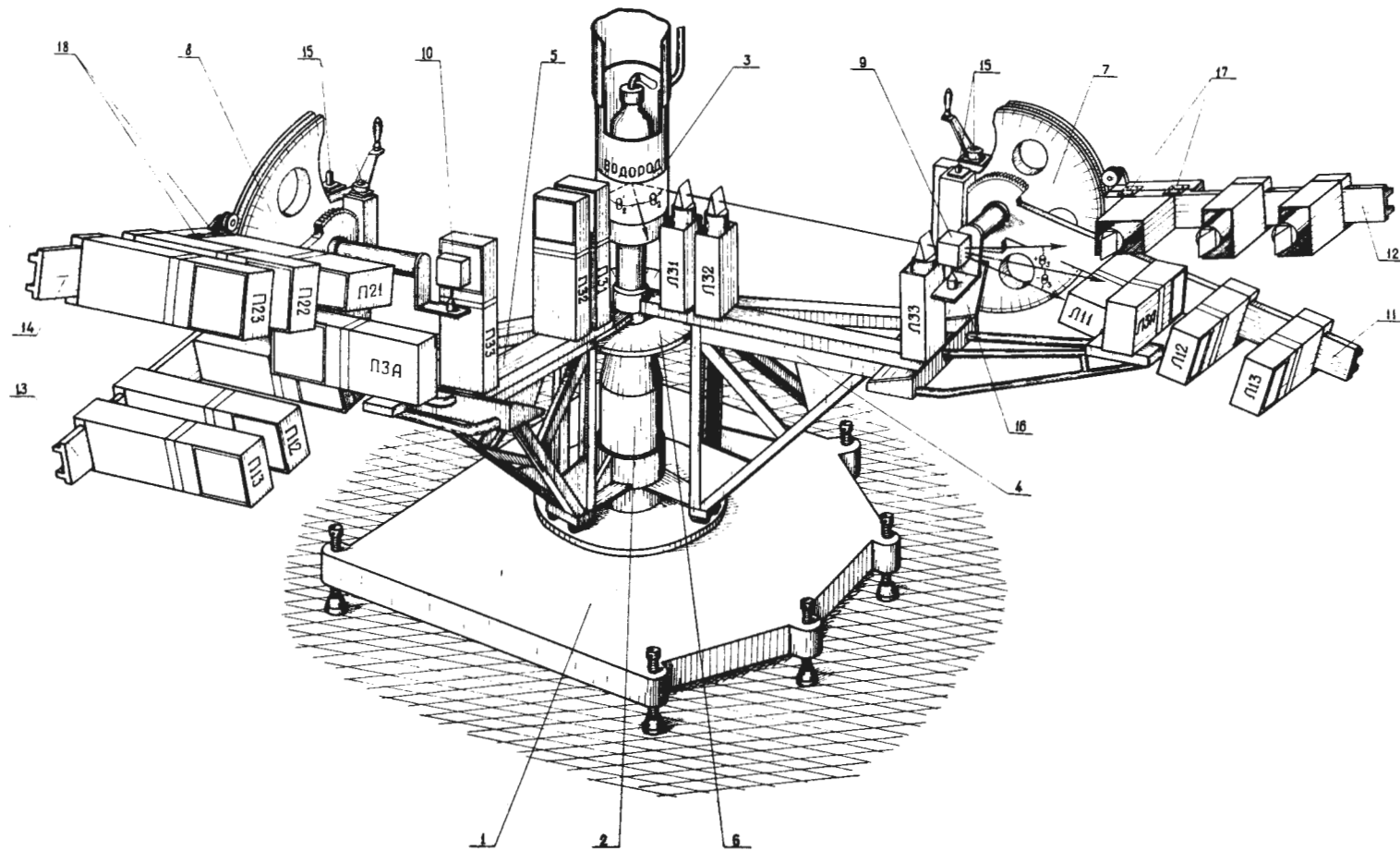


Рис. 1. Общий вид установки. Сцинтилляционные счетчики Л31, Л32, Л33, Л21, Л22, Л23 показаны со снятыми крышками.

