

P9-2010-150

С. Н. Доля

ЛИНЕЙНО-ЦИКЛИЧЕСКИЙ УСКОРИТЕЛЬ ПРОТОНОВ
С ЭНЕРГИЕЙ 0,8 ГэВ НА БАЗЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО
РЕЗОНАТОРА С E_{110} -ВОЛНОЙ

Доля С. Н.

P9-2010-150

Линейно-циклический ускоритель протонов с энергией 0,8 ГэВ на базе прямоугольного резонатора с E_{110} -волной

Рассматривается ускорение протонов в резонаторе с параметрами: длина $l = 10$ м, ширина $b = 20$ м, высота $a = 1,01$ м, расположенном между двумя поворотными (180°) магнитами с изохронным магнитным полем. Резонатор нагружен рядами пластин (трубок) дрейфа, в нем возбуждается волна типа E_{110} на частоте $f_0 = 148,5$ МГц, мощность возбуждения $P_1 = 5,65$ МВт. Дополнительно в резонатор подается мощность $P_2 = 8$ МВт, которая передается в пучок протонов с параметрами: конечная энергия 0,8 ГэВ, импульсный ток пучка $I = 10$ мА, длительность импульса 25 мкс, частота повторения 10 Гц. Обсуждается возможность создания на базе такого ускорителя импульсного источника нейтронов с интенсивностью $I_n = 3 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В. П. Дзелепова ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2010

Dolya S. N.

P9-2010-150

Linear-Circular Proton Accelerator with Energy 0.8 GeV on the Basis of a Rectangular Cavity with Wave E_{110}

We consider the acceleration of protons in the cavity with parameters: length $l = 10$ m, width $b = 20$ m, height $a = 1.01$ m, located between the two steering (180°) magnets with isochronous magnetic field. The resonator is loaded with rows of plates (tubes) of the drift, it is excited by a wave of type E_{110} at a frequency of $f_0 = 148.5$ MHz, the excitation power $P_1 = 5.65$ MW. Additionally, the cavity is fed power $P_2 = 8$ MW, which is transmitted into a beam of protons with the parameters: the final energy 0.8 GeV, the pulse beam current $I = 10$ mA, pulse width 25 μs , repetition rate 10 Hz. We discuss the possibility of creating, on the basis of such an accelerator, a pulsed neutron source with intensity $I_n = 3 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$.

The investigation has been performed at the Dzhelepov Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2010

В настоящее время при исследованиях в физике конденсированного состояния вещества все еще существует довольно сильный «нейтронный» голод. Это означает, что существующих в настоящее время нейтронных источников явно меньше, чем задач, требующих нейтронов для своего решения.

ИМПУЛЬСНЫЕ НЕЙТРОННЫЕ ИСТОЧНИКИ

Принцип действия нейтронного источника, основанного на реакции скалывания, хорошо известен [1]. Когда высокоэнергетичный протон попадает в ядро, он последовательно взаимодействует с его нуклонами, передавая им часть своей энергии. Получившие энергию нуклоны, в свою очередь, взаимодействуют с другими нуклонами. В результате такого внутриядерного каскада энергия налетевшего протона перераспределяется по все большему количеству нуклонов ядра и через некоторое время образуется составное ядро. Часть нуклонов в процессе развития внутриядерного каскада вылетает из ядра. Такой процесс называется скалыванием или выбиванием.

Суть предложения состоит в том, чтобы создать импульсный нейтронный источник на базе протонного ускорителя со следующими параметрами: энергия протонов $W_{\text{fin}} = 0,8$ ГэВ, импульсный ток пучка протонов $I_p = 10$ мА, длительность импульса $\tau_p = 25$ мкс, частота срабатывания $F = 10$ Гц.

