

Секция 2

***ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ***

**Секция 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ**

**ВЫХОДЫ ЯДЕРНЫХ ФРАГМЕНТОВ
ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ЯДЕР
УГЛЕРОДА С БЕРИЛЛИЕВОЙ
МИШЕНЬЮ ПРИ 0,6 ГЭВ/НУКЛОН**

**Б. М. Абрамов, П. Н. Алексеев,
Ю. А. Бородин, С. А. Булычев, К. К. Гудима,
И. А. Духовской, А. П. Крутенкова,
В. В. Куликов, М. А. Мартемьянов,
М. А. Мацюк, С. Г. Машник,
Е. Н. Турдакина, А. И. Ханов**

Национальный исследовательский центр
«Курчатовский институт» Федеральное
государственное бюджетное учреждение
«Государственный научный центр Российской
федерации – Институт теоретической
и экспериментальной физики»,
117218 Москва, Россия,
Б. Черемушкинская ул. д. 25
(499) 7896676, факс (499)1270833,
мейл: anna.krutenkova@itep.ru

В эксперименте ФРАГМ на тяжелоионном ускорительном комплексе ТВН-ИТЭФ измерены выходы долгоживущих ядерных фрагментов под углом 3,5 градуса при фрагментации ионов углерода с энергией $T_0 = 0,6$ ГэВ/нуклон на бериллиевой мишени. Импульсные спектры фрагментов охватывают как область фрагментационного максимума, так и кумулятивную область. Дифференциальные сечения перекрывают до пяти порядков величины. Распределения фрагментов по импульсу в лабораторной системе координат и по кинетической энергии в системе покоя фрагментирующего ядра используются для тестирования предсказаний четырех моделей ионных взаимодействий: BC, INCL++, LAQGSM03.03 и QMD.

**NUCLEAR FRAGMENT YIELDS
FROM THE ^{12}C INTERACTION
ON A BERYLLIUM TARGET
AT 0,6 GEV/NUCLEON**

**B. M. Abramov, P. N. Alexeev, Yu. A. Borodin,
S. A. Bulychjov, I. A. Dukhovskoy,
K. K. Gudima, A. I. Khanov, A. P. Krutenkova,
V. V. Kulikov, M. A. Martemianov,
S. G. Mashnik, M. A. Matsyuk, E. N. Turdakina**

National Research Center “Kurchatov Institute”,
Institute for Theoretical and Experimental Physics,
117218, Moscow, Russia,
phone: (499) 7896676, fax (499)1270833,
e-mail: anna.krutenkova@itep.ru

Yields of nuclear fragments at 3.5 degrees from ^{12}C fragmentation at 0.6 GeV/nucleon on a Be target were measured in the FRAGM experiment at the ITEP TWA heavy ion accelerator. The momentum spectra of fragments span the region of the fragmentation peak as well as the cumulative region. The differential cross sections cover up to five orders of magnitude. The fragment momentum distributions in laboratory frame as well as the kinetic energy spectra in the rest frame of the fragmenting nucleus are used to test the predictions of four ion-ion interaction models: INCL++, LAQGSM03.03, QMD and BC.



ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ СМЕНА МЕХАНИЗМОВ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ИОНОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УГЛА РАССЕЯНИЯ И ЭНЕРГИИ

Д. К. Алимов, Ю. А. Зарипова, В. В. Дьячков,
А. В. Юшков, Н. Т. Буртебаев,
Ж. К. Керимкулов

НИИ экспериментальной и теоретической
физики Казахского национального университета
им. аль-Фараби, Республика Казахстан,
050040, г. Алматы, аль-Фараби 71,
Тел., факс: 7(727)3 773174
E-mail: ZJ_KazNU@mail.ru

SEQUENTIAL CHANGE OF MECHANISMS IN ELASTIC SCATTERING OF IONS DEPENDING ON THE SCATTERING ANGLE AND ENERGY

D. K. Alimov, Y. A. Zaripova, V. V. Dyachkov,
A. V. Yushkov, N. T. Burtebayev,
Zh. K. Kerimkulov

Scientific Research Institute of Experimental and
Theoretical Physics, Al-Farabi Kazakh National
University, Republic of Kazakhstan, 050040,
Almaty, al-Farabi av., 71
Phone-fax: 7(727)3 773174,
E-mail: ZJ_KazNU@mail.ru

Выполнен системный теоретический анализ угловых распределений упругого рассеяния ионов ^{14}Nv диапазоне углов $1 \div 179^\circ$ и энергий налетающих ионов 17,5–47 МэВ. Особое внимание при анализе обращено на характер дифракционных процессов. В координатах $\sigma/\sigma_R(\theta)$ в диапазоне низких энергий легко выявляется чисто кулоновский характер упругого рассеяния в схеме $A_1+A_2 \rightarrow A_1+A_2$ во всем угловом диапазоне.

По мере увеличения энергии E_{A_1} налетающих ионов возникает механизм чисто атом-атомных столкновений, в котором параметр максимального сближения ионов η достигает величины суммы двух радиусов $\eta \sim R_{A_1} + R_{A_2}$, параметр Зоммерфельда $n = \frac{Z_1 \cdot Z_2 \cdot e^2 \cdot \mu}{k \cdot \hbar^2} > 1$ в диапазоне углов

$1 \div \theta_c$, где $\theta_c = 2 \arctg(n/l_0)$ – кулоновский угол. Анализ в рамках оптической модели (ОМ) и параметризованного фазового анализа (ПФА), естественно, дает оптический потенциал атомов и радиусы атомов в виде радиуса взаимодействия $R_{вз} = R_{A_1} + R_{A_2} + \lambda$.

При дальнейшем повышении энергии наряду с кулоновским механизмом в диапазоне углов вблизи 0° , френелевским механизмом в диапазоне $0^\circ \div \theta_c$, возникает новый фраунгоферовский механизм рассеяния атома A_1 на нуклиде A_2 . Анализ в рамках ОМ дает потенциал такого взаимодействия, а ПФА – пространственные характеристики сталкивающихся атомов.

Наконец, при еще большем повышении энергии E_{A_1} параметр максимального сближения η уменьшается до размеров, меньших суммы двух радиусов нуклидов A_1 и A_2 и возникает механизм интерференции атомного и ядерного рассеяний для углов $\theta > \theta_c$. Такие дифракционные осцилляции носят сложный характер в виде суперпозиции атом-атомных, ядро-ядерных и несколько, неизученных пока, механизмов.



ИЗОСПИНОВОЕ РАСЩЕПЛЕНИЕ ГДР И ФОТОПРОТОННЫЕ РЕАКЦИИ НА ИЗОТОПАХ МОЛИБДЕНА

С. С. Бельшев², Б. С. Ишханов^{1,2},
А. А. Кузнецов¹, В. Н. Орлин¹,
К. А. Стопани¹, В. В. Ханкин¹

¹Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

²Физический факультет Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2
т.:(495)9392558, ф.:(495)9395631,
e-mail: kuznets@depni.sinp.msu.ru

Представлены результаты экспериментального и теоретического исследования фотоядер-

ных реакций на изотопах молибдена. С помощью методики наведенной активности [1] измерены выходы многонуклонных фотоядерных реакций на естественной смеси изотопов молибдена. Использовалось тормозное излучение ускорителя электронов РТМ-55 с верхней границей 55,6 МэВ. Полученные результаты сравниваются с данными из литературы и расчетами по статистической модели в программе TALYS [2] и комбинированной модели фотоядерных реакций [3]. Для сравнения экспериментальных результатов использовался метод представления результатов с помощью сечения на эквивалентный фотон.

На выходы фотопротонных реакций сильное влияние оказывает изоспиновое расщепление гигантского дипольного резонанса [4]. В настоящее время в программе моделирования TALYS невозможно учесть этот эффект. В представленной работе предложен метод включения в расчеты по программе TALYS изоспинового расщепления ГДР. Рассчитанные таким образом фотопротонные сечения хорошо согласуются с экспериментально измеренными выходами.

Список литературы

1. Belyshev S.S. et al., Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. Sect. A 2014. 745, 133–137.
2. Koning A.J. et al., in Proc. of ND2007, ed. by O. Bersillon, F. Gunsing, E. Bauge, R. Jacqmin, and S. Leray (EDP Sciences, 2008), p. 211–214.
3. Ишханов Б. С., Орлин В. Н., ЭЧАЯ 38, 460–503 (2007).
4. Fallieros S. and Goulard B., Nucl. Phys. A 1970. 170, 593–600.



ISOSPIN SPLITTING OF THE GDR AND PHOTOPROTON REACTIONS ON ISOTOPES OF MOLYBDENUM

S. S. Belyshev², B. S. Ishkhanov^{1,2},
A. A. Kuznetsov¹, V. N. Orlin¹, K. A. Stopani¹

1Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics,
Lomonosov Moscow State University, 1(2),
Leninskie gory, GSP-1, Moscow
119991, Russian Federation

2Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State
University, 1(2), Leninskie gory, GSP-1,
Moscow 119991, Russian Federation
phone: (495) 939-25-58, fax (495) 939-56-31
e-mail: kuznets@depni.sinp.msu.ru

Results of an experimental and theoretical study of photonuclear reactions on molybdenum isotopes are presented. The photon activation technique [1] is used to measure yields of multi-nucleon photonuclear reactions on natural molybdenum. Bremsstrahlung beam of the RTM-55 electron accelerator with end-point energy of 55.6 MeV is used. The obtained results are compared with available literature data and statistical model calculations produced by the TALYS package [2] and combined model of photonuclear reactions [3]. The method of equivalent photon cross section was used to compare the experimental results.

Isospin splitting of the giant dipole resonance has a strong effect on photonuclear reaction yields [4]. This correction is not currently taken into account in TALYS. A method to include the isospin splitting effect in TALYS calculations is proposed. The photoproton cross sections calculated in this way are in a good agreement with experimental yields.

References

1. Belyshev S.S. et al., Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. Sect. A 2014. 745, 133–137.
2. Koning A. J. et al., in Proc. of ND2007, ed. by O. Bersillon, F. Gunsing, E. Bauge, R. Jacqmin, and S. Leray (EDP Sciences, 2008), p. 211–214.
3. Ишханов Б. С., Орлин В. Н., ЭЧАЯ, 2007. 38, 460–503.
4. Fallieros S. and Goulard B. Nucl. Phys. A 1970. 170, 593–600.

ЭМПИРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АСТРОФИЗИЧЕСКИХ СКОРОСТЕЙ ФОТОРАСЩЕПЛЕНИЯ $^{106,108}\text{Cd}$

С. С. Бельшев², К. А. Стопани¹,
А. А. Кузнецов¹

¹Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

²Физический факультет Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

т. (495) 939-25-58, ф. (495) 939-56-31,
E-mail: hatta@depni.sinp.msu.ru

В экспериментальной работе [1] была отмечена возможность существенного отличия в соотношениях между фотонейтронным и фотопротонным каналами фоторасщепления ядра ^{106}Cd по сравнению с предсказанием моделей, основанных на статистическом подходе, таких, как TALYS [2] и КМФР [3]. Расхождение не сказывается на полном сечении фоторасщепления, однако, пороги реакций отличаются на несколько МэВ, в связи с чем интенсивность фоторасщепления ^{106}Cd в астрофизических условиях может существенно отличаться от расчетного значения. Неточности используемых скоростей фоторасщепления могут существенно влиять на результат расчета образования изотопа ^{106}Cd в *p*-процессе.

В представленной работе с помощью тормозного пучка ускорителя РТМ-55 и методики наведенной активности [4] измерены выходы продуктов фотоядерных реакций на мишенях из моноизотопного ^{106}Cd и естественной смеси изотопов кадмия и получены абсолютные выходы и сечения реакций (γ, n) , (γ, p) , (γ, np) , $(\gamma, 2n)$ на *p*-нуклидах ^{106}Cd и ^{108}Cd . Полученные результаты затем используются для расчета скоростей протекания фотонейтронных и фотопротонных реакций на этих ядрах при температурах от 0,1 до 10 ГК. Полученные значения скоростей протекания реакций на ^{108}Cd находятся в хорошем согласии с библиотечными значениями, однако в случае ^{106}Cd наблюдается существенное различие. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №15-02-05839).

Список литературы

1. Шведун Н. В. и др., ЯФ, 2014. 77, 856–863.
2. Koning A. J. et al., in Proc. of ND2007 // ed. by O. Bersillon, F. Gunsing, E. Bauge, R. Jacqmin, and S. Leray / EDP Sciences, 2008), p. 211–214.
3. Ишханов Б. С., Орлин В. Н., ЭЧАЯ, 2007. 38, 460–503.
4. S.S. Belyshev et al., Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. Sect. A 2014. 745, 133–137.



EMPIRICAL ESTIMATION OF PHOTODISINTEGRATION RATES OF ^{106}Cd AND ^{108}Cd

S. S. Belyshev², K. A. Stopani¹, A. A. Kuznetsov¹

¹Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, 1(2), Leninskie gory, GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation

²Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, 1(2), Leninskie gory, GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation
phone: (495) 939-25-58, fax (495) 939-56-31,
E-mail: hatta@depni.sinp.msu.ru

It has been noticed in [1] that the ratio between the photoneutron and photoproton disintegration channels of ^{106}Cd might be considerably different from predictions of statistical models such as TALYS [2] and CMPNR [3]. While this doesn't affect the total cross section of photodisintegration, the thresholds of the corresponding reactions differ by several MeV and, therefore, the total astrophysical rate of photodisintegration of ^{106}Cd might be noticeably different from the calculated value. Reaction rate uncertainties can strongly affect calculation of *p*-process production of ^{106}Cd .

We use the bremsstrahlung beam of a 55 MeV microtron and the photon activation technique [4] to measure yields of photonuclear reaction products on targets made of monoisotopic ^{106}Cd and natural cadmium, and obtain absolute yields and cross sections of (γ, n) , (γ, p) , (γ, np) , $(\gamma, 2n)$ reactions on the

^{106}Cd and ^{108}Cd p -nuclides. The obtained results are then used to calculate an estimation of evaluated cross sections, which are in turn used to calculate rates of photoneutron and photoproton reactions on these nuclei at temperatures from 0.1 to 10 GK. It is shown that the resulting rates on ^{108}Cd are in a good agreement with the library values from the astrophysical reaction rate databases, while there is a significant difference in the case of ^{106}Cd , leading to a total difference of photodisintegration rate of up to 50 %. Effects of the observed disagreement on the calculations of isotopic abundances are discussed. This work has been supported by RFBR (project No. 15-02-05839).

References

1. Shvedunov N. V. et al, Phys. At. Nucl. 2014. 77, 809–816.
2. Koning A. J. et al., in Proc. of ND2007, ed. by O. Bersillon, F. Gunsing, E. Bauge, R. Jacqmin, and S. Leray (EDP Sciences, 2008), p. 211–214.
3. Ishkhanov B. S. and Orlin V. N. Phys. Part. Nucl. 2007. 38, 232–254.
4. Belyshev S. S. et al., Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. Sect. A 2014. 745, 133–137.



КОЛЛЕКТИВНЫЕ ЭФФЕКТЫ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ МАЛЫХ СИСТЕМ НА КОЛЛАЙДЕРЕ RHIC

А. Я Бердников,² Д. А. Иванищев¹,
Д. О. Котов^{1,2}, В. Г. Рябов¹, Ю. Г. Рябов¹,
В. М. Самсонов¹.

¹Петербургский институт ядерной физики
НИЦ «Курчатовский институт»
им. Б. П. Константинова, 188300, Ленинградская
обл., г. Гатчина, Орлова роща,
тел.: +7(813-71) 46025, факс: +7(813-71) 36025
²Санкт-Петербургский политехнический универ-
ситет Петра Великого, 195251, Санкт-Петербург,
Политехническая, 29, тел.: +7(812)552-75-31,
факс: +7(812)552-75-31
mail: ivanishchev@pnpi.spb.ru

На протяжении долгого времени считалось,
что сталкивающиеся системы малых размеров

($p+\text{Au}$, $d+\text{Au}$ и $^3\text{He}+\text{Au}$) подходят только для исследования коллективных эффектов холодной ядерной материи [1]. Тем не менее результаты последних исследований на ускорителях RHIC и LHC свидетельствуют о наличии потокоподобных коллективных эффектов, выраженных большой множественностью рождающихся в подобных столкновениях заряженных частиц [2]. Вызваны ли эти эффекты гидродинамическим расширением плотной и горячей, термализованной среды или обоснованы эффектами начального состояния на сегодняшний день остается открытым вопросом.

В настоящем докладе представлены результаты измерений потоковых характеристик, измеренных в $p+\text{Au}$, $d+\text{Au}$ и $^3\text{He}+\text{Au}$ столкновениях экспериментом PHENIX при энергии 200 ГэВ на коллайдере RHIC. Обсуждаются попытки теоретического описания полученных результатов.

Список литературы

1. Adcox K., Adler S.S., Afanasiev S., Aidala C. et al. Formation of dense partonic matter in relativistic nucleus-nucleus collisions at RHIC // Nuclear Physics A 2005. Vol. 757. P. 184–283.
2. Adare A., Afanasiev S., Aidala C., Ajitanand N. N. et al. Measurements of Elliptic and Triangular Flow in High-Multiplicity He3+Au Collisions at 200 GeV // Phys. Rev. Lett. 2015. Vol. 115. P. 142301.



COLLECTIVE EFFECTS IN SMALL SYSTEMS MEASURED AT RHIC

A. Ya. Berdnikov², D. A. Ivanishchev¹,
D. O. Kotov^{1,2}, V. G. Riabov¹, Yu. G. Riabov¹,
V. M. Samsonov¹

¹National Research Centre «Kurchatov Institute»
B.P.Konstantinov Petersburg Nuclear Physics Institute,
Orlova Roscha, Gatchina, Leningrad district,
188300, Tel.: +7(813-71) 46025,

Fax: +7(813-71) 36025

²Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University,
195251 St. Petersburg, Polytechnicheskaya,
29, Tel.: +7(812)552-75-31, Fax: +7(812)552-75-31
E-mail: ivanishchev@pnpi.spb.ru

For a long time, it was believed that small size collisions systems (p+Au, d+Au и 3He+Au) are suitable only for the study of the cold matter collective effects [1]. Nevertheless, the results of recent research at RHIC and LHC accelerators indicate the presence of flow-like collective effects, expressed by high charged particle multiplicities produced in such collisions [2]. Are these effects caused by hydrodynamic expansion of a dense and hot medium or by thermalized initial state effects remains today an open question.

In this talk the latest PHENIX results for flow observables measurements at RHIC in p+Au, d+Au и 3He+Au collisions at 200 GeV are presented. Comparison of the obtained results with theoretical predictions has been carried out.

References

1. K. Adcox, S.S. Adler, S. Afanasiev, C. Aidala et al. Formation of dense partonic matter in relativistic nucleus-nucleus collisions at RHIC // Nuclear Physics A – 2005. – Vol. 757. – P. 184–283.

2. A. Adare, S. Afanasiev, C. Aidala, N.N. Ajitanand et al. Measurements of Elliptic and Triangular Flow in High-Multiplicity He³+Au Collisions at 200 GeV // Phys. Rev. Lett. 2015. Vol. 115. P. 142301.



ЖЕСТКИЕ АДРОНЫ И СТРУИ В CU+AU ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ЭНЕРГИИ 200 ГЭВ

Я. А. Бердников^{1,2}, Д. А. Иванищев¹,
Д. О. Котов^{1,2}, В. Г. Рябов¹, Ю. Г. Рябов¹,
В. М. Самсонов¹.

¹Петербургский институт ядерной физики
НИЦ «Курчатовский институт»
им. Б. П. Константинова, 188300,
Ленинградская обл., г. Гатчина, Орлова роща,
тел.: +7(813-71) 46025, факс: +7(813-71) 36025

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251,
Санкт-Петербург, Политехническая, 29,
тел.: +7(812)552-75-31, факс: +7(812)552-75-31
E-mail: dm_kotov@phmf.spbstu.ru

В 2012 году экспериментом PHENIX [1] в Брукхейвенской Национальной Лаборатории, США был накоплен внушительный объем (4,96 нб⁻¹) данных о взаимодействиях ядер меди и золота (Cu+Au) на встречных пучках ускорителя RHIC при энергии 200 ГэВ в системе центра масс. Ассиметричные столкновения тяжелых ядер являются уникальными с точки зрения геометрической конфигурации. Изучение процессов рождения адронов и струй в подобных сталкивающихся системах позволяет установить связь между эффектами начального и конечного состояний и геометрией сталкивающихся ядер.

Значения плотности энергии, достигаемые в Cu+Au взаимодействиях при энергии 200 ГэВ, могут приближаться к аналогичным значениям в симметричных взаимодействиях ядер золота (Au+Au), но в Cu+Au системе отсутствует характерное для центральных Au+Au столкновений нуклонное гало малой плотности. В центральных Cu+Au взаимодействиях ядро меди целиком поглощается в ядре золота. Изучение Cu+Au взаимодействий при различных центральных столкновениях ядер позволяет получать информацию как об области пересечения ядер, характеризующейся большими величинами плотности энергии, так и о периферическом гало.