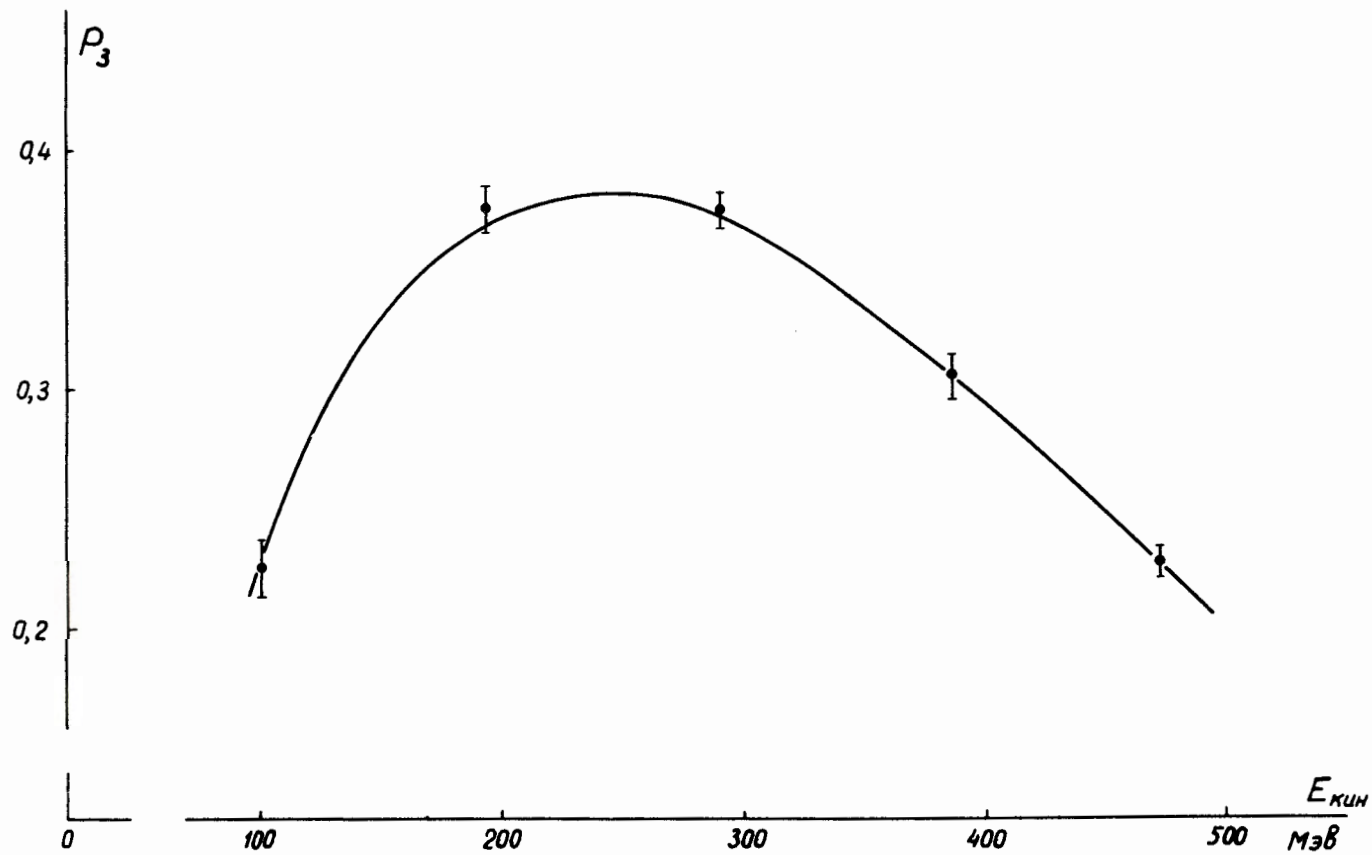


Рис. 2. Энергетическая зависимость анализирующей способности поляриметра. При энергии ≈ 100 МэВ использовался углеродный анализатор толщиной $3,4 \text{ г/см}^2$, при остальных энергиях - толщиной $8,5 \text{ г/см}^2$. Плавная кривая проведена визуально.

