

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

с345

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

M-941

К.П. Мызников

1999

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
МЕТОДОВ ВЫВОДА УСКОРЕННЫХ ЧАСТИЦ
НА МИШЕНЬ В СИНХРОФАЗОТРОНЕ
НА 10 БЭВ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель -
доктор технических наук
Л.П. Зиновьев

Дубна 1983

СЗ45
М-941

К.П. Мызников

1399

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
МЕТОДОВ ВЫВОДА УСКОРЕННЫХ ЧАСТИЦ
НА МИШЕНЬ В СИНХРОФАЗОТРОНЕ
НА 10 БЭВ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель -
доктор технических наук
Л.П. Зиновьев

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1963

1691 Sp.

Прогресс в области исследований по ядерной физике и физике элементарных частиц вызывает необходимость дальнейшего улучшения характеристик пучков частиц, получаемых на ускорителях. К таким характеристикам относятся интенсивность частиц в пучке, разброс их по энергиям, временная структура пучков и т.п. Эффективность использования ускорителя для физического эксперимента и получение необходимых характеристик пучков зависят от правильного выбора условий движения частиц при выводе и от способа генерации частиц на мишени. Реферируемая диссертация посвящена исследованию вопросов вывода частиц в синхрофазотроне на 10 Бэв^{1/1}. Работы, положенные в ее основу, выполнены в период 1959-1963 гг.

Диссертация состоит из трех глав. Первая глава посвящена исследованию характеристик пучка частиц, ускоренного в синхрофазотроне на 10 Бэв до конечной энергии. В § 2 описаны методы наблюдения за пучком, методика количественных измерений, устройства и аппаратура, применяемые в исследованиях, рассмотренных во всех трех главах. Основное внимание уделено сцинтилляционному методу^{2/} и применению реакций $C^{12}(p, p\gamma)C^{11}$ для измерения интенсивности ускоренного пучка и числа частиц, соударившихся с мишенью^{3/}. В § 3 на основании анализа фазовых характеристик пучка экспериментально определены радиальный размер области устойчивости и максимальная амплитуда радиально-фазовых колебаний в конце ускорения^{4/}. Полученные данные позволили сделать заключение о заполнении области фазовой устойчивости и найти энергетический разброс ускоренных частиц, который оказался равным $\pm 2,8$ Мэв. В §§ 4, 5 определены функции распределения частиц по амплитудам бетатронных радиальных и вертикальных колебаний /рис. 1 и 2/. Они имеют характер релеевского распределения. Максимальная амплитуда радиальных колебаний составляет 7 см, вертикальных - 2,5 см. Экспериментальная проверка показала, что вид полученных функций хорошо отражает действительную картину. Знание этих характеристик необходимо при рассмотрении вопросов, затронутых в последующих главах.

В главе II рассмотрены методы, которые позволяют нарушить режим нормального ускорения частиц в синхрофазотроне и вывести ускоренный пучок на мишень. Здесь также обсуждается возможность применения некоторых из них для вывода первичного пучка из ускорителя. В синхрофазотроне на 10 Бэв при "естественном" сворачивании частиц на мишень после прекращения ускорения длительность соударения пучка с мишенью составляет 4,3 мсек. Такая длительность является неприемлемой при проведении многих экспериментов. Поэтому задача заключалась в том, чтобы разработать методы, позволяющие получать пучки для работы с различной экспериментальной ме-

тодией. Круг этих требований весьма разнообразен. Поэтому и методы вывода отличаются большим разнообразием и зависят от особенностей установки. В §§ 2 и 3 рассмотрены способы адиабатического изменения условий движения частиц при ускорении, позволяющие получать длительные импульсы вторичных частиц для работы со счетчиками. Основное внимание здесь уделено методам воздействия на равновесное и радиально-фазовое движение^{/5/}. Различные методы сопоставляются с точки зрения особенностей их реализации в синхрофазотроне на 10 Бэв. Получение коротких импульсов длительностью ~ 1 мсек для работы с пузырьковыми камерами производилось путем быстрого по сравнению с периодом фазовых колебаний нарушения фазовой устойчивости ускоряемого пучка. На основе проведенных исследований установлено, что при изменении частоты ускоряющего напряжения со скоростью большей 1 мгц/сек и при мгновенном изменении фазы ускоряющего напряжения на 180° соударение пучка с мишенью происходит в течение времени, приблизительно равного периоду фазовых колебаний $/1 \div 1,5$ мсек/. Однако реализация этих методов связана со значительной потерей интенсивности при попадании частиц на мишень.