Логика построения импульсных нейтронных источников следующая. Измерение скорости рассеянных нейтронов удобно проводить по измерению времени пролета нейтронов от мишени до детектора. Скорость теплового нейтрона $V_n = 2,2$ км/с, и при разумной длине канала $l_{\text{ch}} = 10$ м нейтрон будет пролетать это расстояние за время $\tau_1 = 5$ мс. Разрешение 1% по времени пролета считается «хорошим», и это значит, что длительность вспышки нейтронного импульса должна быть короче $\tau_2 < 50$ мкс.

Частота срабатывания ускорителя не может быть слишком большой: надо, чтобы быстрые нейтроны от следующей вспышки прилетели на мишень позже медленных (тепловых) нейтронов от предыдущего срабатывания. Поскольку время пролета тепловым нейтроном расстояния (базы) $l_{\text{ch}} = 10$ м составляет величину порядка 5 мс, время между вспышками должно быть не менее 10 мс и частота срабатывания $F < 100$ Гц. При длине каналов $l_{\text{ch}} = 100$ м частота срабатывания должна быть меньше $F < 10$ Гц.

Средний, за 1 с, поток нейтронов должен быть, по возможности, большим, порядка 10^{14} с⁻¹, и это требует большого импульсного тока протонов — десятки миллиампер.

ТРАДИЦИОННАЯ СХЕМА — ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ РЕЗОНАТОР

Обычный линейный ускоритель протонов с трубками дрейфа состоит из цилиндрического резонатора, в котором возбуждается волна E_{010} , так называемая структура Альвареса. Трубки дрейфа расположены на оси резонатора и расставлены таким образом, что существует резонанс между волной и ускоряемой частицей. Такая структура является резонансной и рассчитана (при заданном отношении Z/A , где Z — заряд частицы, A — атомная масса) только на одну определенную скорость частицы. Пространственный период такой структуры равен $L = \beta\lambda_0$, где $\beta = V/c$, V — скорость частицы, $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/с — скорость света в вакууме; $\lambda_0 = c/f_0$ — длина волны ускорения, f_0 — частота ускоряющего ВЧ-поля. Для частицы, имеющей другую скорость, трубки дрейфа надо расставлять иначе.

В работе предлагается вместо цилиндрического резонатора использовать прямоугольный резонатор, в котором следует расставить несколько рядов пластин дрейфа. Пластины в данном случае удобнее использовать потому, что при ускорении пучок будет смещаться в поперечном направлении, как в циклотронах, и на стенках трубок дрейфа возможны потери пучка. При использовании пластин дрейфа пучок будет двигаться внутри них так же, как внутри дуантов циклотрона.

Резонатор должен быть расположен внутри двух поворотных магнитов, которые отстоят друг от друга примерно на расстоянии $L \approx 15$ м. В резонаторе с длиной $l = 10$ м, с напряженностью поля $E \sin \phi_s = 1$ МВ/м, ϕ_s — синхронная фаза, $\sin \phi_s = 0,866$, протон будет набирать энергию $\Delta W_{\text{рез}} = 20$ МэВ за оборот, и после 40 оборотов пучок можно будет выводить на мишень. Схема ускорителя показана на рис. 1.

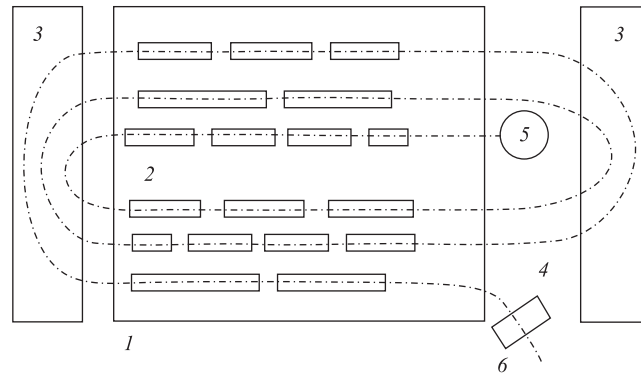


Рис. 1. Структура ускорителя: 1 — прямоугольный резонатор с волной типа E_{110} ; 2 — пластины дрейфа, подвешенные на штангах; 3 — поворотные (180°) магниты; 4 — орбиты пучка; 5 — система внешней инъекции пучка в ускоритель; 6 — система вывода пучка из ускорителя

