

Применение циклотрона МГЦ-20 Радиевого института для производства изотопов

Л.М. Солин, Л.С. Лебедев, А.И. Баранов
НПО «Радиевый институт им. В.Г.Хлопина», Санкт-Петербург, Россия
Б.Н. Тронов, А.В. Галчук
НИИЭФА им. Д.В. Ефремова, Россия

Введение

Циклотрон МГЦ-20 Радиевого института является типичным представителем ускорителей данного типа, производимым НИИЭФА им. Ефремова. К настоящему времени циклотроны МГЦ-20 установлены: четыре в России, по одному в Финляндии, в Венгрии, КНДР и в Египте. Широкий диапазон изменения энергий пучков заряженных частиц разных типов (p , d , α , ${}^3\text{He}$) при приемлемой интенсивности обеспечивает широкое применение циклотрона.

Первый пучок на циклотроне МГЦ-20 в НПО "Радиевый институт" был получен в сентябре 1988 г. С тех пор был проведен большой объем работ, как по совершенствованию и исследованию работы самого циклотрона, так и по использованию его в научных и прикладных исследованиях. Основное направление деятельности на циклотроне – производство радиоизотопов для медицины. Приоритеты в выборе радиоизотопов согласовывались с потребностями медицинских учреждений Санкт-Петербурга и к настоящему времени отработаны технологии получения нуклидов йод-123, галлий-67 и индий-111. Кроме того, в Радиевом институте проводились работы по оценке возможностей получения таких нуклидов как технеций-95м, ксенон-127, а также изотопов для экологических исследований. В данной работе кратко дается информация о получении радионуклидов йода-123, галлия-67 и индия-111, а также о совершенствовании работы циклотрона МГЦ-20 и предложения по его модернизации.

1. Изотопы для медицины

Йод-123. С 1962 г. этот нуклид считается идеальной меткой для многих радиофармпрепаратов. Основная причина его огромного потенциала лежит в "органичности" изотопа иод-123, который может замещать атомы водорода почти всех органических соединений. С другой стороны, огромные преимущества иода-123 – низкая радиационная доза для пациентов и высокое качество сцинтиграмм. Его дозовая нагрузка в 50-100 раз меньше, чем от широко используемого реакторного нуклида иода-131. Радиофармпрепараты, меченые йодом-123, широко используются для исследований различных заболеваний.

${}^{123}\text{I}$ – гамма-излучатель, вид распада – электронный захват. Время жизни 13.3 часа. Основная гамма- линия 159 кэВ.

Существуют около 20 реакций получения йода-123. Мы считаем, что реакция ${}^{123}\text{Te}(p,n){}^{123}\text{I}$ по ряду причин более всего подходит для циклотрона МГЦ-20. В качестве мишени используется двуокись обогащенного теллура-123 на платиновой подложке. Мишень бомбардируется протонным пучком с энергией около 15 МэВ. После облучения мишень нагревается, и выделившийся йод поглощается и растворяется в растворе NaOH. Одна из причин выбора реакции – простота выделения йода-123 из материала сырья в виде, удобном для мечения различных соединений.

В 1997 году была достигнута радионуклидная чистота 99,97% при использовании теллуровой мишени с обогащением 99,3% по изотопу теллур-123. Йод более высокой радионуклидной чистоты не имеет смысла производить.

В Радиевом институте нарабатываемый на циклотроне йод-123 используется для производства радиофармпрепаратов йодид натрия и гиопуран, которые еженедельно поставляются в клиники С.-Петербурга. К настоящему времени с радиофармпрепаратами мечеными йодом-123 выполнено более 200 тысяч исследований.

Галлий-67 и индий-111 являются наиболее важными нуклидами для диагностики опухолевых заболеваний и воспалительных процессов. Технологии получения этих нуклидов отработаны в Радиевом институте.

${}^{67}\text{Ga}$ – гамма-излучатель, вид распада – электронный захват. Время жизни 78.1 часа. Основные гамма-линии – 93.2, 184.6 и 300.2 кэВ.