В § 4 главы II рассмотрено использование для целей вывода искусственного возбуждения азимутальной асимметрии магнитного поля. Описана система, примененная в синхрофазотроне на 10 Бэв для вывода пучка на мишень путем возбуждения первой гармоники азимутальной неоднородности^{/7/}. Возмущающее поле создавалось в конце цикла ускорения с помощью обмоток, намотанных на каждом из 4-х секторов кольцевого магнита. Форма искажения выбиралась такой, чтобы максимальное отклонение от симметричной орбиты приходилось на азимут, вблизи которого расположена мишень. Импульс тока в возбуждающую обмотку подавался от батареи конденсаторов. Максимальное значение тока в импульсе не превышало 200 а. Длительность соударения пучка с мишенью определялась скоростью нарастания амплитуды искажения. Этот метод нашел применение для получения длительных импульсов вторичных частиц и для вывода пучка на мишень при высокочастотной сепарации частиц. Эксперименты, проведенные на модели магнита синхрофазотрона, показали, что он может быть применен также для быстрого сброса пучка на мишень. Причем величина тока в возбуждающей обмотке должна быть гораздо меньше по сравнению с методом возбуждения асимметрии с помощью безжелезного магнита, который применяется обычно для этих целей на крупных ускорителях^{/8/}. Кроме того, дополнительное поле получается более однородным по радиусу. Это позволяет избежать трудностей, приводящих к потере интенсивности при попадании пучка на мишень, которые имеют место в последнем случае^{/9/}.

Для практики современного физического эксперимента весьма актуальным требованием является получение выведенных пучков длительностью менее 100 мсек. Сокращение времени соударения пучка с мишенью вплоть до величины порядка нескольких десятков оборотов достигалось посредством резонансного возмущения движения частиц.

В § 5 исследуется возможность использования для целей вывода параметрического резонанса $\nu_x = \frac{1}{2}$. Здесь же описана разработанная на основе этих исследований система, примененная в синхрофазотроне на 10 Бэв для быстрого сброса частиц на мишень. Резонансные условия создавались путем изменения одинаковым образом показателя поля n в двух соседних квадрантах так, чтобы среднее значение n в ускорителе соответствовало условию резонанса. Сила резонанса при этом определяется величиной первой гармоникой возмущения^{/10,11/}. При формировании конфигурации возмущающего поля было использовано то обстоятельство, что значение n в зазоре магнита при больших индукциях сильно возрастает к краю полюса^{/12/}. Поэтому для возбуждения резонансных условий в рабочей области вносилась лишь небольшая добавка Δn в ее центре. Добавочное поле создавалось с помощью обмоток, расположенных внутри вакуумной камеры ускорителя. Ток в обмотку подавался путем разрядки на нее батареи конденсаторов. Индуктивность обмоток составляла ~ 3 мгн, что ограничивало скорость нарастания возмущения. Анализ поведения частиц при параметрическом резонансе производился путем численного расчета траекторий движения на электронно-счетной машине. Расчет производился по точным формулам движения в реальном магнитном поле с учетом закона распределения поля по радиусу и нарастания возмущения во времени по синусоидальному закону. На основе данных расчета были выбраны величина и скорость нарастания возмущения, необходимые для сброса пучка на мишень за время менее 50 мсек. Оказалось, что резонансные условия хорошо выполняются, если добавочное поле в возмущенных квадрантах обеспечивает прирост показателя поля $\Delta n = 0,22$ за время около 300 мсек, составляющее приблизительно 400 оборотов.