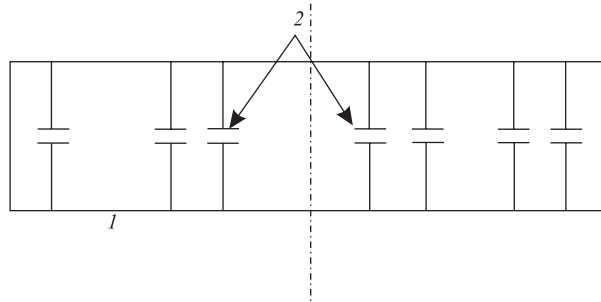


Рис. 2. Поперечное сечение резонатора: 1 — прямоугольный резонатор с волной типа E_{110} ; 2 — пластины дрейфа, закрепленные на штангах

Прямоугольный резонатор будет отличаться от обычного, круглого, прежде всего тем, что в нем должны быть установлены несколько рядов пластин дрейфа, каждый ряд под свою энергию протонов. На рис. 2 показано, как пластины дрейфа могут быть закреплены к верхнему и нижнему днущу резонатора.

РАЗМЕРЫ РЕЗОНАТОРА

В магнитном поле со средней напряженностью B пучок поворачивается по радиусу

$$r_b = V/\omega_B. \quad (1)$$

Для конечной скорости $V = 2,5 \cdot 10^{10}$ см/с, соответствующей энергии протонов $W_{\text{fin}} = 0,8$ ГэВ, для среднего поля $B = 7,4$ кГс значение частоты вращения получится равным

$$\omega_B = eB/(Mc\gamma), \quad (2)$$

$\omega_B = 4 \cdot 10^7$, радиус вращения получится равным $r_b = 6,25$ м, соответственно, диаметр полюсного наконечника магнита должен быть порядка $D = 14$ м. Для сравнения на рис. 3 приведен общий вид циклотрона PSI [2], где начальная энергия протонов составляет $W_{\text{in}} = 72$ МэВ, конечная энергия равна $W_{\text{fin}} = 590$ МэВ, диаметр магнита ~ 9 м.

Поле в резонаторе распределено по вертикали как $\sin(\pi z/a)$, где вертикальная координата z отсчитывается от нижней плоскости резонатора. На нижнем днущу при $z = 0$ напряженность электрического поля равна нулю; в центре резонатора, в медианной плоскости, при $z = a/2$ поле максимально; на верхнем днущу резонатора при $z = a$ поле снова равно нулю.



Рис. 3. Общий вид циклотрона PSI

По горизонтальной координате поле распределено тоже по синусу: $E = \sin \pi y/b$, так что на левой вертикальной стенке резонатора при $y = 0$ поле равно нулю; в центре резонатора при $y = b/2$ поле максимально; на правой стенке резонатора поле снова равно нулю. Таким образом, рабочей является только средняя область прямоугольного резонатора, что хорошо видно на рис. 4 [3].

В нашем случае, когда радиус поворота пучка в магнитном поле составляет величину порядка 6,25 м, примерно настолько же должна распространяться «ускоряющая» щель, т. е. поперечный полуразмер резонатора должен быть порядка $b/2 = 10$ м.

Рассчитаем длину волны для колебания типа TM_{110} или, что то же самое, E_{110} , возбуждаемого в резонаторе с поперечными размерами $a = 1,01$ м, $b = 20$ м:

$$\lambda_0 = 2/[(n/a)^2 + (m/b)^2]^{1/2}, \quad (3)$$

где $n = 1$ — индекс вертикального направления, назовем его z ; $m = 1$ — индекс для поперечного направления (это «бывшее» радиальное направление), назовем его y . Подставляя в формулу (3) численные значения, получим резонансную длину волны $\lambda_0 = 2,02$ м, что соответствует частоте $f_0 = c/\lambda_0 = 148,5$ МГц. Известно, что трубки дрейфа не сильно искажают собственную частоту резонатора.