Для получения галлия-67 на циклотроне МГЦ-20 наиболее подходит реакция $^{67}\text{Zn}(p,n)^{67}\text{Ga}$ при облучении мишени, обогащенной по изотопу Zn-67 протонным пучком 10-15 А с энергией около 15 МэВ. Радионуклидная чистота продукта зависит как от примесей изотопов в стартовом материале, так и от выходов продуктов, образующихся в реакциях, отличных от (p,n) (в основном (p,2n)). Дочерние продукты всех изотопов, за исключением цинка-67, достаточно короткоживущие и, таким образом, распадающиеся через несколько часов, после окончания облучения. Единственный продукт, который может составить конкуренцию галлию-67, – это галлий-66 со временем жизни 9.4 часа и энергиями гамма-лучей 511; 1039 и 2752 кэВ. Он является продуктом реакций $^{66}\text{Zn}(p,n)$ и $^{67}\text{Ga}(p,2n)$. На конец облучения вклад его активности достигает 20 %. Однако после “охлаждения” в течение 2 дней его вклад становится пренебрежимым. Радионуклидная чистота продукта через два дня превышает 99.2%. Другие бета- и гамма-излучатели отсутствуют.

Хлорид галлия-67 используется в Радиевом институте для получения цитрата галлия-67.

Индий-111 – гамма-излучатель, вид распада – электронный захват. Время жизни 67.9 часа. Основные гамма-линии – 171.3 и 245.4 кэВ.

^{111}In получается при облучении стартового материала Cd обогащенного изотопом ^{111}Cd (95%) протонным пучком используя реакцию $^{111}\text{Cd}(p,n)^{111}\text{In}$. Энергия пучка около 15 МэВ, ток пучка 10-15 А.

Отделение произведенного нуклида выполняется с использованием метода обменной хроматографии подобно выделению галлия-67. Радионуклидная чистота продукта определяется как наличием в стартовом материале изотопов, отличных от ^{111}In , так и выходами продуктов, образованных в реакциях, отличных от (p,n) (в основном в (p,2n)).

Раствор хлорида индия-111 является сырьем для производства радиофармпрепаратов на основе индия-111. Он может быть использован через 250 часов после даты калибровки.

2. Совершенствование работы циклотронного комплекса

Работы осуществлялись по отдельным системам ускорителя и в области создания автоматической системы управления всеми системами на базе персонального компьютера. Основными задачами, решаемыми при модернизации оборудования, являются повышение надежности, экономичности и качественных показателей оборудования. Причем одним из способов повышения надежности является установка резервных систем обеспечивающих возможность быстрого переключения (подключения). Кроме того, проведены работы по оценке возможностей ускорения отрицательных ионов водорода.

ВЧ-система. Что касается высокочастотной системы, то работам по исследованию и совершенствованию каждой из ее составляющих было уделено больше всего внимания.

1 – синтезатор частот. Для повышения надежности и стабильности опорной частоты синтезатор частот полученный при поставке оборудования в 1998 году заменен на новый, изготовленный фирмой “Инсаенс”. Синтезатор удобен в управлении, имеет высокую стабильность выходного напряжения и возможность управления от компьютера.

| | |
|---------------------------------|-------------------|
| Диапазон рабочих частот | 0-30 МГц |
| Амплитуда выходного сигнала | 0-4 В |
| Нестабильность частоты за сутки | $1 \cdot 10^{-9}$ |

2 – аперриодический усилитель. Ламповый вариант усилителя, содержащий 7 радиоламп и 5 стабилизированных блоков питания для повышения надежности, улучшения обслуживания, заменен на новый широкополосный усилитель выполненный на современных радиокомпонентах разработанный и изготовленный сотрудниками НИИЭФА.

| | |
|---|----------|
| Полоса частот | 8-30 МГц |
| Входное напряжение ВЧ-сигнала | 0.5 В |
| Выходное напряжение ВЧ (максимальное) | 40 В |
| Диапазон входного управляющего напряжения | 0 +1.2 В |

3 – предоконечный каскад. Для снижения энергопотребления и повышения надежности работы при производстве изотопов медицинского назначения (энергия протонов 15.5 МэВ) в Радиевом институте разработан ПОК на 4 лампах ГУ-74б вместо 14.

4 – окончательный каскад. Для совершенствования высокочастотной системы были проведены работы по проверке возможности использования ламп ГУ-76 (тетрод) в окончательном каскаде генератора высокой частоты. Проверялись 2 варианта включения тетрода ГУ-76 схема с общей сеткой и схема с общим катодом. В схеме с заземленной управляющей сеткой (подача возбуждения на катод) получили режим, совпадающий по своим показателям с показателями для триода ГУ-67. Следовательно, тетроды ГУ-76 могут использоваться для выходного каскада высокочастотной системы МГЦ-20.