Длительность соударения с мишенью сокращается по мере того, как резонансные условия начинают выполняться наиболее точно. При реальной картине распределения возмущающего поля по радиусу длительность соударения зависит от положения мишени относительно центральной орбиты. Эта зависимость получена экспериментально /рис. 3/. Исследована также зависимость глубины заброса частиц на мишень от величины возмущения и радиального положения мишени. Полученные данные позволяют выбрать режим, обеспечивающий попадание пучка на мишень без потерь при заданной длительности сброса. Установлено, что из-за многократного прохождения частиц эффективность взаимодействия пучка с мишенью существенно возрастает. Сделаны рекомендации относительно применения данного метода для заброса частиц в зазор дефлектора при выводе первичного пучка из ускорителя. В этом случае резонансные условия при попадании частиц в дефлектор должны быть выполнены точно, что позволяет сократить время вывода до 10-15 мсек и обеспечить большой шаг заброса в радиальном направлении. Кроме того, из-за группировки частиц по фазам, которая имеет место при точном резонансе, удается забросить частицы в зазор с меньшей угловой расходимостью. Это облегчает дальнейшую фокусировку и позволяет вывести из камеры большую долю ускоренных частиц.

Глава III посвящена исследованию взаимодействия ускоренного пучка с мишенью. Этот вопрос недостаточно изучен в литературе. Автор сделал попытку подойти к решению разнообразных задач, встречающихся в практике вывода, с общих позиций. Исследования проведены с точки зрения выбора оптимальных условий, обеспечивающих наибольшую эффективность взаимодействия пучка с мишенью. Полученные результаты могут быть использованы при анализе условий заброса частиц в зазор отклоняющего устройства при выводе пучка из ускорителя. В § 2 рассмотрено взаимодействие с толстыми мишенями при "естественном" сворачивании ускоренного пучка^{/13/}. Разработан метод расчета глубины заброса частиц на мишень при заданной скорости смещения орбиты. Найдены функции распределения частиц по глубине мишени для различных амплитуд радиальных колебаний и различных значений n . Экспериментальная проверка подтвердила правильность результатов расчета. В § 3 рассмотрено взаимодействие частиц с толстой мишенью в процессе ускорения. Здесь учтено влияние радиально-фазового движения и найдено, что оно оказывает различное влияние на характер взаимодействия частиц с мишенью в зависимости от скорости смещения пучка. Исследован процесс соударения с мишенью при трех характерных значениях скорости смещения, представляющих интерес для практики. Установлено, что вплоть до скоростей порядка 10^{-2} см/об. распределение частиц по глубине мишени в значительной степени определяется радиально-фазовым движением. При очень больших скоростях смещения, порядка $0,5-1$ см/оборот, когда пучок попадает на мишень в течение нескольких десятков оборотов, радиально-фазовое движение можно не учитывать. Радиальный заброс частиц на мишень в этом случае возрастает. При ограниченном размере мишени существует оптимальная скорость, при которой пучок попадает на мишень без потери интенсивности за минимальное число оборотов. Найдено, что при расположении мишеней в рабочей области, где n изменяется от 0,6 до 0,75, численное значение оптимальной величины скорости в см/оборот должно быть приблизительно в 15 раз меньше размера мишени по радиусу. В § 4 рассмотрен способ, позволяющий устранить влияние перекаса толстой мишени относительно равновесной орбиты с помощью "флажков" из легкого вещества и тем самым повысить эффективность соударения пучка с мишенью. Дан метод подбора оптимальных размеров "флажка".

Многократному прохождению частиц через тонкие мишени посвящен § 5. На основе анализа закономерностей движения частиц при естественном сворачивании пучка в спадающем магнитном поле разработан способ, позволяющий получить значительно большую суммарную толщину вещества, проходимую частицей^{/14/}, чем в случае многократного прохождения частиц через тонкую пленку в процессе ускорения^{/15/}. При этом время соударения пучка с мишенью не превышает 8 мсек. Опытным путем установлено, что существуют оптимальные условия, при которых суммарная толщина вещества, пройденная частицей, может достигать ~ 16 г/см² /рис. 4/. Получены экс-

периментальные зависимости среднего числа прохождений, эффективной суммарной толщины и размеров пучка на мишени от толщины мишени.

