

А. 93

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АН СССР

препринт 70

В.Л.Ауслендер, С.И.Мишнев, А.П.Онучин,
Е.В.Пахтусова, С.Г.Попов, В.А.Сидоров,
А.Н.Скринский, А.Г.Хабахпашев

**Контроль светимости установок
со встречными пучками по рассеянию
на малые углы**

БИБЛИОТЕКА
ИНСТИТУТА ЯДЕРНОЙ
ФИЗИКИ СО АН
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ

НОВОСИБИРСК 1966

Выбор оптимального режима работы установок со встречными электрон-электронными и электрон-позитронными пучками удобно проводить по измерению рассеяния на малые углы. Большое сечение этого процесса позволяет получить большую скорость счета и оперативно контролировать светимость. В используемых системах электроны и позитроны регистрируются сцинтилляционными счетчиками, включенными в быстро-медленные схемы совпадений. Наблюдаемая скорость счета не противоречит результатам измерений геометрических параметров пучков.

В практической работе на установках со встречными пучками выработались некоторые понятия и терминология, которые нам хотелось бы обобщить, прежде чем переходить к конкретному разбору методики регистрации рассеяния на малый угол.

Основной характеристикой экспериментальных возможностей установки со встречными пучками является ее светимость

$$L = \frac{n}{\sigma_p} = \frac{J_1 \cdot J_2}{e^2} \cdot \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{S_{эф}}$$

где n - скорость счета при наблюдении процесса, имеющего сечение регистрации σ_p , J_1 и J_2 - токи пучков, f - частота ускоряющего напряжения, $S_{эф}$ - эффективная площадь поперечного сечения области взаимодействия.

Сечение регистрации удобно записать в виде

$$\sigma_p = \sigma_0 \delta^2 \mathcal{E}$$

где σ_0 - эффективное сечение, проинтегрированное по телесному углу счетчиков для центра области взаимодействия, δ^2 - коэффициент усреднения сечения по области взаимодействия, \mathcal{E} - эффективность регистрации.

В простейшем случае, когда пучки в области встречи движутся по одной прямолинейной траектории и плотность распределения частиц в сгустке имеет гауссовский вид с дисперсиями в аксиальном и радиальном направлениях σ_z^2 и σ_r^2 ,

$$S_{эф} = 4\pi \sigma_z \sigma_r$$

Так как ширина пучка на полувысоте $z_{1/2} = 2,36 \sigma_z$, то

$$S_{эф} = 2,26 z_{1/2} z_{1/2}$$

При движении сгустков в области встречи по круговым орбитам, как в электрон-электронном накопителе ВЭП-I /1,2/,

$$S_{эф} = \frac{4\pi \sigma_z \sigma_r}{\eta}$$

где η - коэффициент использования пучков. Общее выражение для η имеет громоздкий вид. Численный расчет при радиусе орбиты $R = 43$ см, $\sigma_z = 0,07$ см и $\sigma_a = 4$ см (азимутальный размер) дает $\eta = 0,6$.

Целесообразно ввести понятие удельной светимости, связанной лишь с геометрическими условиями встречи,

$$M = \frac{L}{J_1 J_2} = \frac{1}{e^2 f S_{эф}}$$

и "дебет" установки $\dot{+}$

$$Q = \int J_1 J_2 dt$$

В этих обозначениях число зарегистрированных событий

где \bar{M} и $\bar{\sigma}_p$ — средние значения за время измерения.

Естественной единицей измерения дебета является кулам (кулон х ампер). Измерение этой величины производится специальным интегрирующим прибором — куламетром. Куламетр служит удобным монитором при проведении экспериментов на встречных пучках, так как удельная светимость и сечение регистрации слабо зависят от величины токов.

Измерение абсолютной величины сечения процесса в эксперименте на встречных пучках встречает значительные трудности, связанные с необходимостью точного определения удельной светимости установки. Расчет удельной светимости по измерению размеров пучков можно произвести лишь грубо, так как $S_{эф}$ известно с плохой точностью и к тому же зависит от эффектов встречи и вакуумных условий. Большую точность определения светимости установки можно получить по измерению скорости счета известного процесса.