Выберем синхронную фазу для ускорения протонов в резонаторе равной $\phi_s = 60^\circ$, $\sin \phi_s = 0,866$. Формула, связывающая высокочастотную мощность P с напряжением между торцевыми стенками резонатора U , выглядит

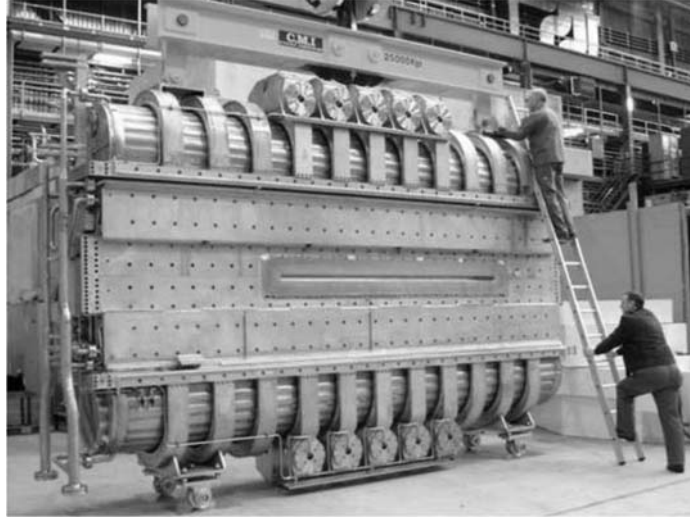


Рис. 4. Ускоряющий резонатор циклотрона PSI

следующим образом:

$$P = U^2/2R_{ш}, \quad (4)$$

где $R_{ш}$ — так называемое шунтовое сопротивление резонатора. Шунтовое сопротивление, в свою очередь, может быть выражено через характеристическое сопротивление ρ_s и добротность резонатора Q , $R_{ш} = \rho_s Q$. Добротность резонатора можно оценить как отношение объема резонатора к объему скин-слоя:

$$Q = V/V_s, \quad (5)$$

где $V = abl$ — объем резонатора; $V_s = 2\delta(ab + al + bl)$ — объем, занимаемый скин-слоем. Толщина скин-слоя равна $\delta = c/(2\pi\sigma\omega_0)^{1/2}$, где σ — проводимость; ω_0 — круговая частота. Для меди $\delta = 5,38 \cdot 10^{-6}$ м, и, подставляя численные значения, получаем $Q = 8 \cdot 10^4$.

В практической системе единиц резонансная частота резонатора может быть записана в виде

$$\omega_0 = \pi/(\varepsilon\mu)^{1/2}[l/a^2 + l/b^2]^{1/2}, \quad (6)$$

запасенная энергия

$$W = (\varepsilon/2) \int E^2 dV. \quad (7)$$

Поскольку объем резонатора равен $V = abl$, то запасенная энергия равна

$$W = (\varepsilon/2)E^2 abl(4/\pi^2). \quad (8)$$

Считая, что $E^2 l^2 = U^2$, где l — продольный размер резонатора, получаем

$$W = (\varepsilon/2)U^2(4/\pi^2)(ab/l). \quad (9)$$

Подставляя W в выражение для характеристического сопротивления ρ_s , которое может быть записано в виде $\rho_s = U^2/2\omega_0 W$, где ω_0 — круговая частота колебаний, $\omega_0 = 2\pi f_0$; W — запасенная в резонаторе энергия, находим, что

$$\rho_s = U^2/2\omega_0 W = \{2\pi/(\varepsilon\mu)^{1/2}[l/a^2 + l/b^2]^{1/2}(ab/l)\varepsilon(2/\pi^2)\}^{-1}. \quad (10)$$

После сокращения на $\varepsilon^{1/2}$ и несложных преобразований получим

$$\rho_s = (\pi/4)[l/(a^2 + b^2)^{1/2}]Z_0, \quad (11)$$

где $(\mu/\varepsilon)^{1/2} = Z_0 = 377$ Ом — волновое сопротивление вакуума в практической системе единиц.