Исследованию временной структуры выведенных пучков посвящен § 6. Полученные в нем результаты^{/16/} позволяют экспериментаторам при работе со счетчиками выбрать режим вывода пучка на мишень, исключающий большую неравномерность загрузки аппаратуры во времени. Проведенные исследования показали, что при соударении ускоренного сгустка с мишенью в процессе ускорения образующиеся импульсы вторичных частиц содержат высокочастотную структуру с периодом, равным частоте обращения. Описан метод, позволяющий вычислить длительность высокочастотных импульсов в зависимости от скорости сворачивания. Результаты расчета совпали с данными эксперимента. Предложены способы устранения в.-ч. структуры путем искусственного создания условий, при которых частицы выпадают из ускорения и по мере сворачивания на мишень за счет разброса по энергиям равномерно заполняют вакуумную камеру по азимуту. Это позволяет также свести к минимуму модуляцию, вызванную пульсациями магнитного поля. Если такой механизм получен за счет резонансной раскачки фазовых колебаний, имеет место дополнительная неравномерность, обусловленная низкочастотной структурой. Если он осуществляется путем уменьшения амплитуды ускоряющего напряжения или раскачкой фазовых колебаний с помощью фольги, структура пучков во времени получается достаточно равномерной.

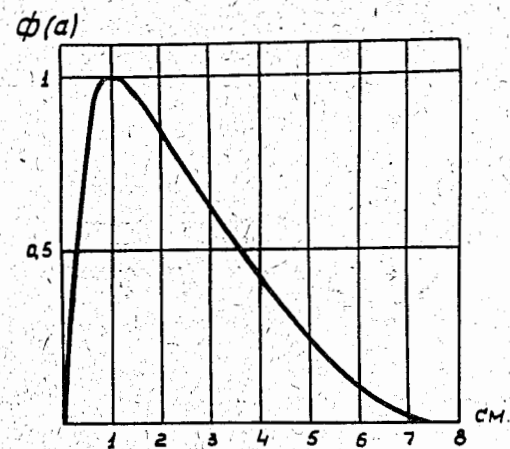
Материал по теме диссертации опубликован в работах^{/2-5,7,12-14,16/} и доложен на Международной конференции по ускорителям высоких энергий /Дубна, 1963 г./.

Л и т е р а т у р а

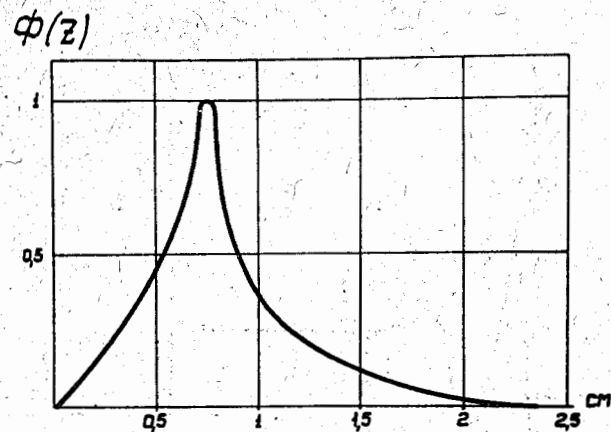
1. В.И. Векслер, Д.В. Ефремов, А.Л. Минц и др. Атомная энергия **4**, 22 /1956/.
2. Л.П. Зиновьев, И.Б. Иссинский, К.П. Мызников. Сцинтилляционный метод наблюдения за пучком в синхрофазотроне на 10 Бэв. Препринт ОИЯИ Р-557, Дубна, 1960.
3. И.Б. Иссинский, К.П. Мызников. ПТЭ, № 2, 18 /1962/.
4. А.Б. Кузнецов, К.П. Мызников. Атомная энергия, **12**, 373 /1962/.
5. Г.С. Казанский, А.И. Михайлов, К.П. Мызников, А.П. Царенков. ПТЭ, № 5, 19 /1962/.
6. С.К. Есин, Л.П. Зиновьев, К.П. Мызников, В.П. Саранцев. Исследование первого этапа инжекции в синхрофазотрон на 10 Бэв. Препринт ОИЯИ Р-558, Дубна, 1960.
7. К.П. Мызников, И.Н. Яловой. Вывод пучка на мишень в синхрофазотроне посредством возбуждения азимутальной асимметрии магнитного поля. Препринт ОИЯИ Р-1077; Дубна, 1962; ПТЭ, № 4, 19 /1963/.
8. D.C. Rahm. Rev. Scient. Instr., 32 1116 (1961).
9. M.Q. Barton et al. Cosmotron Internal Report MQ-B-6, Brookhaven, 1963.

