

С 345e3

М-941

27/II-66

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-2537



К.П. Мызников

МЕДЛЕННЫЙ ВЫВОД ПУЧКА ПРОТОНОВ
ИЗ СИНХРОФАЗОТРОНА

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1966

P-2537

К.П. Мызников

МЕДЛЕННЫЙ ВЫВОД ПУЧКА ПРОТОНОВ
ИЗ СИНХРОФАЗОТРОНА



39221, 48.

Вывод ускоренных частиц из синхрофазотронов до последнего времени производился методом ^{/1/}, при котором пучок вначале направлялся на мишень, где он терял часть энергии, и после этого забрасывался в зазор выводного магнита (в дальнейшем будем именовать его дефлектором). Испытав отклонение в дефлекторе на определенный угол, частицы выводились из ускорителя по заданному направлению. Однако способ заброса частиц в дефлектор с помощью мишени имеет ряд существенных недостатков. Во-первых, в силу различных причин, эффективность взаимодействия пучка с мишенью значительно меньше 100%. Во-вторых, разброс по углам и энергиям, который частицы получают после прохождения мишени, приводит к размытию пучка при движении в крайнем поле ускорителя. В результате, часть частиц теряется при прохождении дефлектора и в тракте транспортировки пучка к измерительному павильону. Чтобы свести к минимуму эти потери, приходится применять внутри ускорителя довольно громоздкие ахроматические нонно-оптические системы, улучшающие фокусировку пучка. Однако даже при применении таких систем на бетатроне (США) удалось вывести до 40% циркулирующего пучка ^{/2,3/}, а на NIMROD'e (Англия) -12% ^{/4/}. Поэтому в настоящее время предпочтение отдается методам вывода, при которых заброс частиц в дефлектор осуществляется посредством резонансной раскачки бетатронных радиальных колебаний за счет возбуждения параметрического ^{/5,6/}, простого ^{/7/} или нелинейного резонанса третьего порядка ^{/8,9/}. При возбуждении указанных резонансов происходит резкое возрастание амплитуд радиальных колебаний и одновременно группировка по фазам на определенном азимуте. Располагая дефлектор на этом азимуте, можно осуществить эффективный заброс частиц в его зазор. Разброс по углам у частиц, попавших в зазор дефлектора, получается в этом случае очень малым, а разброс по энергиям не превышает разброса по энергиям в ускоренном пучке. Это позволяет простыми техническими средствами добиться хорошей фокусировки выведенного пучка и повысить эффективность вывода. Резонансные методы реализованы на ряде ускорителей ^{/8,7,10/} и дают эффективность вывода около 70%.

На синхрофазотроне ОИЯИ разработана резонансная система вывода, позволяющая вывести 70-80% циркулирующего пучка ^{/11/}. Раскачка радиальных бетатронных колебаний производилась посредством возбуждения параметрического резонанса $\nu = \frac{1}{2}$

в центральной части рабочей области синхрофазотрона, где происходит ускорение пучка. Длительность вывода определяется условиями возбуждения резонанса и составляет около 100 мксек. Такая длительность является благоприятной при проведении физических экспериментов с пузырьковыми камерами, однако, при применении электронно-счетной аппаратуры и методики искровых камер требуется значительно увеличить время вывода. В настоящей статье описан способ использования параметрического резонанса $\nu = \frac{1}{2}$ для медленного вывода частиц из синхрофазотрона.

Чтобы решить эту задачу, необходимо создать условия, соответствующие полупелому параметрическому резонансу, только в наружной половине рабочей области ускорителя, вне его центральной орбиты. Другая половина остается невозмущенной и пригодна для нормального ускорения пучка. В нужный момент цикла ускорения, когда требуется произвести вывод, пучок тем или иным способом медленно смещается в резонансную половину рабочей области. По мере смещения частиц в эту область возникает резонансная раскачка радиальных бетатронных колебаний и частицы забрасываются в зазор дефлектора. В отличие от упомянутой системы быстрого вывода ^{/11/} раскачка радиальных бетатронных колебаний в этом случае производится не за счет возбуждения резонансных условий в области, где происходит ускорение пучка, а за счет медленного смещения частиц в область, где резонансные условия созданы заблаговременно. Поэтому длительность вывода определяется скоростью смещения пучка в резонансную область.