При подстановке цифр находим, что характеристическое сопротивление резонатора $\rho_s = 148$ Ом, шунтовое сопротивление резонатора $R_{ш} = \rho_s Q = 11,8$ МОм, и для того чтобы получить напряжение $U \sin \phi_s = 10$ МВ, между торцами резонатора потребуется мощность

$$P = U^2/2R_{ш} = 5,65 \text{ МВт}. \quad (12)$$

Высокочастотная мощность, необходимая для ускорения пучка, потребуется большая, так как только мощность, передаваемая в пучок, при токе пучка $J_b = 10$ мА и энергии $W_p = 0,8$ ГэВ должна быть не менее $P_{acc} = 8$ МВт.

Мощность созданного на базе лампы ВЧ-генератора ГИ-27А составляет 5 МВт [4], так что потребуются по крайней мере 2 таких генератора, передающих ВЧ-мощность в пучок.

ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА РАБОТЫ УСКОРИТЕЛЯ

Период колебаний высокочастотного поля равен $T = 1/f_0 = 6,7$ нс. Чтобы в резонаторе установилось рабочее напряжение, потребуется время $\tau_{HF} = 3QT$, примерно равное 1,6 мс.

Пусть средний периметр орбиты в ускорителе равен: $\Pi = 50$ м, тогда полная длина ускорения протона будет равна $L_{acc} = \Pi N = 2$ км, где $N = 40$ — число оборотов пучка внутри ускорителя, за которое набирается конечная энергия. Это число оборотов определяется как $N = W_{fin}/\Delta W_{рез}$, $W_{fin} = 0,8$ ГэВ — конечная энергия протонов; $\Delta W_{рез} = 20$ МэВ — набор энергии за один оборот. Средняя скорость протона в процессе ускорения V_{av} составляет примерно $c/2$, где $c = 3 \cdot 10^5$ км/с — скорость света в вакууме, или

$V_{av} = 1,5 \cdot 10^5$ км/с. При этом время ускорения — время, которое проводит протон внутри ускорителя, равно $\tau_{acc} = L_{acc}/V_{av} \approx 15$ мкс.

Мощность, которую надо передавать в пучок, $P_{acc} = 8$ МВт почти в 2 раза больше мощности, необходимой для подъема поля в резонаторе до значения, соответствующего $U \sin \phi_s = 10$ МВ. Мощность, идущую в пучок, по-видимому, надо подводить от нескольких генераторов, по крайней мере двух, суммировать на резонаторе и увеличивать ее постепенно, в соответствии с заполнением пучком ускорителя. Время подъема мощности, таким образом, составит $\tau_{acc} = 15$ мкс; также постепенно, во избежание потерь пучка и пробоев, мощность, идущую в пучок, надо снижать. При длительности «стола» ускорения $\tau_{acc1} = 10$ мкс длительность импульса ускорения будет $\tau_{acc2} = \tau_{acc1} + \tau_{acc} = 25$ мкс.

После отключения генераторов, передающих мощность в пучок, можно будет отключать генератор, возбуждающий ВЧ-поле в резонаторе. При использовании для ускорения протонов более низкой частоты, например $f = 50$ МГц, время подъема поля $\tau_{50} = 7$ мс становится сравнимым со временем паузы между импульсами $\tau_p = 10$ мс при частоте срабатывания $F = 100$ Гц. Тогда имеет смысл поддерживать постоянной напряженность поля в резонаторе $E \sin \phi_s = 1$ МВ/м, а дополнительную ВЧ-мощность вводить только на время ускорения пучка.