В настоящем докладе будут представлены результаты измерений спектров рождения по поперечному импульсу и факторов ядерной модификации для π и K-мезонов и струй в Cu+Au взаимодействиях при энергии 200 ГэВ. Будет произведено сравнение полученных результатов с симметричными Au+Au столкновениями.

Список литературы

1. Adcox K., Adler S. S., Aizama M., Ajitanand N. N. et. al. PHENIX Detector Overview // Nuclear Instruments and Methods A 2003. Vol. 499. P. 469–479.



HIGH TRANSVERSE MOMENTUM HADRONS AND JETS IN CU+AU COLLISIONS AT 200 GEV

Berdnikov Ya.A.^{1,2}, Ivanishchev D.A.¹, Kotov D.O.^{1,2}, Riabov V.G.¹, Riabov Yu.G.¹, Samsonov V.M.¹

¹National Research Centre «Kurchatov Institute»
B. P. Konstantinov Petersburg Nuclear Physics
Institute, Orlova Roscha, Gatchina,
Leningrad district, 188300,

Tel.: +7(813-71) 46025, Fax: +7(813-71) 36025

²Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic
University, 195251 St. Petersburg,
Polytechnicheskaya, 29, Tel.: +7(812)552-75-31,
Fax: +7(812)552-75-31
E-mail: dm_kotov@phmf.spbstu.ru

In 2012, the PHENIX [1] experiment at RHIC collider situated in Brookhaven National Laboratory, USA, collected a large sample (4.96 nb⁻¹) of minimum bias Cu+Au collision dataset at 200 GeV. Asymmetric heavy ion collisions offer unique geometrical configuration and studying of particle production and reconstructed jets in such system provides opportunity to understand the interplay between collision geometry and initial and final state effects.

Energy densities achieved in Cu+Au collisions can be similar to those in Au+Au collisions at 200 GeV but without the low density corona region. In the most central Cu+Au collisions at 200 GeV, the smaller Cu nucleus is completely buried in the larger Au nucleus. The study of Cu+Au collisions as a function of centrality can help disentangle the core of the collision region, characterized by a large energy density, and the outer corona region.

We will present light hadrons transverse momentum spectra and nuclear modification factors as well as jet reconstruction measured in Cu+Au collisions at 200 GeV with PHENIX experiment. Comparison between results obtained in Cu+Au collisions and results from symmetric Au+Au collisions at 200 GeV will be carried out.

References

1. Adcox K., Adler S.S., Aizama M., Ajitanand N. N. et. al. PHENIX Detector Overview // Nuclear Instruments and Methods A 2003. Vol. 499. P. 469–479.



ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ИОНОВ ¹³C НА ЯДРАХ ¹⁶O, ²⁷Al

**Н. Буртебаев¹, Д.Т. Буртебаева¹,
Ж. К. Керимкулов¹, М. Насурлла¹,
А. К. Морзабаев², Н. Амангелды^{1,2},
И. А. Иванов^{1,2}, Б. Мауей^{1,2}, Е. Кок^{1,2},
А. С. Аймаганбетов^{1,2}, Г. Ергалиулы²**

¹Институт Ядерной Физики,
050032 Алматы, Ибрагимова 1, Казахстан,
тел: +7 727 386 6806, факс: +7 727 386 5260,
e-mail: nburtebayev@yandex.ru

²Евразийский национальный университет
им. Л. Н. Гумилева, Сатбаев 2, 010000, Астана, РК
тел: +7 7172 709500, факс: +7 7172 709457,
e-mail: kuk.yesen@gmail.com

Исследование упругого рассеяния легких ионов на ядрах 1-р оболочки при энергиях вблизи кулоновского барьера представляет особый интерес с точки зрения установления достоверных значений параметров потенциалов взаимодействия тяжелых ионов [1] для астрофизических приложений.

Пучок ионов ¹³C ускорился на циклотроне ДЦ-60 (ИЯФ, Астана, РК) до энергии 1,5 МэВ/нуклон и бомбардировал мишень Al₂O₃ толщиной 30 мкг/см². Дифференциальные сече-

ния упругого рассеяния измерены в диапазоне углов 30° – 120° в системе центра масс.

Получены угловые распределения упругого рассеяния ионов углерода на ядрах ^{16}O и ^{27}Al . Проведен литературный обзор данных по упругому рассеянию ионов ^{13}C на ядрах ^{16}O и ^{27}Al , и составлена систематика экспериментальных и теоретических результатов. Определены оптимальные параметры потенциалов взаимодействия тяжелых ионов из анализа данных по упругому рассеянию в рамках оптической модели ядра с использованием программного кода FRESKO [2].

Список литературы

1. Satchler G. R. 1983 Nuclear Physics A, Vol 409, с. 3
2. Thompson I. J. Comput. Phys. Rep. 1988. 7, 167.



STUDY OF ELASTIC SCATTERING ^{13}C IONS ON NUCLEUS ^{16}O , ^{27}Al

N. Burtebayev¹, J. Burtebayeva¹,
Zh. K. Kerimkulov¹, M. Nassurlla¹,
A. K. Morzabayev², N. Amangeldi^{1,2},
I. A. Ivanov^{1,2}, B. Mauey^{1,2}, E. Kok^{1,2},
A. S. Aimagambetov^{1,2}, G. Ergaliuly²

¹Institute of Nuclear Physics, 050032 Almaty, Ibragimova 1, Kazakhstan, phone: +7 727 386 6806, fax: +7 727 386 5260,

e-mail: nburtebayev@yandex.ru

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satbayev 2, 010000, Astana, Kazakhstan, phone: +7 7172 709500, fax: +7 7172 709457, e-mail: kuk.yesen@gmail.com

Study of elastic scattering light ions on 1-p shell nucleus at energies near Coulomb barrier is interested to determinate real values of optical potentials of heavy ion interactions [1] for astrophysical applications.

Beam of carbon ions was accelerated to 1.5 MeV/nucleon on cyclotron DC –60 (INP, Astana, Kazakhstan) and bombarded target Al_2O_3 with thickness $30 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Differential cross section

was measured in interval 30° – 120° in center mass system.

Angle distributions of the elastic scattering carbon ions on nucleus ^{16}O and ^{27}Al was received. Literature review of elastic scattering ions ^{13}C on nucleus ^{16}O , ^{27}Al and systematization of experimental and theoretical data was conducted. Optimal parameters of optical potentials of heavy ion interactions was obtained from analysis of data in frame of optical model of nucleus by using program code FRESKO [2].

Reference

1. Satchler G. R. Nuclear Physics 1983. A, Vol 409, p. 3.
2. Thompson I. J. Comput. Phys. Rep. 1988. 7, 167.



ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОГО РАССЯНИЯ ИОНОВ ^{20}Ne НА ЯДРАХ ^{16}O ПРИ ЭНЕРГИИ 1,75 МэВ/н

Н. Буртебаев¹, Д.Т. Буртебаева¹,
Ж. К. Керимкулов¹, Д. Алимов¹,
М. Насурлла¹, Н. Амангелды^{1,2}, Б. Мауей^{1,2},
Е. Кок^{1,2}, А. С. Аймаганбетов^{1,2}, С. Б. Сакута³,

¹Институт Ядерной Физики, 050032 Алматы, Ибрагимова 1, Казахстан
тел.: +7 727 386 6806, факс +7 727 386 5260,
e-mail: nburtebayev@yandex.ru

²Евразийский национальный университетим. Л.Н. Гумилева, 010000, Астана, РК
тел.: +7 727 3866800, факс: +7 727 3865260,
e-mail: kuk.yesen@gmail.com

³Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский институт», 123182 Москва, Россия, тел.: +07 499 196 9309,
e-mail: sbsakuta@mail.ru

В работе [1] был выполнен анализ упругого рассеяния ионов ^{20}Ne на ядрах ^{16}O при энергии 2,5 МэВ/нуклон, где значительный подъем сечения под обратными углами был воспроизведен с учетом вклада механизма передачи α -частицы от налетающей частицы к ядру-мишени.

Целью данной работы является изучение упругого рассеяния ^{20}Ne на ядре ^{16}O при энергиях вблизи кулоновского барьера – 1,75 МэВ/нуклон на выведенном пучке циклотрона ДЦ-60 (ИЯФ, Астана). Угловые распределения упругого рассеяния для системы $^{20}\text{Ne}+^{16}\text{O}$ были измерены в диапазоне углов 20° – 120° в системе центра масс с использованием мишени Al_2O_3 толщиной 30 мкг/см². Регистрация и идентификация заряженных частиц было проведено с помощью ΔE -E методики. Толщина ΔE детектора составила 8 мкм, E детектора – 200 мкм.

Из анализа измеренного дифференциального сечения упругого рассеяния ионов неона на ядрах ^{16}O в рамках оптической модели ядра [2] получены оптимальные параметры потенциалов взаимодействия для исследуемых ядерных систем. Как и в работе [1], расчеты по методу связанных каналов с использованием программы FRESCO [3] позволили воспроизвести подъем сечения упругого рассеяния под обратными углами для системы $^{20}\text{Ne}+^{16}\text{O}$ с учетом вклада механизма передачи α -кластера от налетающего иона к ядру-мишени.

Список литературы

1. Burtebayev N. , Nassurlla M. , Alimov D. et al, [Journal of Physics Conference Series](#) 590(1):012056 · April 2015 with 14 Reads DOI: 10.1088/1742-6596/590/1/012056.
2. Perey F. SPI-GENOA, An optical model search code (unpublished).
3. Thompson I. J. Comput. Phys. 1988. Rep. 7, 167.



STUDY OF ELASTIC SCATTERING ^{20}Ne IONS ON NUCLEUS ^{16}O AT ENERGY 1.5 MeV/n

N. Burtebayev¹, J. Burtebayeva¹,
Zh. K. Kerimkulov¹, D. Alimov¹, M. Nassurlla¹,
N. Amangeldi^{1,2}, B. Mauey^{1,2}, E. Kok^{1,2},
A. S. Aimaganbetov^{1,2}, S. B. Sakuta³

¹Institute of Nuclear Physics, Ibragimova 1, 050032 Almaty, Ibragimova 1, Kazakhstan, phone: +7 727 386 6806, fax: +7 727 386 5260, e-mail: nburtebayev@yandex.ru

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satbayev2, 010000, Astana, Kazakhstan, phone: +7 7172 709500, fax: +7 7172 709457, e-mail: kuk.yesen@gmail.com

³National Research Center "Kurchatov Institute", 123182 Moscow, Russia, phone: +07 499 196 9309, fax: +07 499 196 1612, e-mail: sbsakuta@mail.ru

Analysis of elastic scattering of ^{20}Ne ions on nucleus ^{16}O at energy 1.5 MeV/n was performed in article [1]. In this article, significant rise of cross section at back angles was connected by contribution of mechanism of alpha-particle transfer from incident nucleus to target.

