

УТВЕРЖДАЮ:

Декан физического факультета
Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Московский государственный
университет имени М.В. Ломоносова»
профессор Сысоев Николай Николаевич



24.09.2016 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

физического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Диссертация «Фоторасщепление изотопов молибдена» выполнена на кафедре общей ядерной физики физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Хан Дон Ен окончил в магистратуру 2009 году в Сеульском Национальном Университете в Республике Корея.

С года обучался на подготовительных курсах Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. В 2012 году Хан Дон Ен был зачислен в аспирантуру физического факультета МГУ на кафедру общей ядерной физики.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Ишханов Борис Саркисович, профессор кафедры общей ядерной физики физического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Основные результаты, полученные в диссертации:

1. С помощью гамма-активационной методики впервые измерены выходы фотоядерных реакций на стабильных изотопах молибдена под действием тормозных гамма-квантов при трех значениях верхней границы тормозного спектра 19,5 МэВ, 29,1 МэВ и 67,7 МэВ.
2. В спектрах гамма-квантов облученных образцов молибдена было обнаружено около 100 максимумов, которые были идентифицированы на основе имеющейся мировой спектроскопической информации и периодам полураспада изотопов. В результате анализа обнаруженных максимумов были

получены выходы следующих реакций: $^{100}\text{Mo}(\gamma, n)^{99}\text{Mo}$, $^{100}\text{Mo}(\gamma, np)^{98}\text{Nb}$,
 $^{100}\text{Mo}(\gamma, np)^{98m}\text{Nb}$, $^{98}\text{Mo}(\gamma, p)^{97}\text{Nb}$, $^{98}\text{Mo}(\gamma, p)^{97m}\text{Nb}$, $^{100}\text{Mo}(\gamma, np)^{98m}\text{Nb}$,
 $^{97}\text{Mo}(\gamma, p)^{96}\text{Nb}$, $^{98}\text{Mo}(\gamma, np)^{96}\text{Nb}$, $^{96}\text{Mo}(\gamma, p)^{96m}\text{Nb}$, $^{97}\text{Mo}(\gamma, np)^{96m}\text{Nb}$, $^{96}\text{Mo}(\gamma, p)^{95}\text{Nb}$,
 $^{97}\text{Mo}(\gamma, np)^{95}\text{Nb}$, $^{94}\text{Mo}(\gamma, p)^{93}\text{Mo}$, $^{95}\text{Mo}(\gamma, 2n)^{93}\text{Mo}$, $^{94}\text{Mo}(\gamma, p)^{93m}\text{Mo}$, $^{95}\text{Mo}(\gamma, 2n)^{93m}\text{Mo}$,
 $^{94}\text{Mo}(\gamma, np)^{92}\text{Nb}$, $^{94}\text{Mo}(\gamma, np)^{92m}\text{Nb}$, $^{92}\text{Mo}(\gamma, n)^{91}\text{Mo}$, $^{92}\text{Mo}(\gamma, n)^{91m}\text{Mo}$,
 $^{92}\text{Mo}(\gamma, p)^{91}\text{Nb}$, $^{92}\text{Mo}(\gamma, p)^{91m}\text{Nb}$, $^{92}\text{Mo}(\gamma, 2n)^{90}\text{Mo}$, $^{92}\text{Mo}(\gamma, np)^{90}\text{Nb}$, $^{92}\text{Mo}(\gamma, np)^{90m}\text{Nb}$,
 $^{92}\text{Mo}(\gamma, 2np)^{89}\text{Nb}$, $^{92}\text{Mo}(\gamma, 2np)^{89m}\text{Nb}$.

3. При распаде гигантского дипольного резонанса с испусканием протонов существенно изоспиновое расщепление резонанса – при уменьшении массового числа изотопов молибдена величина изоспинового расщепления уменьшается на 3,7 МэВ, а интенсивность компонент увеличивается в 8 раз. Запрет распада состояний $T > (AZ)$ на низколежащие возбужденные состояния $(A-1, Z)$ приводит к усилению каналов распада с испусканием протонов.
4. Сравнение полученных в диссертации экспериментальных данных с теоретическими расчетами на основе модели TALYS и Комбинированной Модели Фотоядерных Реакций показали, что для относительно тяжелых изотопов ($A \geq 93$) доминирует реакция (γ, n) , в то время как для относительно легких изотопов ($A \leq 92$) выход (γ, p) превышает выход реакции (γ, n) .
5. Выход суммарной реакции (γ, abs) увеличивается с ростом массового числа из-за резкого роста выхода реакции $(\gamma, 2n)$. При увеличении числа нейтронов изотопов молибдена уменьшается энергия отделения нейтронов, что приводит к существенному увеличению средней энергии нейтронов, вылетающих в результате данной реакции, росту проницаемости потенциального барьера и, соответственно, росту вероятности эмиссии нейтронов.
6. Резкий рост выхода реакции (γ, p) в изотопе обусловлен оболочечной структурой легких изотопов молибдена. В изотопе ^{92}Mo уровень $1g_{9/2}$ заполнен и при дальнейшем увеличении числа нейтронов они заполняют одночастичные уровни отделенной от оболочки 3-4 МэВ.