ВОЗМОЖНОСТИ ИМПУЛЬСНЫХ ТРИОДОВ ГИ-27А, ГИ-52А

При работе с короткими импульсами с длительностью импульса по основанию $\tau_b = 40$ мкс работа лампы ГИ-27А с частотой $F = 10$ Гц не должна вызывать особых проблем. Иное дело работа генераторов, от которых подводится мощность, идущая на раскачку резонатора. В силу большой длительности импульса здесь также потребуются использование нескольких высокочастотных генераторов, поскольку средняя мощность лампы ГИ-27А относительно невелика, порядка 25 кВт [4]. Длительность импульса лампы ГИ-52А может достигать 2 мс при импульсной мощности 5 МВт и средней мощности 400 кВт [4].

ДИНАМИКА ПРОТОНОВ В ПОВОРОТНЫХ МАГНИТАХ

Рассчитаем для начальной части ускорителя, $\gamma \approx 1$, при каком токе пучка протонов будет получаться кулоновский сдвиг безразмерной частоты

$$\Delta\nu_{tr} = \omega_p/\omega_{tr} < 1. \quad (13)$$

В этой формуле ω_p — плазменная частота колебаний протонов в цилиндрической системе координат, $\omega_p = (2\pi e^2 n_r/M)^{1/2}$; ω_{tr} — частота поперечных

колебаний. Условие ограничения объемной плотности частиц в пучке может быть записано в виде

$$\omega_p < \omega_B, \quad (14)$$

которое сделано в предположении, что частота поперечных колебаний равна частоте обращения и кулоновский сдвиг частоты равен самой частоте, т.е. $\Delta\nu_{tr} = 1$. Таким образом, чтобы кулоновский сдвиг частоты был меньше частоты обращения, объемная плотность частиц в пучке n_r должна быть меньше:

$$n_r < \omega_B^2 M / (2\pi e^2). \quad (15)$$

Из формулы (15) находим, что пиковая плотность частиц в пучке должна быть $n_r < 1,7 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$. Из-за микроструктуры (группировки) пучка средняя плотность протонов в пучке \tilde{n} будет примерно на порядок меньше пиковой: $\tilde{n} < 1,7 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}$.

Соответствующий средней плотности частиц $\tilde{n} < 1,7 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}$ ток должен быть меньше, чем

$$J_l < 1,6 \cdot 10^{-19} \tilde{n} V S, \quad (16)$$

где $V = 4,23 \cdot 10^9 \text{ см/с}$ — скорость протонов в начале ускорения; $S = 1 \text{ см}^2$ — поперечное сечение пучка. Подставляя цифры в формулу (16), получаем $J_l < 115 \text{ мА}$, что значительно больше требуемого тока пучка $J_b = 10 \text{ мА}$.

В линейных ускорителях достигнутые импульсные токи пучка также значительно превосходят величину $J_b = 10 \text{ мА}$.

ИНЖЕКЦИЯ В ИЗОХРОННОЕ ПОЛЕ

Найдем требуемый радиус инжекции и радиус пучка после первого полуоборота при горизонтальной инжекции пучка. Будем считать поле в центре $B_0 = 4 \text{ кГс}$ и кинетическую энергию протона $W_{in} = 10 \text{ МэВ}$. Изохронная циклотронная частота $\omega_B = 4 \cdot 10^7$; по формуле $R = V/\omega_B$ можно найти радиус вращения пучка в магнитном поле: $R_{10} = V/\omega_B = 105 \text{ см}$, где индекс 10 указывает на энергию инжекции пучка; такую энергию протоны приобретают после однократного прохождения резонатора.

После второго прохождения резонатора радиус вращения протона увеличится до $R_{20} = 148 \text{ см}$, шаг орбиты при инжекции составит $\Delta r_{in} = 43 \text{ см}$, и это означает, что инфлектор — поворотный магнит — должен иметь поперечный полуразмер такого же порядка.