Purpose of article is studying elastic scattering of ^{20}Ne on nucleus ^{16}O at energies near Coulomb barrier – 1.75 MeV/n. The beam of ^{20}Ne was accelerated on cyclotron DC-60 (INP, Astana). Angle distributions of elastic scattering for system $^{20}\text{Ne}+^{16}\text{O}$ were measured in interval 30° – 120° in center mass system by using target Al_2O_3 with thickness 30 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. Registration and identification of charged particles was conducted by ΔE -E method. The thickness of ΔE detector – 8 μm , E detector – 200 μm .

Optimal parameters of heavy ions interactions was installed in frame of optical model of nucleus [2], from analysis of measured differential cross section of elastic scattering neon ions on nucleus ^{16}O . As in article [1], calculations by method coupled channels by using program FRESCO [3] showed rise of cross section of elastic scattering at backward angles with considering of α -cluster transfer from incident nucleus to target.

Reference

1. N. Burtebayev, M. Nassurlla, D. Alimov et al, [Journal of Physics Conference Series](#)

590(1):012056. April 2015 with 14 Reads DOI: 10.1088/1742-6596/590/1/012056.

2. F. Perey, SPI-GENOA, An optical model search code (unpublished).

3. Thompson I. J. Comput. Phys. Rep. 1988. 7, 167.



ИССЛЕДОВАНИЕ РАССЕЙЯНИЯ И РЕАКЦИЙ ($^3\text{He}, \alpha$) НА ЯДРАХ ^9Be ПРИ ЭНЕРГИЯХ 15-20 МЭВ/н

**Н. Буртебаев¹, С.К. Сахиев¹,
Н. В. Глушенко¹, Е. Мухамеджанов¹,
М. Насурлла¹, С. Б. Сакута²**

¹Институт Ядерной Физики, 050032 Алматы,
Ибрагимова 1, Казахстан
тел.: +7 727 386 6806, факс +7 727 386 5260,
e-mail: nburtebayev@yandex.ru

²Национальный Исследовательский Центр
«Курчатовский институт», 123182 Москва, Россия,
тел.: +07 499 196 9309, факс: +07 499 196 1612,
e-mail: sbsakuta@mail.ru

Дифференциальные сечения реакций ($^3\text{He}, \alpha$), а также упругое и неупругое рассеяния ионов ^3He на ядрах ^9Be были измерены в широком диапазоне угловом при энергиях 50 и 60 МэВ на циклотроне ИЯФ [1]. Полная погрешность экспериментальных данных составляла до 10 % для упругого рассеяния и до 15 % для неупругого рассеяния и каналов реакций.

Из анализа экспериментальных угловых распределений упругого рассеяния в рамках оптической модели установлены дискретные наборы потенциалов взаимодействия для системы $^3\text{He}+^9\text{Be}$. Наилучшее описание эксперимента дает набор с глубиной реальной части потенциала $V_0 \approx 115$ МэВ.

Анализ реакций ($^3\text{He}, \alpha$) был выполнен в рамках метода связанных каналов с использованием программы FRESKO [2]. Подъем сечения реакций ($^3\text{He}, \alpha$) под обратными углами удалось воспроизвести с учетом вклад механизма обмена кластерами между взаимодействующими ядрами.

Список литературы

1. Адодин В. В. и др. // Препринт ИЯФ, Алматы, 1992.

2. Thompson I. J. Comput. Phys. Rep. 1988. 7, 167.



STUDY OF SCATTERING AND REACTIONS ($^3\text{He}, \alpha$) AT ^9Be NUCLEI AT ENERGIES OF 15-20 MeV/n

**N. Burtebayev¹, S.K. Sakhijev¹,
N.V. Glushchenko¹, E. Mukhamejanov¹,
M. Nassurlla¹, S.B. Sakuta²**

¹Institute of Nuclear Physics, 050032 Almaty,
Ibragimova 1, Kazakhstan,
phone: +7 727 386 6806, fax: +7 727 386 5260,
e-mail: nburtebayev@yandex.ru

²National Research Center «Kurchatov Institute»,
123182 Moscow, Russia,
phone: +07 499 196 9309, fax: +07 499 196 1612,
e-mail: sbsakuta@mail.ru

The differential cross sections of reactions ($^3\text{He}, \alpha$), as well as elastic and inelastic scattering of ^3He ions on nuclei ^9Be were measured in a wide range of angles at energies 50 and 60 MeV at cyclotron in INP [1]. The total error of the experimental data was up to 10 % for the elastic scattering and to 15 % for inelastic scattering and reaction channels.

From the analysis of the experimental angular distributions of elastic scattering in the optical model discrete sets of interaction potentials were obtained for the system $^3\text{He}+^9\text{Be}$. The best description of the experiment gives a set with the depth of the real part of the potential $V_0 \approx 115$ MeV.

Analysis of the reaction ($^3\text{He}, \alpha$) was performed in frame of the method of coupled channels using FRESKO program [2]. The rise of the reaction cross sections ($^3\text{He}, \alpha$) under the reverse angle could reproduce considering the contribution of the clusters exchange mechanism between interacting nuclei.

Reference

1. Adodin V. V. et all. // Preprint INP, Almaty, 1992.

2. Thompson I. J. Comput. Phys. Rep. 1988. 7, 167.

ELASTIC SCATTERING OF ^3He IONS AND ALPHA PARTICLES FROM ^{13}C NUCLEI IN OPTICAL AND FOLDING MODELS

**N. Burtebayev¹, Zh.K. Kerimkulov¹,
A. S. Demyanova², D. M. Janseitov^{1,3},
D. K. Alimov^{1,4}**

¹Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan

²NRC Kurcatov Institute, Moscow, Russia

³Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

⁴Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

e-mail: janseit.daniar@gmail.com

The scattering of nucleons and complex nuclear particles (deuterons, alpha particles, heavy ions) on the nuclei is an important source of information about nuclear structure [1]. But the parameters of optical potential of interaction of particles with light nuclei at low and medium energies, derived from the analysis of differential cross sections of elastic scattering in the optical model (OM), are subject to ambiguities and require reliable estimates.

In order to obtain reliable information about the potential of nuclear interaction, obtained in a cyclotron U150M of Institute of Nuclear Physics (Almaty, Kazakhstan), the experimental data on the scattering of ions ^3He and alpha particles in ^{13}C nuclei at $E_{^3\text{He}} = 50$ and 60 MeV [2] and $E_{\alpha} = 29$ and 50 MeV analyzed both in terms of the standard optical model with the set of potential in the parameterized form and finding its parameters by comparing the theoretical and experimental cross sections, and within a microscopic model in which the potentials are based on the effective nucleus-nucleus forces [3].

In this paper we carried out a comparative analysis of the elastic scattering of ^3He ions and alpha particles from ^{13}C nuclei in optical and folding models.

Joint analysis by standard optical model of the nucleus and folding model based on full M3Y effective interaction, allowed to eliminate the ambiguity of the optical potential. The optimal physical reasonable values of the parameters of optical potential and the normalization coefficients for the real part of folding potential are found. It is shown that both potential correlated and give a similar description of the experimental data.

References

1.. Satchler G. R. Direct Nuclear Reactions N. Y.- Oxford:Oxford Ulliv.Press, 1983.

2. Burtebayev N., Duisebaev A., Duisebaev B. A. and Sakuta S. B.. Elastic Scattering of ^3He Nuclei on ^{13}C Nuclei at 50 and 60 MeV and V-W Ambiguity in Choosing Optical Potentials // Physics of Atomic Nuclei, 2000. 63, 4.

3. Satchler G. R., Love W. G.. Folding model potentials from realistic interactions for heavy-ion scattering // Phys. Rep. 1979. 55.



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ПРОТОНОВ ЯДРАМИ ^{14}N ПРИ НИЗКИХ ЭНЕРГИЯХ

**¹Н. Буртебаев, ¹К. Ж. Керимкулов,
^{1,2}Д. М. Зазулин, ^{1,2}Д. К. Алимов, ^{1,3}
Д. М. Джансейтов, ^{1,2}Е. С. Мухамеджанов**

¹Институт ядерной физики,

Республики Казахстан, 050032

²КазНУ им. аль - Фараби, Алматы,

Казахстан, 050013

³ЕНУ им. Л. Н. Гумелева, Астана,

Казахстан, 010000, e-mail: diliyo@mail.ru

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF DIFFERENTIAL CROSS SECTIONS OF ELASTIC SCATTERING OF PROTONS BY ^{14}N NUCLEI AT LOW ENERGIES

**¹N. Burtebayev, ¹K. Zh. Kerimkulov,
^{1,2}D. M. Zazulin, ^{1,2}D. K. Alimov,
^{1,3}D.M. Djanseitov, ^{1,2}Y.S.Mukhamedzhanov**

¹Institute of Nuclear Physics

Republic of Kazakhstan, 050032

²KazNU named al - Farabi, Almaty, Kazakhstan,
050013

³ENU named L.N,Gumeev, Astanaa, Kazakhstan,
010000, e-mail: diliyo@mail.ru

В настоящее время по сечениям упругого рассеяния протонов на ядрах ^{14}N при низких

энергиях имеется экспериментальная информация, полученная разными авторами с погрешностью 5–10 % при следующих энергетических и угловых диапазонах: $\theta_{р, \text{лаб.}} = 1600$, $E_{р, \text{лаб.}} = 1400\text{--}2400$ кэВ [1]; $\theta_{р, \text{лаб.}} = 900\text{--}1600$, $E_{р, \text{лаб.}} = 900\text{--}4000$ кэВ [2]; $\theta_{р, \text{лаб.}} = 400\text{--}1400$, $E_{р, \text{лаб.}} = 1500\text{--}3500$ кэВ [3]; $\theta_{р, \text{лаб.}} = 900\text{--}1600$, $E_{р, \text{лаб.}} = 1000\text{--}3000$ кэВ и $\theta_{р, \text{лаб.}} = 300\text{--}1700$, $E_{р, \text{лаб.}} = 1800\text{--}4000$ кэВ [4]; $\theta_{р, \text{лаб.}} = 900\text{--}1600$, $E_{р, \text{лаб.}} = 620\text{--}1820$ кэВ [5]; $\theta_{р, \text{лаб.}} = 1400$ и 1780 , $E_{р, \text{лаб.}} = 500\text{--}2500$ кэВ [6]; $\theta_{р, \text{лаб.}} = 1500$, $E_{р, \text{лаб.}} = 850\text{--}1900$ кэВ [7]. Очевидно, что для надежного проведения фазового анализа и определения параметров оптического потенциала для системы $p+^{14}\text{N}$ при $E_{р, \text{лаб.}} < 1,1$ МэВ необходимо провести дополнительные измерения дифференциальных сечений процесса $^{14}\text{C}(p,p)^{14}\text{C}$ с погрешностью не хуже 5 % при $E_{р, \text{лаб.}} < 1100$ кэВ с шагом около 100 кэВ для $\theta_{р, \text{лаб.}} = 300\text{--}1600$ с шагом около 100. Этот диапазон энергий важен тем, что именно при сверхнизких энергиях протекают процессы в термоядерных и гибридных ядерных установках.