Рассмотрим такую систему на примере синхрофазотрона ОИЯИ. Условия, соответствующие полупелому параметрическому резонансу в наружной части рабочей области, можно создать путем изменения в этой области показателя поля n на величину Δn на протяжении половины периметра ускорителя по азимуту. При этом частота радиальных бетатронных колебаний в возмущенной области изменится на величину

$$\Delta \nu = \frac{\Delta n}{4\nu_0} \left(1 + \frac{2\ell}{\pi R_0} \right),$$

где ν_0 - число колебаний на одном обороте в отсутствие возмущения, R_0 - равновесный радиус, ℓ - длина прямолинейного промежутка. В соответствии с видом возмущения амплитуда первой гармоники разложения Фурье величины Δn равна

$$d = \frac{2\Delta n}{\pi} \left(1 + \frac{2}{\pi R_0} \right).$$

Характер движения частиц при резонансе (см., например, ^{/12/}) определяется величиной расстройки $\delta = \nu - \frac{1}{2}$, где $\nu = \nu_0 + \Delta \nu$, и шириной резонансной полосы $\pm |P|$, где $P = \frac{d}{4\nu}$. При $\delta \gg |P|$ резонанс не действует. Если каким-либо способом уменьшать расстройку, то по мере приближения к границе резонансной полосы амплитуда бетатронных радиальных колебаний начинает возрастать и возникают биеения. При дальнейшем уменьшении расстройки δ рабочая точка смещается внутрь резонансной полосы ($\delta < |P|$), и

происходит резкое нарастание амплитуд, а фазы колебаний группируются таким образом, что максимум колебаний всех частиц достигается на азимуте, соответствующем концу возмущения. В соответствии с изложенным, для того чтобы получить интенсивную раскачку радиальных колебаний при выводе необходимо осуществить нарастание величины Δa в направлении радиуса. Тогда по мере смещения ускоренных частиц в возмущенную область величина расстройки δ будет уменьшаться, а ширина резонансной полосы P будет увеличиваться. Место расположения дефлектора относительно центральной орбиты, а также величины возмущения Δa и скорость его нарастания в направлении радиуса должны быть выбраны такими, чтобы для каждой частицы в момент заброса в дефлектор удовлетворялось условие $\delta < |P|$. В этом случае можно получить большую эффективность вывода, так как удается избежать режима бибений и при забросе пучка в зазор дефлектора обеспечить достаточно большой темп нарастания амплитуд и группировку колебаний на фазе.

На рис. 1 показана система медленного вывода для синхрофазотрона ОИЯИ. Для возбуждения резонанса в наружной части рабочей области служит обмотка, состоящая из проводников I, II, III, IV, расположенных на верхнем и нижнем полюсах в двух квадрантах магнита синхрофазотрона. Кривой 1 показана исходная картина распределения показателя n в направлении радиуса R при индукции в зазоре ускорителя 12600 гаусс, соответствующей концу цикла ускорения. Видно, что при больших индукциях в зазоре магнита величина показателя поля n сильно возрастает по направлению к наружному краю полюса, поэтому необходимое распределение показателя n в наружной части рабочей области может быть создано только двумя проводниками I и II. Проводники III и IV, помещенные вне вакуумной камеры, являются обратными, и не влияют на распределение n в рабочей области. На рис. 1 кривой 2 показано распределение n в направлении радиуса при включении в проводники I и II тока 340 а, которое соответствует резонансным условиям в наружной части рабочей области. Распределение добавочной величины Δn показано кривой 3. Горизонтальный размер пучка в конце ускорения в синхрофазотроне ОИЯИ составляет 15 см. Поэтому при показанной картине распределения n (кривая 2 рис. 1) нормальное ускорение пучка может быть обеспечено во внутренней части рабочей области на расстоянии 10 см от центральной орбиты. Вывод пучка производится в момент, когда магнитное поле в синхрофазотроне начинает спадать после инвертирования. Для этого ускорение прекращается, и скорость спада магнитного поля уменьшается. Ускоренные частицы медленно смещаются наружу и попадают в резонансную область. При рассмотренной картине распределения n (кривая 2 рис. 1) дефлектор целесообразно расположить на расстоянии 20 см снаружи от центральной орбиты. В этом случае частицы за время от момента входа в резонансную область до момента заброса в дефлектор успевают войти в резонанс, поэтому уг-

ловой разброс у заброшенных в дефлектор частиц мал, а темп возрастания амплитуд достигает достаточной величины. Ток в обмотке, возбуждающей резонанс, должен достигать заданной величины до начала вывода и поддерживаться постоянным в течение всего времени вывода. Длительность вывода определяется скоростью спада магнитного поля. Медленное смещение пучка наружу можно осуществлять и другими методами. Можно, например, медленно уменьшать частоту или амплитуду ускоряющего высокочастотного напряжения. Однако изменение скорости спада магнитного поля является предпочтительным. В этом случае выведенный пучок не будет содержать высокочастотной временной структуры. Кроме того, энергетический разброс частиц в выведенном пучке будет существенно меньше, что облегчает его фокусировку. Поскольку при полупелом параметрическом резонансе группировка частиц по фазам радиальных бетатронных колебаний происходит на строго определенном азимуте, совпадающем с конком возмущения, дефлектор целесообразно поместить в прямолинейном промежутке, находящемся вблизи конца возмущения. Взаимное расположение дефлектора и возбуждающих обмоток на синхрофазотроне показано на рис. 2. Для того чтобы не препятствовать инжекции и нормальному ускорению пучка в синхрофазотроне, дефлектор должен вводиться в рабочее положение к концу цикла ускорения с помощью пилунжерного устройства.