При инжекции пучка в мягкофокусирующее поле инжектор, по-видимому, надо располагать вертикально.

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ ПЕРЕНОС ПУЧКА

При инжекции пучка в магнитное поле начальный радиус орбиты $R_{10} = V/\omega_B = 105$ см можно выбрать равновесным. Однако после второго прохождения резонатора равновесный радиус увеличится до $R_{20} = 148$ см, в то время как после прохождения поворотного магнита радиус останется прежним, и это означает, что требуется параллельный перенос пучка на расстояние $R_{20} - R_{10} = 43$ см.

Такой перенос пучка можно осуществить парой поворотных магнитов, один из которых должен отклонять пучок наружу на угол $\theta_{1/2} = (R_{20} - R_{10})/L$, где $L \approx 15$ м — расстояние между поворотными магнитами; другой должен повернуть пучок на такой же угол внутрь. Для первого полуоборота угол получается равным $\theta_{1/2} = 26$ мрад, и по мере увеличения энергии частиц пучка этот угол будет уменьшаться. В предлагаемом ускорителе орбита не параллельна оси резонатора.

ВЫВОД ЧАСТИЦ ИЗ УСКОРИТЕЛЯ

Относительный шаг спирали при выводе протонов из ускорителя можно записать в виде

$$\Delta r/r = \Delta V/V = \Delta\beta/\beta. \quad (17)$$

Дифференцируя выражение $\beta = (1 - \gamma^{-2})^{1/2}$, получаем $\Delta\beta = 1/2(1 - \gamma^{-2})^{-1/2}(2\gamma^{-3})\Delta\gamma$ или $\Delta\beta = \Delta\gamma/\beta\gamma^3$, $\Delta\beta/\beta = \Delta\gamma/\beta^2\gamma^3$, и для шага орбиты при выводе получается формула

$$\Delta r = r_{\text{fin}}\Delta\beta/\beta = r_{\text{fin}}\beta^{-2}\gamma^{-2}(\Delta\gamma/\gamma). \quad (18)$$

Пространственная конфигурация распределения электрического поля в резонаторе такова, что при больших радиусах $r \approx r_{\text{fin}}$ набор энергии за оборот меньше, чем в центре ускорителя, и составляет величину, примерно равную $\Delta\gamma/\gamma = 5 \cdot 10^{-3}$, тогда для конечных значений $\gamma = 1,85$ и $\beta = 0,83$ получим, что шаг орбиты при выводе пучка из магнитного поля $\Delta r \approx 1,3$ см.

ВОЗМОЖНОСТИ НЕЙТРОННОГО ИСТОЧНИКА

Ну и, наконец, оценим, каким может получиться средний поток нейтронов для мишени из урана-238. Выход нейтронов на один протон для урана составляет величину ~ 20 . Длительность импульса пучка можно взять $\tau_{\text{асс2}} = 25$ мкс, частоту срабатывания $F = 10$ Гц. Подставив все цифры, получим $I_n = 3 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://nuclphys.sinp.msu.ru/experiment/neutr_gen/index.html
2. <http://abe.web.psi.ch/accelerators/ringcyc.php>
3. *Seidel M., Schmelzbach P. A.* Upgrade of the PSI Cyclotron Facility to 1.8 MW // Cyclotrons and Their Applications 2007: Eighteenth International Conference, Messina, Italy, 2007.
4. Электровакуумные приборы: Справочник. Т. 16. М.: Мин-во электрон. пром., 1972;
<http://www.qrz.ru/reference/tubes2/impgen.shtml>

Получено 27 декабря 2010 г.

Редактор *А. И. Петровская*

Подписано в печать 18.03.2011.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,81. Уч.-изд. л. 0,97. Тираж 270 экз. Заказ № 57276.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/