Поэтому на электростатическом тандемном ускорителе УКП-2-1 Института ядерной физики РК нами были получены новые экспериментальные данные по упругому рассеянию протонов на ядрах ^{14}N при $E_{р, \text{лаб.}} = 700\text{--}1100$ кэВ. В качестве мишени использовалась пленка TiN с естественным изотопным составом азота ($^{14}\text{N} - 99,634\%$). Подробное описание ускорителя и экспериментальных методов можно найти в работах [8,9] и в их ссылках. Было выполнено подробное измерение с погрешностью 5–10 % дифференциальных сечений упругого рассеяния протонов на ядрах ^{14}N в диапазоне углов $\theta_{\text{лаб.}} = 300\text{--}1600$ с шагом 100 при $E_{р, \text{лаб.}} = 700, 800, 900, 1000$ и 1100 кэВ.

В пределах погрешностей результаты настоящего эксперимента совпали с литературными данными в перекрывающихся областях. При углах $\theta_{\text{лаб.}} = 300\text{--}600$ и $E_{р, \text{лаб.}} = 800, 900, 1000$ и 1100 кэВ, а также при $\theta_{\text{ц.м.}} = 300\text{--}1000$ и $E_{р, \text{лаб.}} = 700$ кэВ с точностью 5 % экспериментальные сечения совпали с сечениями Резерфорда, в то время как при больших углах, они заметно больше Резерфордовских, что тоже не противоречит литературным данным.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке программы развития атомной энергетики в Республике Казахстан по теме: получение экспериментальных и расчетных

сечений ядерных реакций, выходов осколков деления на ускорительном комплексе ИЯФ РК.

Список литературы

1. V. Havmек, V. Hnatowicz, J. Kvltek. // Czech. Jour. of Phys. 1991. V. 41. № 10. P. 921–928.
2. S. Bashkin, R.R. Carlson, and R.A. Douglas. // Phys. Rev. 1959. V.114. № 6. P. 1552–1553.
3. C.R. Bolmgren, et al. // Phys. Rev. 1957. V.105. № 1. P. 210–212.
4. R.J. De Boer et al. // Phys. Rev. C. 2015. V.91. P.045804-1-045804-10.
5. F.B. Hagedorn, et al. // Physical Review. 1957. V.105. №1. P. 219–226.
6. A.R. Ramos, et al. // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B. 2002. V.190. P. 95–99.
7. W. Tautfest George, S. Rubin. // Phys. Rev. 1956. V.103. № 1. P. 196–199.
8. N. Burtebayev et al. // Phys. Rev. C. 2008. V.78. P.035802-1 035802-11.
9. С.Б. Дубовиченко et al. // Яд. Физ. 2011.Т.74. № 7. С. 1013–1028.



ИЗМЕРЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СЕЧЕНИИ ПРОЦЕССОВ $^{14}\text{N}(^3\text{He}, ^3\text{He})^{14}\text{N}$ И $^{14}\text{N}(^3\text{He}, \text{d})^{15}\text{O}$ ПРИ ЭНЕРГИИ 50 И 60 МэВ

¹Н. Буртебаев, ¹К. Ж. Керимкулов,
^{1,2}Д. К. Алимов, ^{1,2}Д. М. Зазулин,
^{1,3}Д. М. Джансейтов, ^{1,2}Е. С. Мухамеджанов

¹Институт ядерной физики,
Республики Казахстан, 050032
²КазНУ им. аль-Фараби,
Алматы, Казахстан, 050013
³ЕНУ им. Л. Н. Гумелева,
Астана, Казахстан, 010000
e-mail: zhambul-k@yandex.ru

MEASURING THE DIFFERENTIAL CROSS SECTION OF $^{14}\text{N}(^3\text{He}, ^3\text{He})^{14}\text{N}$ AND $^{14}\text{N}(^3\text{He}, \text{d})^{15}\text{O}$ AT ENERGIES 50 AND 60 MeV

¹N. Burtabayev, ¹K. Zh. Kerimkulov,
^{1,2}D. K. Alimov, ^{1,2}D. M. Zazulin, ^{1,3}
D. M. Djanseitov, ^{1,2}Y. S. Mukhamedzhanov

¹Institute of Nuclear Physics
Republic of Kazakhstan, 050032
²KazNU named al - Farabi,
Almaty, Kazakhstan, 050013
³ENU named L. N. Gumelev, Astana, Kazakhstan,
010000, e-mail: zhambul-k@yandex.ru

Измерения проводились на выведенных пучках ионов ^3He изохронного циклотрона У-150М Института ядерной физики (Алматы, Казахстан). Энергия ионов ^3He составляла 50 и 60 МэВ. В качестве мишени использовался естественный газ азота (99,61 % от ^{14}N) давление которого было около 1 атмосферы. Эффективная толщина мишени была в диапазоне от 1 до 7 мг/см², в зависимости от угла измерения. Неопределенность в оценке толщины не более 3 %. Более подробно, конструкция мишени описана в работе [1].

В экспериментах использовалась ΔE-E методика регистрации и идентификации заряженных частиц. Рассеянные частицы регистрировались телескопом, состоящим из двух кремниевых детекторов с толщиной 100 микрон (ΔE) и 2 мм (E). Общее энергетическое разрешение варьировалось от 400 до 500 кэВ, в зависимости

от угла рассеяния, и определялось в основном разбросом энергии в пучке и толщиной мишени.

Дифференциальные сечения упругого и неупругого рассеяния были измерены в диапазоне углов от 10° до 170° в лабораторной системе координат. Угловые распределения имеют дифракционную структуру вплоть до углов 60°–70°. С увеличением угла наблюдается широкий максимум, а затем спад без выраженных осцилляций. Статистические погрешности измеренных дифференциальных сечений не превышали 10 %.

Исследовано упругое и неупругое рассеяние ионов ^3He на ядрах ^{14}N и процесс $^{14}\text{N}(^3\text{He}, \text{d})^{15}\text{O}$ при энергиях 50 и 60 МэВ. Анализ угловых распределений проведен с использованием оптической модели ядра, фолдинг модели и метод искаженных волн. Получено хорошее описание экспериментальных данных в полном диапазоне углов с потенциалами, имеющими объемные интегралы реальной части вблизи 400–500 МэВ фм³.

Литература

1. Duisebayev A. D., Ivanov G. N., Burtabayev N. T. et al. Izv. AN Kaz. SSR, ser. fiz.-mat. 4, 73, 1984.



РАССЕЯНИЕ ^3He И α -ЧАСТИЦ НА ЯДРАХ ^{16}O ПРИ ЭНЕРГИЯХ ОКОЛО 50 МэВ

Н. Буртебаев, А. Дуйсебаев, Б.А. Дуйсебаев,
Т. К. Жолдыбаев, Д. Т. Буртебаева,
М. Насурлла

Институт Ядерной Физики, Ибрагимова 1,
050032 Алматы, Казахстан,
телефон: +7 727 386 6806, факс:
+7 727 386 5250, e-mail: nburtebayev@yandex.ru

Национальный Исследовательский Центр
«Курчатовский институт», 123182 Москва,
Россия, телефон: +07 499 196 9309,
факс: +07 499 196 1612, e-mail: sbsakuta@mail.ru

При энергиях ^3He 60 МэВ и α -частиц 48,1 МэВ исследованы упругое и неупругое рассеяние на ядрах ^{16}O . Эксперимент был выполнен на изохронном циклотроне У-150 ИЯФ (Алматы,

Казахстан) с использованием газовой мишени. Дифференциальные сечения рассеяния измерялись в диапазоне углов от 10° до 170° в лабораторной системе. Анализ угловых распределений проводился по оптической модели ядра, методом искаженных волн и связанных каналов с использованием программ SPI-GENOA [1], DWUCK4 [2] и FRESCO [3].

Получено хорошее описание измеренных угловых распределений в полном диапазоне углов с потенциалами, имеющими объемный интеграл реальной части около 400 МэВ Фм^3 .

Неупругое рассеяние анализировалось в рамках коллективной, микроскопической и кластерной моделей. Наилучшее описание угловых распределений для возбужденного состояния $6,13 \text{ МэВ } (3^-)$ дает кластерная модель.

Эффекты ядерной радуги, обусловленные преломляющими свойствами межъядерного потенциала, отчетливо проявляются в угловых распределениях.

Список литературы

1. Perey F. SPI-GENOA. An optical model search code // unpublished.
2. Kunz P. D. Computer program DWUCK4. Zero range distorted wave Born approximation// unpublished.
3. Thompson I. J. Coupled Reaction Channels Calculations in nuclear Physics // Computer Phys. Rep. 1988. V. 7. P. 167–212.



SCATTERING OF ^3He AND α -PARTICLES ON ^{16}O NUCLEI AT ENERGIES ABOUT 50 MeV

**N. Burtebayev, A. Duisebayev, B.A. Duisebayev,
T. K. Zholdybayev, J. T. Burtebayeva,
M. Nassurlla**

Institute of Nuclear Physics,
Ibragimova 1, 050032 Almaty, Kazakhstan,
phone: 7273 866722, fax: 7272546 517,
e-mail: nburtebayev@yandex.ru

S.B. Sakuta

National Research Center "Kurchatov Institute",
123182 Moscow, Russia, phone: 07 499 196 9309,
fax: 07 499 196 1612, e-mail: sbsakuta@mail.ru

Elastic and inelastic scattering of ^3He and α -particles on the ^{16}O nuclei were investigated at the 60 MeV and 48.1 MeV energies, respectively. The experiment was performed at the isochronous Cyclotron U-150 of INP (Almaty, Kazakhstan) using a gas target. Differential cross sections are measured in the angular range from 10 to 170 degrees in the laboratory system. Analysis of the angular distributions was conducted with optical model, distorted waves Born approximation and the coupled reactions channels with using SPI-GENOA [1], DWUCK4 [2] и FRESCO [3] codes.