Описанная система позволяет осуществлять эффективный вывод пучка из синхрофазотрона за время ~ 100 мсек. Однако в практике физического эксперимента часто бывает необходимо, чтобы медленный и быстрый вывод производился по одному направлению. В этом случае ускоренный пучок может быть использован для работ с различной экспериментальной аппаратурой, расположенной в одном измерительном павильоне. Для того чтобы это осуществить, можно легко совместить описанную систему медленного вывода с ранее разработанной системой быстрого вывода^{/11/}. Такая универсальная система вывода должна состоять из двух обмоток и одного дефлектора, который используется как при быстром, так и при медленном выводе. Обе обмотки должны охватывать одну и ту же половину кольца ускорителя. Одна из них служит для создания резонансных условий в центральной части рабочей области при быстром выводе, другая — в наружной части рабочей области при медленном выводе. Магнит-дефлектор должен быть расположен в наружной части рабочей области ускорителя, а его местоположение по азимуту должно совпадать с концом возмущения. Такая система позволяет осуществлять эффективный вывод пучка из ускорителя с малым эмитансом и малым энергетическим разбросом. При этом длительность вывода может изменяться в широких пределах от 50 мксек до 100 мсек.

Л и т е р а т у р а

1. O.Piccioni, D.Clark, R.Cool, G.Friedlander, D.Kassner. Rev. Sci. Instr., 26, 232 (1955).
2. W.A.Wenzel. Доклад на Международной конференции по ускорителям высоких энергий, Дубна, 1963 г.
3. W.W.Chupp, T.Eliof, W.A.Wenzel, UCRL-16228. Доклад на V Международной конференции по ускорителям высоких энергий, Фраскати, 1965.
4. A.J.Egginton, D.A.Gray, N.M.King, W.A.Mathews, R.H.C.Morgan, M.J.O'Connell, D.Whiteside. Доклад на V Международной конференции по ускорителям высоких энергий, Фраскати, 1965 г.
5. Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский, В.И.Котов, Е.М.Кулакова, К.П.Мызников, Н.И.Павлов. Доклад на Международной конференции по ускорителям высоких энергий, Дубна 1963 г.
6. F.W.Brasse, G.E.Fischer, M.Fotino, K.W.Robinson. Доклад на Международной конференции по ускорителям высоких энергий, Дубна, 1963.
7. H.G.Herward. Доклад на Международной конференции по ускорителям высоких энергий, Дубна, 1963 г.
8. A.Turrin. Nuovo Cimento., 8, 511 (1958).
9. J.W.Benoit, K.B.Conner, J.Kirchgessuer, F.C.Shoemaker. Proceedings of the First National Particle Accelerator Conference, Washington, 1965-IEEE Nuc. Sc. Transactions, vol. NS-12, no. 3, 962 (1965).
10. U.Bizzarri and A.Turrin. Nuovo Cimento, 37, 751 (1965).
11. Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский, В.И.Котов, Е.М.Кулакова, К.П.Мызников, Н.И.Павлов. Препринт ОИЯИ Р-2387, Дубна 1965г.
12. А.А.Коломенский, А.Н.Лебедев. Теория циклических ускорителей. Ф.М.1962 г.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 января 1966 г.