Для измерения светимости удобно использовать процесс с большим сечением. Этому условию отвечают упругое рассеяние на малые углы, однократное и двойное тормозное излучение. При средних энергиях преимущество имеет первый процесс, т.к. он обладает большим сечением и позволяет получить лучшее отношение эффекта к фону. Недостатком этого процесса является сильная зависимость сечения регистрации от положения счетчиков относительно орбиты пучков. Процесс двойного тормозного излучения рационально использовать для измерения светимости и мониторинга при энергиях больше 300 Мэв. Преимуществом этого процесса является слабая зависимость результатов измерений от геометрических условий эксперимента. Однако для двойного тормозного излучения трудно получить

хорошее отношение эффект-фон. Еще хуже отношение эффект-фон для однократного тормозного излучения.

Для настройки оптимальных условий встречи и оперативного контроля за сохранением этих условий в эксперименте оказалось удобно использовать процесс рассеяния на малые углы. Критичность геометрических условий в этом случае не имеет большого значения, а высокая скорость счета особенно важна.

Рассмотрим подробнее условия измерения на установках со встречными пучками рассеяния на малый угол. Электроны, рассеянные в результате упругих столкновений, совершают бетатронные колебания вокруг равновесной орбиты и будут находиться на максимальном удалении от нее на расстоянии четверти длины волны бетатронных колебаний $\lambda/4$ от области встречи. В этом месте и следует устанавливать счетчики. Тогда коэффициент усреднения сечения по области взаимодействия δ^2 близок к единице и, считая $\epsilon = 1$,

$$\sigma_p = \frac{4z_0^2}{\gamma^2} \left(\frac{\lambda}{2\pi} \right)^2 \frac{S}{d^2}$$

где z_0 — классический радиус электрона, S — площадь счетчика, d — расстояние от орбиты до центра счетчика. Ошибка выражения сечения в таком виде не превышает 10%, если линейные размеры счетчика меньше $d/2$.

Положение двух пар сцинтилляционных счетчиков на электронном накопителе установки ВЭП-I /1,2/ показано на рис. 1. Счетчики включены в быстро-медленную схему совпадений. Схема имеет два канала, в один из которых введена задержка для измерения фона случайных совпадений. Специальные экраны, установленные в камере накопителя для локализации места гибели электронов, снижают нагрузку счетчиков в 3 раза. В рабочих условиях отношение эффекта к фону составляло около 0,5 при энергии 2x43 Мэв и 10 при энергии 2x135 Мэв.

Счетчики под малым углом использовались для выбора оптимальных условий встречи (положение сгустков, угол встречи пучков, рабочие токи), а также непрерывного контроля за эффективностью встречи во время проведения всех экспериментов. Для примера на рис. 2 приведены результаты измерения зависимости удель-

ной светимости от аксиального смещения орбит в случае движения сгустков под углом друг к другу и при лобовом соударении.

Эксперименты на установке ВЭП-1 велись при трех значениях энергии электронов 2x43, 2x135 и 2x160 Мэв. Первое значение соответствует энергии инъекции. В этом случае каждый импульс инжектора используется для добавления электронов на одну из дорожек накопителя. Работа при более высокой энергии распадается на отдельные циклы измерений длительностью около 400 сек. Половина этого времени затрачивалась на накопление электронов и подъем энергии. Измерения начинались при токах около 50 ма и прекращались при снижении произведения токов в 10 раз. За время измерения удельная светимость возрастает, примерно, в 2 раза за счет уменьшения влияния эффектов встречи.