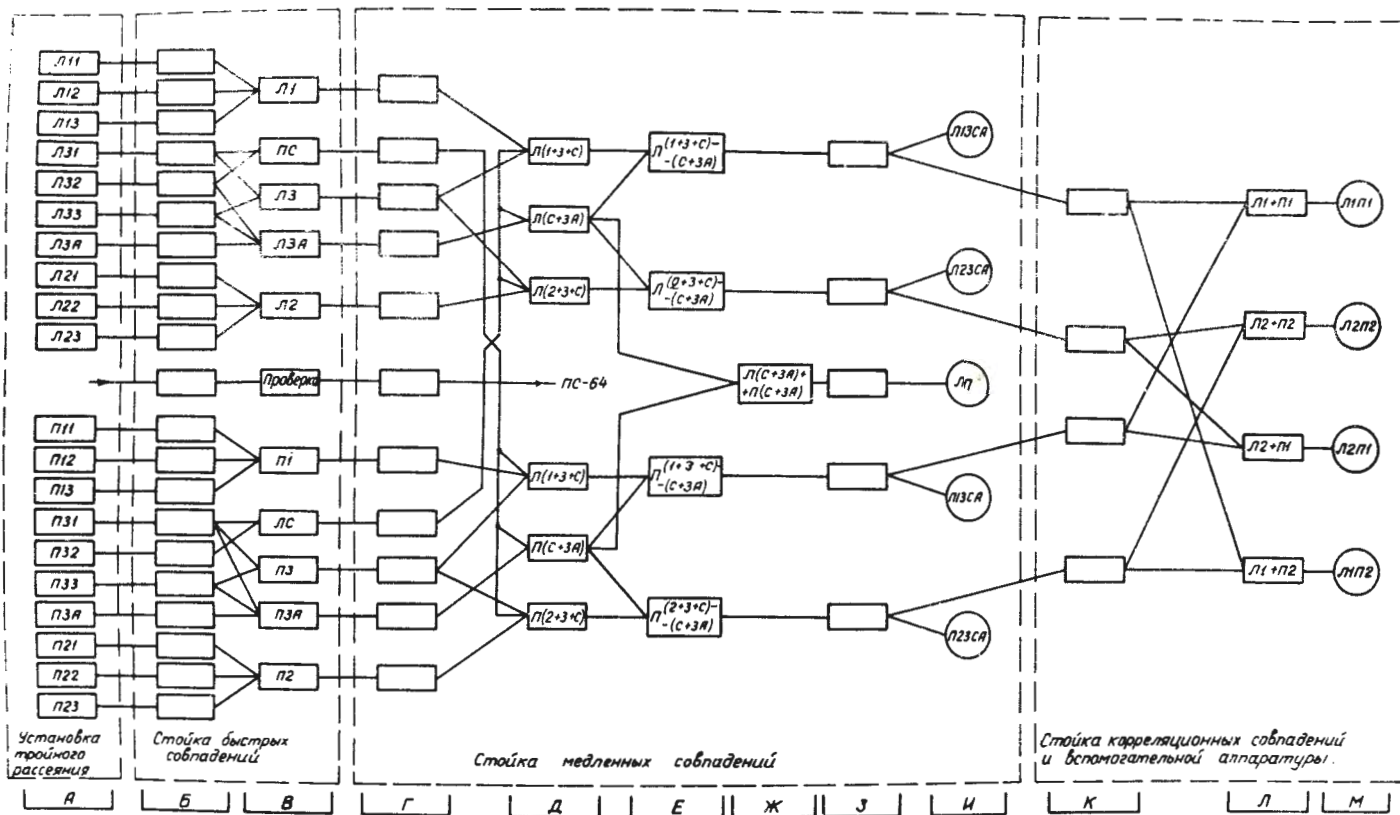


Рис. 3. Логическая схема включения скintилляционных счетчиков и телескопов. А - скintилляционные счетчики, Б - входные каскады (усиление и формировка), В - схемы быстрых совпадений, Г - входные каскады, Д - схемы медленных совпадений, Е - схемы антисовпадений, Ж - схема совпадений, З - входные каскады, И - механические счетчики, К - входные каскады, Л - схемы совпадений, М - механические счетчики.