

ОТЗЫВ официального оппонента
Алиева Рамиза Автандиловича
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук Ремизова Павла Дмитриевича
на тему: «Фотоядерные реакции как инструмент получения изотопа ^{89}Zr
для целей ядерной медицины»
по специальности 1.3.15 – Физика атомных ядер и элементарных частиц,
физика высоких энергий

Производство радионуклидов для медицины на ускорителях электронов – относительно молодой метод, получающий с каждым годом всё большее признание в мире. Для отдельных радионуклидов такой метод уже является полноценной альтернативой традиционным способам их наработки, а иногда и основным способом получения. Целью диссертационной работы Ремизова П.Д. являлось исследование возможности производства радионуклида ^{89}Zr на пучках тормозного излучения с такой активностью и радиоизотопной чистотой, чтобы получаемый продукт можно было применять в медицине. В основе любого метода получения радионуклидов лежат ядерные данные, поэтому получение новых и уточнение существующих ядерных данных безусловно, является актуальной задачей.

Помимо указанного выше прикладного аспекта, в работе значительное внимание уделено фотоядерным реакциям с вылетом заряженных частиц как научному направлению, так как современные теоретические подходы к расчёту параметров таких реакций во многих случаях дают неудовлетворительные результаты. Получение новых экспериментальных данных по таким реакциям и их интерпретация также является актуальной научной задачей.

Во введении приводится актуальность данной работы, ставится её цель и задачи работы. Обосновывается её научная новизна, теоретическая и практическая значимость. Формулируются положения, выносимые на защиту. Выделяется личный вклад автора в представленную работу, приводится апробация результатов. Кратко излагается содержание работы по главам.

Первая глава посвящена радионуклидной диагностике заболеваний с использованием моноклональных антител, меченных радионуклидом ^{89}Zr . В этой главе раскрывается суть методики, её история, а также приводится сравнение диагностических радионуклидов, среди которых выделяется ^{89}Zr .

Во второй главе рассматриваются традиционные методы производства медицинских радионуклидов: циклотронный, реакторный и генераторный. Также обсуждается метод наработки радионуклидов под действием тормозного излучения, полученного на ускорителях электронов, который в будущем может стать так же повсеместно используемым.

Третья глава посвящена рассмотрению различных аспектов фотоядерных реакций с испусканием заряженных частиц: механизмам таких реакций, методам их теоретического и экспериментального изучения, обзору существующих экспериментальных данных и их обсуждению. Особое внимание уделено явлению изоспинового расщепления гигантского дипольного резонанса и его влиянию на выходы реакций $(\gamma, 1p)$. В данной главе описывается методика полуэмпирического определения сечений реакций $(\gamma, 1p)$, разработанная диссертантом.

В четвертой главе описывается оборудование, с помощью которого проводились производилось облучение мишеней тормозным пучком и с помощью которого были в дальнейшем измерены спектры продуктов активации. Приведена методика расчёта экспериментальных сечений и выходов активностей образующихся радионуклидов.

Пятая глава посвящена обсуждению и интерпретации полученных в работе экспериментальных результатов и закономерностей. Приведены средневзвешенные сечения реакций $(\gamma, 1pXn)$ и $(\gamma, 1\alpha Xn)$ на изотопах с $Z = 40, 41$ и 42 облученных на ускорителях электронов с энергией $20, 40$ и 55 МэВ. Экспериментальные сечения сравниваются с теоретическими. На основе этого сопоставления делаются выводы о вероятных механизмах изученных реакций. В последнем пункте главы анализируются возможные методы наработки ^{89}Zr на изотопах $^{92}, ^{94}, ^{95}\text{Mo}$ в реакциях $(\gamma, 1pXn)$ и $(\gamma, 1\alpha Xn)$;

предлагаются условия (ток, масса мишени, время облучения) для достижения активности, достаточной для радионуклидной диагностики, оценивается количество побочных изотопов циркония, сопровождающих образование ^{89}Zr в рассмотренных методах.

Работа выполнена на высоком научном уровне, с использованием современного оборудования, в том числе уникальной установки, разработанной в НИИЯФ МГУ. Обработка результатов проведена в соответствии с принятыми в ядерной физике подходами. Результаты опубликованы в 6 статьях, в том числе в высокорейтинговых международных журналах. Совокупность примененных подходов позволяет утверждать, что достоверность результатов не вызывает сомнений.

Новизна работы заключается в исследовании малоизученных многочастичных фотоядерных реакций в области ядер, близких к магическому числу нейтронов $N=50$. Оказалось, что для ряда реакций в этой области, в частности $^{94}\text{Mo}(\gamma, \alpha n)$, сечения имеют неожиданно высокие значения. Это открывает новые возможности в получении важного медицинского радиоизотопа ^{89}Zr .

Положения, выносимые на защиту и выводы из проведенного исследования убедительно обоснованы.

Содержание оппонируемой диссертации соответствует специальности 1.3.15 – Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий, а именно следующим ее направлениям: 1) Структура атомных ядер – эксперимент и теория, 2) Ядерные реакции и распады, в том числе синтез сверхтяжёлых элементов – эксперимент и теория, 4) Техника и методика эксперимента в области физики атомных ядер и элементарных частиц и физики высоких энергий, 13) Методы обработки и анализа экспериментальных данных в области физики атомных ядер и элементарных частиц и физики высоких энергий.

Есть несколько замечаний по тексту диссертации

1. На с. 14 сказано "Размер пептида обратно пропорционален скорости удаления из кровотока, проникающей способности внутрь клетки и способности усваиваться в ней...". Фраза читается двояко. Следует использовать более однозначные формулировки.
2. с. 23 "При наработке медицинских радиоизотопов предпочтение отдается жидким и газообразным мишеням" это не вполне так, для большинства радионуклидов подобрать жидкие и газообразные мишени невозможно, да и нет необходимости.
3. с. 25 "При делении урана на осколки активность насыщения ^{99}Mo достигается за 5 – 7 дней. К этому моменту только 3 % ядер ^{235}U претерпевают распад " речь идет не о распаде, а о делении под действием нейтронов, значимого распада урана-235 за время облучения не происходит
4. с. 28 "Существующие методики выделения радионуклидов из мишеней, облученных в реакторах или циклотронах, имеют дело с мишенями малых масс и размеров". Не всегда это так, часто речь идет о десятках граммов, например с протонами средних энергий
5. с. 85 «Важно заметить, что и выделение ниобия из молибдена, и выделение циркония из ниобия возможно неоднократно. Такой метод аналогичен генераторному методу наработки изотопов». Как генераторные обычно рассматривают системы, в которых материнский радионуклид имеет больший период полураспада в сравнении с дочерним. В случае ^{89}Nb и ^{89}Zr это не так.
6. Хотелось бы видеть более подробное обсуждение сравнения предлагаемых фотоядерных методов с существующими методами получения ^{89}Zr .

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации

соответствует специальности 1.3.15 – Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Ремизов П.Д. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 – Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.

Официальный оппонент:

Кандидат химических наук,
Начальник лаборатории радионуклидов и радиофармпрепаратов
Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный
исследовательский центр «Курчатовский институт»
123182, г. Москва, пл. Ак. Курчатова д.1
www.nrcki.ru
Aliev_RA@nrcki.ru
+79161713414

Алиев Рамиз Автандилович



09.01.2024

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:
02.00.14 – Радиохимия

Подпись Алиева Рамиза Автандиловича заверяю:

Главный ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

К. ф.-м. н.

Борисов Кирилл Евгеньевич