A good description of the measured angular distributions was obtained in the full angular range with potentials having the volume integral of the real part about 400 MeV fm^3 .

The inelastic scattering was analyzed in the frame work of collective, microscopic and cluster models. The best description of the angular distributions was obtained for the excited 3^- state with the cluster model.

Effects of the nuclear rainbow, which are caused by refractive properties of the internuclear potential, are clearly observed in the angular distributions.

List of references

1. Perey F. SPI-GENOA. An optical model search code // unpublished.
2. Kunz P. D. Computer program DWUCK4. Zero range distorted wave Born approximation // unpublished.
3. Thompson I. J. Coupled Reaction Channels Calculations in nuclear Physics // Computer Phys. Rep. 1988. V. 7. P. 167–212.

ФОТОРОЖДЕНИЕ НЕЙТРАЛЬНЫХ ПИОНОВ НА НЕЙТРОНЕ

С. А. Булычев,¹ А. Е. Кудрявцев,¹
В. В. Куликов,¹ М. А. Мартемьянов,¹
И. И. Страковский,² В. Е. Тарасов¹

¹ ФГБУ ГНЦ РФ - «Институт теоретической и экспериментальной физики»
НИЦ «Курчатовский институт»,
117218 Москва, Россия

² Университет Дж. Вашингтона, NM 87545, США

Важной частью исследований, проводимых коллаборацией A2 на пучке меченых фотонов электронного микротрона MAMI в Майнце (Германия), являются прецизионные измерения дифференциальных и полных сечений реакций фоторождения пионов на квазисвободных нуклонах ядра. В настоящей работе приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований реакции $\gamma n \rightarrow \pi^0 n$, которые являются важным этапом для определения изоскалярных и изовекторных констант электромагнитного взаимодействия N^* и Δ^* резонансов [1]. Приведенные результаты основаны на данных коллаборации A2, набранных в области энергий γ -квантов от 200 до 800 МэВ на дейтериевой мишени. Они дополняют данные коллаборации по фоторождению нейтральных пионов на протонах [2].

Модельное описание было осуществлено с помощью парциально-волнового анализа в рамках теоретических предсказаний группы SAID (Университет Дж. Вашингтона, США). В расчет были добавлены модельно-зависимые нуклонные корреляции в дейтроне, полученные на основе взаимодействия в конечном состоянии. Для регистрации конечных продуктов реакции была задействована калориметрическая система установки коллаборации A2, состоящая из сегментированного детектора Crystal Ball. Несомненно, регистрация конечного нейтрона является одной из важных задач настоящей работы. Проведенный анализ экспериментальных данных показал, что эффективность регистрации нейтронов составляет примерно 35 % при энергиях от 140 до 400 МэВ и является спадающей функцией при меньших значениях [3].

Подавление фона от заряженных частиц осуществляется с помощью сцинтилляционного детектора для идентификации частиц (PID). Вы-

числение эффективности регистрации реакции проведено с помощью точного моделирования эксперимента, выполненного в рамках программы GEANT. Предварительные результаты по полному и дифференциальным сечениям приведены в настоящей работе. Кроме того, было проведено сравнение экспериментальных данных с предсказаниями теоретических групп SAID (США) и MAID (Германия).

Список литературы

1. Strakovsky I. et al. Progress in Neutron EM Couplings. arXiv:1512.01557 (2015).
2. Adlarson P. et al. Measurement of π^0 photoproduction on the proton at MAMI C. Phys.Rev. C92 (2015), 024617.
3. Martemianov M. et al., A new measurement of the neutron detection efficiency for the NaI Crystal Ball detector. JINST 10 (2015), T04001.



PHOTOPRODUCTION OF NEUTRAL PIONS OFF NEUTRON

S. A. Bulychjov,¹ A. E. Kudryavtsev,¹
V. V. Kulikov,¹ M. A. Martemianov,¹
I. I. Strakovsky,² V. E. Tarasov¹

¹ FSBI SSC RF - «Institute for Theoretical and Experimental Physics»

NRC «Kurchatov Institute», 117218 Moscow, Russia
² George Washington University, NM 87545, США

An important part of research carried out by A2 Collaboration on the tagged photons beam of electronic microtron MAMI in Mainz (Germany) is a precision measurement of differential and total cross sections for photoproduction reactions of pions on quasi-free nucleons. In this paper we present the results of theoretical and experimental studies of reaction $\gamma n \rightarrow \pi^0 n$, which are an important step to determine isoscalar and isovector constant of the electromagnetic interaction for N^* and Δ^* resonances [1]. These results are based on data collected by A2 Collaboration at photon energies between 200 and 800 MeV on a deuterium target. They com-

plement the collaboration data on the photoproduction of neutral pions by protons [2].

The model description has been performed using the partial-wave analysis in the theoretical predictions of SAID group (G. Washington University, USA). The model-dependent nucleon correlations in deuteron obtained from the interaction in the final state have been implemented to corresponding calculations. For registration of the final products, it was used the calorimetric system of A2 Collaboration, consisting of segmented Crystal Ball detector. Certainly, the final registration of neutron is one of the important tasks of this work. The analysis of experimental data indicated that the neutron detection efficiency is about 35 % at energies between 140 and 400 MeV and became a decreasing function at lower values [3].

The background suppression of charged particles is performed with help of the scintillation detector for particle identification (PID). Calculation of the detection efficiency was done an accurate simulation of the experiment based on the GEANT program. Preliminary results for the total and differential cross sections are presented in this paper. In addition, we compared experimental data with the predictions of theoretical groups SAID (USA) and MAID (Germany).

References

1. Strakovsky I. et al. Progress in Neutron EM Couplings. arXiv:1512.01557 (2015).
2. Adlarson P. et al. Measurement of π^0 photoproduction on the proton at MAMI C. Phys.Rev. C92 (2015), 024617.
3. Martemianov M. et al., A new measurement of the neutron detection efficiency for the NaI Crystal Ball detector. JINST 10 (2015), T04001.



АНАЛИЗ ОРИЕНТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯДРА ^{12}C (2^+ ; 4,44 МэВ) В НЕУПРУГОМ РАССЕЯНИИ α -ЧАСТИЦ НА УГЛЕРОДЕ ПРИ $E_\alpha = 16\text{--}25$ МэВ

Л. И. Галанина, Н. С. Зеленская,
В. М. Лебедев, Н. В. Орлова, А. В. Спасский

НИИ ядерной физики им. Д. В. Скобельцына,
МГУ им. М. В. Ломоносова, Россия, 119991,
ГСП-1, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2,
тел/факс (495)9392507

E-mail: wg2@anna19.sinp.msu.ru

В нашей работе [1] были представлены результаты измерения двойных дифференциальных сечений $d^2\sigma/d\Omega_\alpha d\Omega_\gamma$ реакции $^{12}\text{C}(\alpha, \alpha^1\gamma_{4,44})^{12}\text{C}$ в трех плоскостях регистрации γ -квантов в области энергии $E_\alpha = 16,5\text{--}25,1$ МэВ для 12 значений угла вылета α -частиц от 20 до 163° (лаб.). Там же приведены восстановленные из этих данных энергетические зависимости всех 9 компонентов спин-тензоров матрицы плотности ядра ^{12}C в состоянии $2^+(4,44$ МэВ), заселенностей его магнитных подсостояний и тензоров ориентации мультипольных моментов.

В настоящей работе приведены результаты анализа всех полученных в [1] экспериментальных ориентационных характеристик ядра ^{12}C в предположении суммы двух механизмов: коллективного рассеяния с учетом связи каналов и механизма срыва кластера ^8Be с учетом его возбужденных состояний. В расчетах использованы коды CHUCK [2], FRESCO [3] и OLYMP [4]. Результаты расчетов качественно передают угловую зависимость сечения для отдельных энергий и среднее поведение некоторых тензорных компонентов, но не передают немонотонную энергетическую зависимость большинства исследованных корреляционных характеристик.

Проведенная оценка возможного вклада в сечение неупругого рассеяния многоступенчатых процессов показала, что он мал во всем диапазоне исследованных энергий.

Список литературы

1. Игнатенко А. В. и др. // Препринт НИИЯФ МГУ 90-25/171. 1990.

2.. Kunz P. D. // <http://spot.colorado.edu/~kunz/Home.html>.

3. <http://www.fresco.org.uk/>.

4. Zelenskaya N. S. et al. // Proc. CP90 Europhys. Conf. on computation physics. Amsterdam. 1990. /Ed A. Tenner. Word Scientific, 1990. P. 542.



ANALYSIS OF THE ^{12}C (2^+ ; 4,44 MeV) NUCLEUS ORIENTATION CHARACTERISTICS IN α -PARTICLES INELASTIC SCATTERING ON CARBON AT $E_\alpha = 16\text{--}25$ MeV

L. I. Galanina, N. S. Zelenskaya, V. M. Lebedev, N. V. Orlova, A. V. Spassky

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of Moscow State University, 1(2), Leninskie gory, GSP-1, Moscow 119991, Russia, phone/fax (495)9392507, E-mail: wg2@anna19.sinp.msu.ru

In our paper [1] we presented the data of the $^{12}\text{C}(\alpha, \alpha 1\gamma_{4,44})^{12}\text{C}$ reaction double differential cross sections $d^2\sigma/d\Omega_\alpha d\Omega_\gamma$ measurement in three planes of γ -quanta registration at the $E_\alpha = 16,5\text{--}25,1$ MeV energy range for 12 values of the α -particles emission angle from 20 to $163^\circ(\text{lab})$.

There are also the energy dependences of all nine ^{12}C (2^+ ; 4,44 MeV) nucleus spin-tensor matrix density components, the populations of its magnetic sublevels and multipole moments tensor orientation restored from these results.

In the present work we report the results of the analysis of all obtained in [1] ^{12}C nucleus experimental orientation characteristics on the assumption of the sum of two mechanisms: collective scattering with coupled channels and mechanism of the ^8Be cluster stripping taking into account its excited states.

In the calculations we used codes CHUCK [2], FRESCO [3], OLYMP [4]. The calculation results are qualitatively reproduce the cross section angular dependence for the individual energy and the

average behavior of some tensor components but do not reproduce a nonmonotonic energy dependence of the most studied correlation characteristics.

Assessment of multistep processes possible contribution to the inelastic cross-section scattering has shown that it is small at all the investigated energies.

References

1. Ignatenco A. V. et al. // Preprint SINP MSU 90–25/171. 1990.

2. Kunz P. D. // <http://spot.colorado.edu/~kunz/Home.html>.

3. <http://www.fresco.org.uk/>.

4. Zelenskaya N. S. et al. // Proc. CP90 Europhys. Conf. on computation physics. Amsterdam. 1990. /Ed A. Tenner. Word Scientific, 1990. P. 542.