Удельная светимость установки при энергии 2x135 Мэв, полученная по результатам измерения рассеяния на большие углы, $M = 1,5 \cdot 10^{31} \text{ см}^{-2} \text{ кулам}^{-1} / 3$. Сечение регистрации рассеяния электронов на малый угол, полученное отсюда $\sigma_p = 0,8$ мбарн, что ниже расчетного значения примерно в 2 раза. Это различие можно полностью отнести за счет погрешности в определении положения счетчиков относительно пучков. Усредненная по времени измерений скорость счета системы регистрации электрон-электронного рассеяния под малыми углами составляет около 5 импульсов в секунду, что соответствует средней светимости установки $5 \cdot 10^{27} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$.

Сравнение расчетного значения удельной светимости с экспериментальным было проведено при энергии 2x43 Мэв. При этой энергии поперечные размеры пучка составляют около 1 мм и точность их измерения не хуже 10%. Экспериментальные результаты, полученные с помощью счетчиков под малыми углами при отсутствии эффектов встречи, согласуются с расчетным значением удельной светимости в пределах 30% точности. При более высокой энергии аксиальный размер пучка становится настолько мал, что точность его измерения резко ухудшается. В этом случае измерение скорости счета регистрации известного процесса является практически единственным способом определения светимости установки.

Положение счетчиков на электрон-позитронном накопителе установки ВЭП-2 /4,5/ показано на рис. 3. Счетчики смещены в радиальном и аксиальном направлениях относительно равновесной орбиты. Регистрация позитронов производится двумя счетчиками, включенными на совпадения. По направлению движения электронного пучка позитронные счетчики экранируются свинцом. Двойной счетчик и свинцовый экран снижают загрузку позитронного канала на два порядка. Кроме того, специальная схема выделяет события по фазе ускоряющего напряжения с точностью ± 3 нсек. Эти меры позволили получить отношение эффекта к фону около единицы.

Первые эксперименты на установке ВЭП-2 проводятся при энергии 2x380 Мэв. Длительность одного цикла измерений составляет около 3000 сек, из них половина затрачивается на накопление позитронов и электронов. Начальные токи электронов и позитронов составляют около 40 и 5 ма соответственно, что позволяет получить за средний по качеству цикл измерений дебет $Q = 0,1$ кулама.

В эксперименте получена скорость счета системы регистрации электрон-позитронного рассеяния под малыми углами около 7 отсчетов на милликулам. Расчетная величина сечения регистрации для этой системы $\sigma_p = 0,3$ мбарн и, следовательно, удельная светимость установки $M = 2 \cdot 10^{31} \text{ см}^{-2} \text{ кулам}^{-1}$. Это значение удельной светимости не противоречит результатам измерений поперечных размеров пучков. Усредненная по времени измерений светимость установки составляет около $1 \cdot 10^{27} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

- Рис. 1 Положение счетчиков на установке ВЭП-1
1 - область встречи, 2 - счетчики, 3 - экран.
- Рис. 2 Зависимость числа рассеянных электронов на милликулам от аксиального смещения пучков.
1 - лобовое соударение, 2 - соударение под углом $0,2^\circ$.
- Рис. 3 Положение счетчиков на установке ВЭП-2.
1 - область встречи, 2 - электронный счетчик,
3 - позитронные счетчики, 4 - свинцовая защита,
5 - экран.