Личный вклад диссертанта состоял в активном участии в проведении измерений на ускорителе. Диссертант провел расшифровку и физический анализ измеренных спектров γ -квантов активированных образцов. Им проведен анализ различных каналов реакций и оценены величины выходов реакций. Диссертант сравнил полученные экспериментальные данные с результатами теоретических моделей.

Достоверность результатов полученных в диссертации определяется надежностью экспериментальной методики исследований. То обстоятельство, что выходы различных реакций измеряются в одном акте облучения, позволило существенно повысить относительную точность измерений различных каналов реакций и впервые наблюдать выходы реакций отличающихся на 3-4 порядка. В процессе проведения эксперимента параметры экспериментальной установки постоянно градуировались с помощью стандартных источников.

Научная новизна работы обусловлена тем, что впервые измерены выходы фотоядерных реакций на естественной смеси изотопов молибдена под действием тормозных γ -квантов при трех значениях верхней границы спектра 19,5 МэВ, 29,1 МэВ и 67,7 МэВ. Впервые определены зависимости выходов различных фотоядерных реакций на изотопах молибдена от массового числа изотопа. Впервые проведено сравнение экспериментально измеренных выходов реакций с теоретическими расчетами. Показано согласие в описании различных каналов реакции и указаны причины различий экспериментальных данных и теоретических расчётов.

Практическая значимость работы состоит в том, что разработанная методика измерений и анализа эмпирических данных важна для подготовки и проведения аналогичных экспериментов при других энергиях и изотопах. Полученные данные о фотонейтронном выходе на изотопе ^{100}Mo показывает возможность использования ускорителя электронов для наработки $^{99\text{m}}\text{Tc}$, широко используемого в медицинской диагностике. Показана возможность образования обойдённых изотопов $^{92,94}\text{Mo}$ в фотоядерных реакциях в природных условиях нуклеосинтеза.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Фоторасщепление изотопов молибдена / Б. Ишханов, И. Капитонов, А. Кузнецов, В. Орлин, Д.Е. Хан, // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика, астрономия. — 2014. — № 1. — С. 35–43.
2. Фотоядерные реакции на изотопах молибдена / Б. Ишханов, И. Капитонов, А. Кузнецов, В. Орлин, Д.Е. Хан // Ядерная физика. — 2014. — Т. 77, № 11. — С. 1427–1435.
3. Ядерная спектроскопия изотопов молибдена / Б. Ишханов, И. Капитонов, А. Кузнецов, А. Ланской, В. Орлин, Д.Е. Хан // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика, астрономия. — 2016. — № 1. — С. 3-34.

4. Фоторасщепление изотопов молибдена / Б. Ишханов, А. Кузнецов, Д. Е. Хан // Труды XIV Межвузовской научной школы молодых специалистов «Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине». 26-27 ноября 2013, Москва, Типография Московского Государственного Университета, — С. 53-58.
5. Фотоядерные реакции на изотопах молибдена / Б. Ишханов, А. Кузнецов, В. Орлин, Д. Е. Хан // Труды XV межвузовской научной школы молодых специалистов. «Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине», 25-26 ноября 2014, Москва, Университетская книга, — С. 75-81.
6. Спектроскопия изотопов молибдена / Б. Ишханов, А. Кузнецов, Д. Е. Хан // Труды XVI Межвузовской научной школы молодых специалистов. «Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине», 24-25 ноября 2015, Москва, Университетская книга, — С. 13-19.
7. Photonuclear Reaction on molybdenum isotopes / Б. Ишханов, А. Кузнецов, Д.Е. Хан // XIV Международный Семинар по электромагнитным взаимодействиям ядер EMIN-2015, Институт ядерных исследований РАН, 5-8 октября 2015, Москва.
8. Photonuclear reaction on molybdenum isotopes / Б. Ишханов, А. Кузнецов, Д.Е. Хан // Korean Physical Society 2015 fall meeting, г. Кёнджу, 21-23 октября 2015, Республика Корея.

Из них статьи 1-3 входят в перечень рецензируемых научных изданий ВАК.

Таким образом, диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи, имеющей существенное значение для развития ядерной физики

Диссертация «Фоторасщепление изотопов молибдена» Хан Дон Ена рекомендуется к защите на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04-16 «физика атомного ядра и элементарных частиц».

Заключение принято на заседании кафедры общей ядерной физики. Присутствовало на заседании 11 чел. Результаты голосования: «за» – 11 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 7 от 12.02.2016



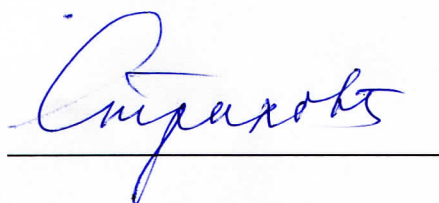
Заведующий кафедрой общей ядерной физики физического факультета МГУ доктор физико-математических наук, профессор Б.С. Ишханов

Заключение утверждено на заседании Ученого совета НИИЯФ МГУ и
кафедры Общей Ядерной Физики физического факультете МГУ. (Пр. № 3.)

19 февраля 2016 г.



Директор НИИЯФ МГУ,
представитель Ученого совета
НИИЯФ МГУ и кафедры ОЯФ
физического факультета МГУ
профессор М.И. Панасюк



Секретарь Ученого совета НИИЯФ,
кафедры ОЯФ и МГУ.
профессор С.И. Страхова