ВЫХОДЫ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА ПРИ ПОГЛОЩЕНИИ ОСТАНОВИВШИХСЯ ПИОНОВ НА ЛЕГКИХ ЯДРАХ

Ю. Б. Гуров, Л. Ю. Короткова, С. В. Лапушкин, Т. И. Леонова, Р. В. Притула, Б. А. Чернышев, Т. Д. Щуренкова

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
115409, Россия, Москва, Каширское ш. 31,
+7 (495) 788-56-99, e-mail rvpritura@gmail.com

Представлены результаты исследования спектров и выходов изотопов водорода (p , d , t), образующихся в реакции поглощения остановившихся пионов атомными ядрами. Работа основана на результатах эксперимента, выполненного на синхроциклотроне ПИЯФ РАН с использованием полупроводникового спектрометра [1]. Получен уникальный набор данных по образованию заряженных частиц на семнадцати мишенях в диапазоне массовых чисел $6 < A < 209$. Для анализа этих данных нами была разработана модель [2, 3], позволившая удовлетворительно опи-

сать спектры и выходы заряженных частиц на средних и тяжелых ядрах.

В настоящей работе модель применяется для описания выходов p , d , t , образованных при поглощении пионов легкими ядрами (${}^6,7\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$, ${}^{10,11}\text{B}$, ${}^{12}\text{C}$) с учетом их ярко выраженной кластерной структуры. Достигнуто удовлетворительное (на уровне 20 %) согласие с экспериментальными результатами. Оценен вклад различных кластеров (pp , ${}^3,4\text{He}$) в процесс поглощения.

Список литературы

1. Gornov et. al. // Nucl. Inst. and Meth in Phys.Res. A. 2000. Т. 446. С. 461.
2. Короткова и др. // Известия РАН: Серия физическая 2012. Т. 76. С. 446.
3. Гуров и др. // Известия РАН: Серия физическая 2013. Т. 77. С. 415.



YIELDS OF HYDROGEN ISOTOPES IN THE REACTION OF STOPPED PION ABSORPTION BY LIGHT NUCLEI

**Yu. B. Gurov, L. Yu. Korotkova, S. V. Lapushkin,
T. I. Leonova, R. V. Pritula, B. A. Chernyshev,
T. D. Schurenkova**

National Research Nuclear University MEPhI,
Moscow, Russia

115409, Russia, Moscow, Kashirskoe sch. 31,
+7 (495) 788-56-99, e-mail rvpritula@gmail.com

Results of the investigation on spectra and yields of hydrogenium isotopes formed in reaction of stopped pion absorption by atomic nuclei are presented. Study is based on experimental results obtained on pion channel of PNPI synchrocyclotron using semiconductor spectrometer [1]. Unique data on charged particle formation following pion absorption on 17 target nuclei in the mass range $6 < A < 209$ have been obtained. In order to analyze the data we developed a phenomenological model [2, 3] that allowed to satisfactorily describe spectra and yields of the charged particles formed on intermediate and heavy nuclei.

In the present work we use the model to describe yields of p , d , t formed in the reaction of pion absorption by the light nuclei (${}^6,7\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$, ${}^{10,11}\text{B}$, ${}^{12}\text{C}$) taking into account their distinctive cluster structure. The satisfactory agreement (20 %) with the experimental results was reached. Contributions of various clusters (pp , ${}^3,4\text{He}$) in the absorption process was estimated.

Список литературы

1. Gornov et. al. // Nucl. Inst. and Meth in Phys.Res. A. 2000. Т. 446. С. 461.
2. Короткова и др. // Известия РАН: Серия физическая 2012. Т. 76. С. 446.
3. Гуров и др. // Известия РАН: Серия физическая 2013. Т. 77. С. 415.



ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИИ ЛЕГКИХ ЧАСТИЦ ИНДУЦИРОВАННЫХ ИОНАМИ ${}^3\text{He}$ НА ЯДРЕ ${}^{112}\text{Sn}$

**А. Дуйсебаев¹, Б. А. Дуйсебаев¹,
Т. К. Жолдыбаев¹, Б. М. Садыков¹,
К. М. Исмаилов², М. Насурлла^{1,3}**

¹ Институт ядерной физики,
050032 Алматы, Казахстан,
Phone +7-727-3866832, Fax +7-727-3865260,
e-mail: zholdybayev@inp.kz;

² Назарбаев Университет, Астана, Казахстан;

³ КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

Данная работа является продолжением цикла работ по исследованию инклюзивных сечений реакций, инициированных ионами ${}^3\text{He}$ на ядрах – кандидатах на конструкционные элементы проектируемых атомных электростанций. Развитие нового поколения ядерных энергетических систем с высоким уровнем безопасности (Accelerator Driven System – ADS), состоя из протонного акселератора, нейтронной производственной задачи и sub критического реактора, развернулось во многих странах. Согласно физическому сценарию работы ADS, высокоэнергетические протоны, проходя через мишень, производят не только нейтронный поток, но также и более

сложные нуклиды, такие как ${}^2,3\text{H}$, ${}^{3,4}\text{He}$ и т. д., которые инициируют реакции с эмиссией вторичных нейтронов. Особенный интерес представляет измерение инклюзивных спектров реакций, вызванных ионами ${}^3\text{He}$. Экспериментальная информация по такого рода реакциям чрезвычайно недостаточна.

Цель настоящей работы состоит в экспериментальном исследовании инклюзивных спектров легких заряженных частиц, испускаемых при взаимодействии ${}^3\text{He}$ с ядром ${}^{112}\text{Sn}$ при $E_{3\text{He}} = 50$ MeV в угловом диапазоне $30\div 150^\circ$ с шагом 15° , измеренных на изохронном циклотроне U-150M Института Ядерной Физики. В эксперименте использовалась самоподдерживающаяся фольга ${}^{112}\text{Sn}$ толщиной $1,88$ mg/cm².

Анализ экспериментальных сечений реакций выполнен в соответствии с экситонной моделью предравновесного распада ядер, которая описывает эмиссию частиц вплоть до составного ядра. Дополнительные компоненты, вычисленные полуэмпирически, чтобы определить вклады прямых реакции передач и выбивания нуклонов, включая кластерные степени свободы. Достигнуто удовлетворительное согласие между экспериментальными и расчетными значениями.

Работа была поддержана Программой грантового финансирования научных исследований Министерства образования и науки Республики Казахстан – Грант 0335/GF4.



INVESTIGATION OF LIGHT PARTICLE EMISSION INDUCED BY ${}^3\text{HE}$ IONS ON ${}^{112}\text{Sn}$ NUCLEUS

**A. Duisebayev¹, B. A. Duisebayev¹,
T. K. Zholdybayev¹, B. M. Sadykov¹,
K. M. Ismailov², M. Nassurlla^{1,3}**

¹ Institute of Nuclear Physics,
050032 Almaty, Kazakhstan,
Phone +7-727-3866832, Fax +7-727-3865260,
e-mail: zholdybayev@inp.kz;

² Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan

³ Kazakh State University named after al-Farabi,
Almaty, Kazakhstan

Work is continuation of a cycle of researches of inclusive cross sections of reactions initiated by ions

${}^3\text{He}$ on nuclei – candidates of constructional elements of projected nuclear power plants. The development of the new generation of nuclear energy systems with a high level of safety (Accelerator Driven System-ADS), consisting of a proton accelerator, the neutron production target and sub critical reactor deployed in many countries. According to the physical scenario of ADS, high-energy protons passing target assembly generate not only the neutron flux, but also more complex nuclides such ${}^2,3\text{H}$, ${}^{3,4}\text{He}$ etc initiating the reaction with the emission of secondary neutrons. Of particular interest is the measurement of the inclusive spectra of the reactions induced by ${}^3\text{He}$ ions. Experimental information about these reactions is extremely insufficient.

The purpose of this work has been the experimental investigation of inclusive spectra of light particles emitted from ${}^3\text{He}$ induced reactions on ${}^{112}\text{Sn}$ nucleus at $E_{3\text{He}} = 50$ MeV in angular range $30\div 150^\circ$ with the step 15° measured on isochronous cyclotron U-150M of Institute of Nuclear Physics. The self-supporting foil of ${}^{112}\text{Sn}$ with thickness of 1.88 mg/cm² has used in these experiments.

The analysis of experimental cross-sections of reactions is carried out in accordance with exciton model for pre-equilibrium nuclear reactions that describes the emission of particles from an equilibrating composite nucleus. Additional components are calculated semi-empirically to account for direct nucleon transfer reactions and direct knockout processes involving cluster degrees of freedom. A satisfactory agreement between experimental and calculated values has been achieved.

The work was supported by the Program of Grant funding of scientific researches under Ministry of Education and Science of Republic of Kazakhstan – Grant 0335/GF4.



МЕХАНИЗМЫ РЕАКЦИЙ $^{103}\text{Rh}(P, PX)$, ИЗМЕРЕННЫХ ПРИ ЭНЕРГИИ ПРОТОНОВ 30 МЭВ

А. Дуйсебаев¹, Б. А. Дуйсебаев¹, Т. К. Жолдыбаев¹,
Б. М. Садыков¹, М. Нассурлла¹, К. М. Исмаилов²

¹ Институт Ядерной Физики,
Алматы, Казахстан;

² Назарбаев Университет, Астана, Казахстан
E-mail: sadykovbm@inp.kz

Программы по разработке нового поколения ядерно-энергетических систем с высоким уровнем безопасности (Accelerator Driven System), состоящих из протонного ускорителя, нейтрон-производящей мишени и подкритического реактора, развернуты во многих странах. При создании таких устройств для корректного моделирования нейтронного потока необходимы данные о спектральном составе и угловых распределений вторичных протонов и легких заряженных частиц, произведенных первичным протонным пучком.

Инклюзивные спектры протонов, образующихся при взаимодействии протонов с энергией 30 МэВ с ядром Rh, были получены на изохронном циклотроне У-150М Института ядерной физики в угловом диапазоне $15^\div 135^\circ$ с шагом 15° . Для регистрации протонов использовали тонкий кремниевый детектор толщиной 100 микрон и CsI (Tl) детектор полного поглощения (2,5 см). Телесный угол телескопа детекторов составил $\Omega = 4,62 \cdot 10^{-5}$ ср. В качестве мишени использовалась самоподдерживающаяся фольга Rh с толщиной 3 мкм.

Энергетическая калибровка спектрометра выполнялась на основе кинематики уровней ядра в реакции $^{12}\text{C}(p, xp)$ и протонам отдачи. Полное энергетическое разрешение системы составила 400 кэВ и, в основном, определялась разбросом энергии пучка. Дисперсия энергии пучка была равна 0,4 %. Полная систематическая ошибка не превышала 10 %, а статистическая неопределенность – 8 %.