10. М.С. Рабинович. Труды ФИАН СССР, X, 23 /1958/.
11. А.А. Коломенский. Труды ФИАН СССР, 13, 3 /1960/.
12. Л.П. Зиновьев, В.И. Котов, К.П. Мызников. ПТЭ, № 4, 22 /1963/.
13. К.П. Мызников. Исследование взаимодействия пучка частиц с мишенью в синхрофазотроне. Препринт ОИЯИ Р-1054, Дубна, 1962.
14. И.Б. Иссинский, А.Д. Кириллов, К.П. Мызников. Многократное прохождение ускоренных частиц через мишень в синхрофазотроне. Препринт ОИЯИ Р-1224, Дубна, 1963.
15. N.E.Booth, G.W.Hutchinson. Nucl. Instr., 1, 80 (1957).
16. К.П. Мызников, Н.Б. Рубин. Временная структура пучков частиц, выводимых из синхрофазотрона. Препринт ОИЯИ Р- 1088, Дубна, 1962.

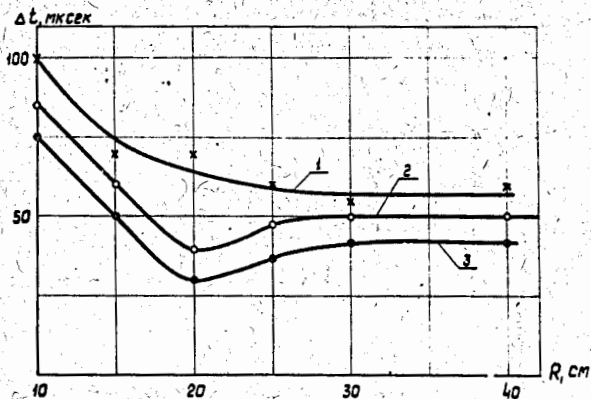
Рукопись поступила в издательский отдел
3 сентября 1963 г.



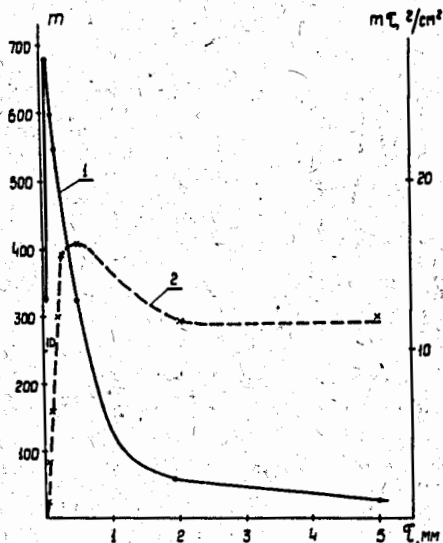
Р и с. 1. Функция распределения частиц по амплитудам бетатронных радиальных колебаний. По оси ординат в относительных единицах отложено число частиц с соответствующей амплитудой.



Р и с. 2. Функция распределения частиц по амплитудам бетатронных вертикальных колебаний.



Р и с. 3. Зависимость длительности соударения пучка с мишенью при резонансном выводе от радиального положения мишени относительно центральной орбиты. Кривые соответствуют различной величине возмущения Δn : кривая 1 - 0,2; кривая 2 - 0,22; кривая 3 - 0,24;



Р и с. 4. Зависимость среднего числа проходов /кривая 1/ и эффективной суммарной толщины вещества, пройденной частицей /кривая 2/, от толщины мишени.