Источник ионов. Совершенствование работы ионного источника осуществлялось в двух направлениях. С одной стороны, для улучшения охлаждения анодного блока было предусмотрено дополнительное охлаждение воды отводящей тепло от анодного блока, с другой стороны, для снижения мощности питания источника был разработан источник питания нити переменным током.

Одним из существенных недостатков существующей конструкции является возможность отгибания нити, что приводит к ухудшению работы (снижению тока) источника, вплоть до прекращения. Одним из способов борьбы с этим явлением явилось питание накала переменным током на частоте 50 Гц. Система имеет тиристорную регулировку тока и благодаря отсутствию балластных элементов значительно экономичнее. Система обеспечена возможностью быстрого переключения на штатную.

Система выпуска пучка. Коэффициент выпуска пучка из циклотрона определяет не только эффективность работы циклотрона, но и радиационную обстановку вблизи циклотрона. Основными элементами системы выпуска пучка являются дефлектор и магнитный канал. Особенность работы дефлектора связана с поддержанием высокого напряжения, однако, в процессе работы, особенно после проведения ремонтных работ в объеме вакуумной камеры циклотрона, с высоковольтной пластины дефлектора могут возникать электрические пробои достаточной большой мощности, которые приводят к эрозии электродов и плакировок в области дефлектора. Система стабилизации напряжения дефлектора при пробоях, возникающих на дефлекторе, стремится поддержать напряжение, чем увеличивает мощность в разряде, что приводит к ускоренному разрушению дефлектора. Для устранения этих эффектов в систему стабилизации встроена электронная схема, разработанная в Радиовом институте. Эта схема обеспечивает отключение контура стабилизации при приходе сигнала от датчика пробоя на время 100-200 мсек. Для снижения электрической мощности в разряде введен дополнительный балластный резистор, расположенный непосредственно во вводе высокого напряжения дефлектора.

Для удобства настройки положения магнитного канала на максимальный выпуск пучка разработано и установлено устройство для дистанционного перемещения “входа” и “выхода” магнитного канала.

3. Предложения по модернизации циклотрона МГЦ-20

Циклотрон МГЦ-20 НПО "Радиевый институт" более 10 лет работает на производство медицинских радионуклидов для диагностики. За эти годы были отработаны технологии наработки и выделения радионуклидов йода-123, галлия-67, индия-111. Радиофармпрепараты, меченные йодом-123 и галлием-67, регулярно поступают в медицинские учреждения Санкт-Петербурга.

Между тем, последние годы двадцатого столетия характеризуются стремительным ростом производства радиофармпрепаратов для терапии. Для производства терапевтических радионуклидов необходимы ускорители нового поколения, т.е. циклотроны с использованием пучков отрицательных ионов большой интенсивности (до сотен мкА выведенного пучка). Для обеспечения возможности производства терапевтических радионуклидов (^{103}Pd , ^{186}Re) и обеспечения более безопасной работы циклотрона рассматривается возможность модернизации циклотрона.

Проведенные НИИЭФА исследования показывают, что для повышения интенсивности пучка протонов до 300 мкА на циклотроне МГЦ-20 в энергетическом диапазоне 5–18 МэВ, с целью повышения его потребительских качеств, необходимо перевести циклотрон в режим ускорения отрицательных ионов водорода с использованием внешней инжекции пучка ионов. Создание двух-трех направлений вывода пучка позволит экономично использовать пучковое время, а обеспечение размазывания пучка на мишени высотой 15 мм обеспечит эффективность использования пучка. Все это позволит проводить наработку как диагностических, так и терапевтических радионуклидов в количествах достаточных для северо-запада России. Кроме того, подобная модернизация позволит значительно уменьшить радиологическую нагрузку на персонал, работающий на циклотроне, так как повышается эффективность выведенного пучка и снижается радиационное загрязнение в помещениях циклотрона. Следует отметить, что на циклотроне в принципе можно будет ускорять отрицательные ионы других частиц.

Реальное воплощение данного технического предложения позволит не только улучшить медицинские услуги для населения г. Санкт-Петербурга и области, но и позволит эффективно проводить модернизацию уже построенных, действующих циклотронов МГЦ-20 у нас в стране и за рубежом.