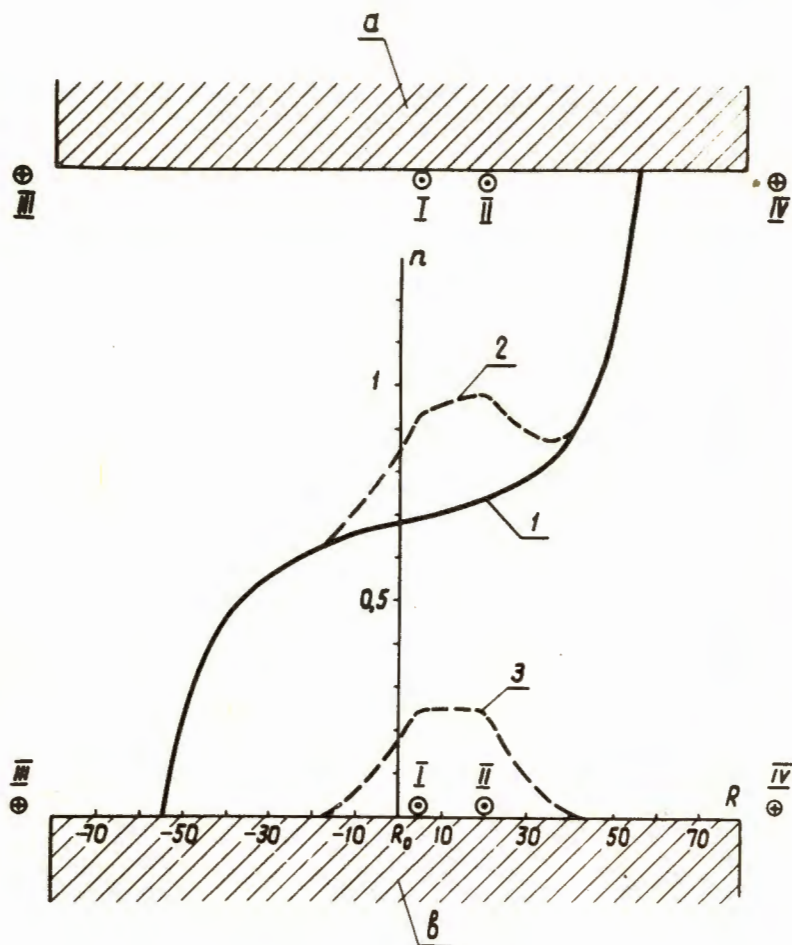


Рис. 1. Расположение проводников возбуждающей обмотки на полюсах магнита синхрофазотрона; а - верхний полюс, б - нижний полюс. Указано направление тока в проводниках. Кривой 1 показана исходная картина распределения n в направлении радиуса при индукции в зазоре синхрофазотрона 12600 гс. Кривой 2 показано, как изменяется это распределение при включении в возбуждающую обмотку тока 340 а. Кривая 3 - добавочная величина Δn .

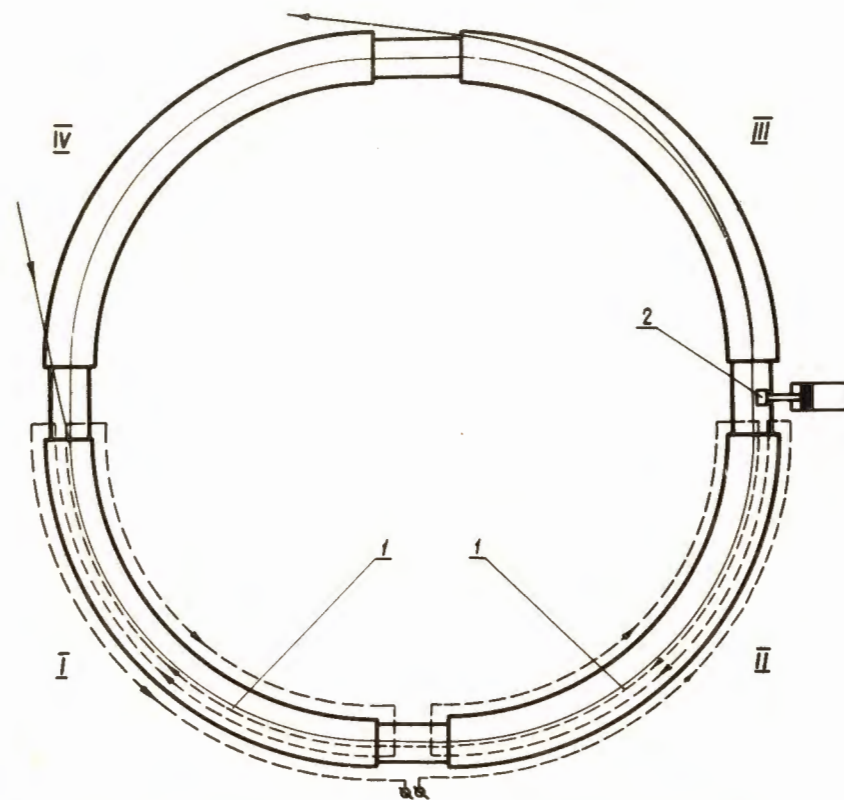


Рис. 2. Схема расположения устройств в камере синхрофазотрона для медленного вывода пучка протонов; I, II, III, IV - квадранты синхрофазотрона, 1 - обмотка, возбуждающая резонанс, 2 - магнит-дефлектор с плунжерным устройством.