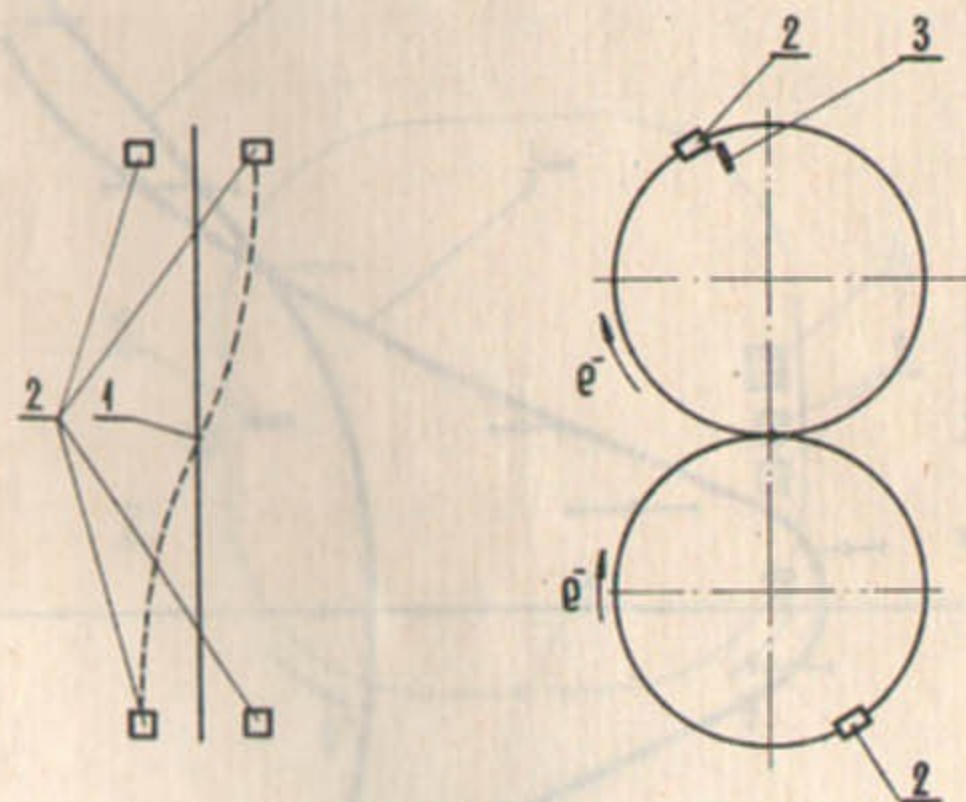


Рис. 1

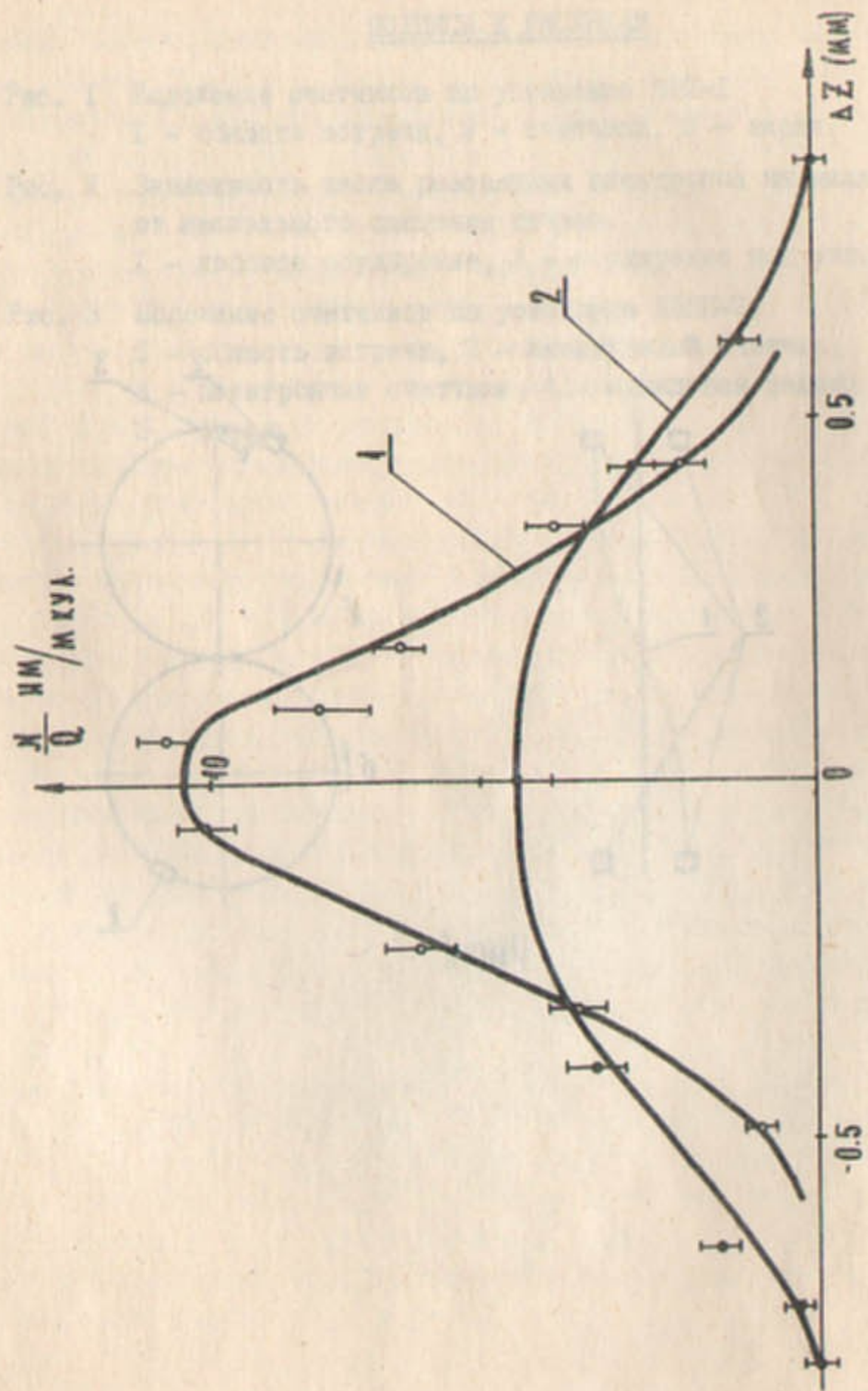


Рис. 2

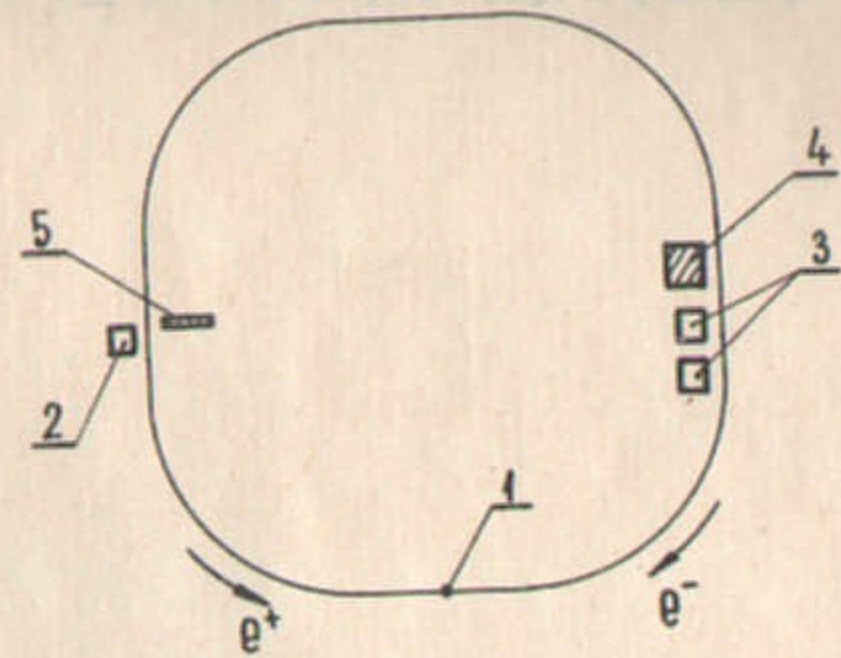


Рис. 3

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Н. Байер и др. Международная конференция по ускорителям, Дубна, 1963 г. Атомиздат, стр. 274.
2. Г.И. Будкер и др. Атомная энергия 19, 498 (1965).
3. Г.И. Будкер и др. Представлено на Международную конференцию по встречным пучкам, Париж, 1966 г.
4. В.Л. Ауслендер и др. Международная конференция по ускорителям, Дубна, 1963 г. Атомиздат, стр. 280.
5. В.Л. Ауслендер и др., Атомная энергия 19, 502 (1965).