Анализ экспериментальных результатов был выполнен в рамках экситонной модели Гриффина [1] предравновесного распада ядер. В наших теоретических расчетах была использована программа PRECO-2006 [2], которая описывает излучение частиц с массовыми числами от 1 до 4. Получено удовлетворительное согласие между экспериментальными и расчетными значениями

в области энергий, соответствующих предравновесному механизму.

Список литературы

1. Griffin J. J. // Phys. Rev. Lett. 1966. № 9. P. 478.
2. Kalbach C. PRECO-2006: Exiton model pre-equilibrium nuclear reaction code with direct reaction. Durham NC 27708-0308, 2007.



THE MECHANISM OF REACTIONS $^{103}\text{Rh}(P, PX)$ MEASURED AT PROTONS ENERGY 30 MEV

A. Duisebayev¹, B. A. Duisebayev¹,
T. K. Zholdybayev¹, B. M. Sadykov¹,
M. Nassurlla¹, K. M. Ismailov²

¹ Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan;

² Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan
E-mail: sadykovbm@inp.kz

The development of the new generation of nuclear energy systems with a high level of safety (Accelerator Driven System), consisting of a proton accelerator, the neutron production target and sub critical reactor are deployed in many countries. In creating such devices for correct modeling of the neutron flux the data on the spectral composition and angular distributions of secondary protons and light charged particles produced by primary proton beam are required.

Inclusive spectra of protons emitted from proton induced reactions on Rh nucleus at $E_p = 30$ MeV in angular range $15^\div 135^\circ$ with the step 15° was received on isochronous cyclotron U-150M of Institute of Nuclear Physics. For registration of protons thin silicon detector of 100 micron and CsI(Tl) detector of full absorption (2.5 cm) were used. The solid angles subtended by a telescope of detectors were equal to $\Omega = 4.62 \cdot 10^{-5}$ sr. The self-supporting foil of Rh with thickness of 3 mkm was used in these experiments.

The energy calibration of a spectrometer was carried out on kinematics of levels of residual nuclei in the reaction $^{12}\text{C}(p, xp)$ and protons of recoil. The total system energy resolution, equal to 400 keV, mainly has been determined by the beam energy resolution. The energy dispersion of beam was equal

to 0.4 %. The whole systematic error was less than 10 % and the statistical uncertainty was less than 8 %.

The analysis of the experimental results has been conducted in the Griffin exciton model [1] of the preequilibrium decay of nuclei. The code PRECO-2006 [2], which describes the emission of particles with mass numbers from 1 to 4, has been used in our theoretical calculations. A satisfying agreement between experimental and calculated values in the energy region corresponded to the preequilibrium mechanism has been achieved.

References

1. Griffin J. J. // Phys. Rev. Lett. 1966. № 9. P. 478.
2. Kalbach C. PRECO-2006: Exiton model preequilibrium nuclear reaction code with direct reaction. Durham NC 27708-0308, 2007.



ИЗМЕРЕНИЕ ТЕНЗОРНОЙ НАБЛЮДАЕМОЙ T_{20} РЕАКЦИИ КОГЕРЕНТНОГО ФОТОРОЖДЕНИЯ НЕЙТРАЛЬНОГО ПИОНА НА ТЕНЗОРНО-ПОЛЯРИЗОВАННОЙ ДЕЙТЕРИЕВОЙ МИШЕНИ НА НАКОПИТЕЛЕ ВЭПП-3

С. А. Зеваков¹, В. В. Гаузштейн²,
А. В. Грамолин¹, В. Ф. Дмитриев^{1,3},
Р. Р. Дусаев², Б. А. Лазаренко¹,
С. И. Мишнев¹, Д. М. Николенко¹,
И. А. Рачек¹, Р. Ш. Садыков¹, В. Н. Стибунов²,
Д. К. Топорков^{1,3}, Ю. В. Шестаков¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера Сибирского отделения РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 11.
Факс: (383) 330-71-63.

²Физико-технический институт национального исследовательского Томского политехнического университета.

³Новосибирский национальный исследовательский государственный университет.
E-mail: S.A.Zevakov@inp.nsk.su

Эксперимент по измерению компоненты тензорной анализирующей способности T_{20} ре-

акции когерентного фоторождения нейтрального пиона на тензорно-поляризованной газовой дейтериевой мишени ($\gamma\bar{d} \rightarrow d\pi^0$) проведен на накопителе ВЭПП-3 при энергии электронов 2 ГэВ. Измерения проводились в двух кинематических диапазонах: энергии фотонов $E_\gamma = 200\text{--}500$ МэВ и угле вылета нейтрального пиона $\theta_{\pi^0}^{\text{CM}} = 100^\circ\text{--}140^\circ$, $E_\gamma = 300\text{--}600$ МэВ и $\theta_{\pi^0}^{\text{CM}} = 40^\circ\text{--}70^\circ$.

В эксперименте использовался криогенный источник поляризованных атомов, сделанный в ИЯФ, который позволяет получить толщину сверхтонкой внутренней газовой поляризованной мишени $5 \cdot 10^{13}$ ат/см². Детекторы регистрируют дейтрон и 1 или 2 фотона от распада нейтрального пиона на совпадениях. Детектором нейтрального пиона является электромагнитный калориметр из кристаллов NaI/CsI, перекрывающий угол $\theta = 50^\circ\text{--}150^\circ$, и регистрирующий фотоны от распада нейтрального пиона. Два дейтронных плеча детектора состоят из дрейфовых камер и пластмассовых сцинтилляторов.

Степень поляризации мишени в эксперименте, измеряемая с использованием регистрации упругого рассеяния электрона на дейтроне при малом переданном импульсе, составила ~38 %.

Будут представлены результаты по измерению компоненты T_{20} . Результаты эксперимента сравниваются с некоторыми теоретическими предсказаниями.



**MEASUREMENTS OF THE TENSOR
OBSERVABLE OF COHERENT
PHOTOPRODUCTION OF NEUTRAL
PION ON TENSOR-POLARIZED
DEUTERIUM TARGET AT THE VEPP-3
STORAGE RING**

S. A. Zevakov¹, V. F. Dmitriev^{1,2}, R. R. Dusaev³,
V. V. Gauzshteyn³, A. V. Gramolin¹,
B. A. Lazarenko¹, D. M. Nikolenko¹,
S. I. Mishnev¹, I. A. Rachek, R. Sh. Sadykov¹,
V. N. Stibunov³, Yu. V. Shestakov¹,
D. K. Toporkov^{1,2}.

¹Budker Institute of Nuclear Physics of Siberian
Branch Russian Academy of Sciences
(BINP SB RAS), Lavrentiev Avenue 11,
Novosibirsk, 630090, Russia, (383) 330-71-63.

²Novosibirsk State University, Russia.

³Institute of Physics and Technology, National
Research Tomsk Polytechnical University,
Tomsk, Russia. E-mail: S.A.Zevakov@inp.nsk.su

The experiment on measurements of the tensor analyzing power T20 of coherent photoproduction of neutral pion on a tensor polarized deuterium gas target ($\gamma\vec{d} \rightarrow d'\pi^0$) at the VEPP-3 at 2 GeV electron energy is described. Measurements covered two kinematic ranges: the photon energy range $E_\gamma = 200\text{--}500$ MeV, neutral pions emission angle in range $\theta_{\pi^0}^{cm} = 100^\circ\text{--}140^\circ$ and $E_\gamma = 300\text{--}600$ MeV, $\theta_{\pi^0}^{cm} = 40^\circ\text{--}70^\circ$.

In the experiment we use cryogenic deuterium polarized atomic beam source, manufactured in BINP, which allows to get the thickness of the polarized target $5 \cdot 10^{13}$ at/cm².

The detectors register deuterons and 1 or 2 photons from π^0 decay in coincidence. Neutral pion detector arm consists of electromagnetic NaI/CsI calorimeter, covering $\theta = 50^\circ\text{--}150^\circ$ and detects photons from π^0 decay. Two deuteron detector arms consists of the wire chambers and plastic scintillators, covering $\theta = 20^\circ\text{--}30^\circ$ and $\theta = 60^\circ\text{--}70^\circ$.

The measurements of the degree of target polarization and of the experiment luminosity were done by detecting the elastic electron-deuteron scattering at low momentum transfer. The degree of target polarization was $\sim 38\%$.

Results on the measurements of the tensor analyzing power component are presented and are compared with several theoretical predictions.



**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
nn-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
В РЕАКЦИЯХ С ДВУМЯ НЕЙТРОНАМИ
В КОНЕЧНОМ СОСТОЯНИИ**

С. В. Зуев¹, А. А. Каспаров¹, Е. С. Конобеевский¹,
В. М. Лебедев², М. В. Мордовской¹,
А. В. Спасский²

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт ядерных исследований Российской академии наук

117312 Москва, проспект 60-летия Октября д.7а
Телефон: (499)135 7760. Факс: (499)135 2268.

E-mail: konobeev@inr.ru

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова»

Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына

119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.
Телефон: (495)939 1818. Факс: (495)939 0896

Как известно, исследование *nn*-взаимодействия проводится в основном в реакциях с двумя нуклонами в конечном состоянии. В последние годы обнаружены сильные расхождения экспериментальных данных с результатами наиболее полных и точных Фаддеевских расчетов, в частности, в реакции *nd*-развала в геометриях *nn*-квазисвободного рассеяния и в кинематике «Space Star».

Возможное объяснение этих расхождений – это предположение, что в ядре ³Н (*nnp*-система) дополнительная корреляция двух нейтронов, индуцированная протоном, приводит к появлению эффективного «слабосвязанного состояния» двух нейтронов в поле протона. Идея предлагаемых нами экспериментов состоит в том, что если

из ${}^3\text{H}$ быстро удалить протон, то наблюдаемый характер импульсных распределений “оставшейся” nn пары не должен измениться. И можно рассчитывать, что измеренные нами nn -корреляции, в частности извлеченные энергии nn квазисвязанного синглетного 1S_0 состояния окажутся совсем не те, которые присущи свободным nn -системам.

Мы планируем комплексное исследование реакций $n + {}^3\text{H} \rightarrow {}^2\text{H} + (nn)$, $n + {}^2\text{H} \rightarrow {}^1\text{H} + (nn)$ и $d + {}^2\text{H} \rightarrow (pp) + (nn)$ с регистрацией как заряженной частицы ${}^2\text{H}$, ${}^1\text{H}$ или pp , так и нейтронов от развала синглетного nn 1S_0 состояния. В данной работе представлены предварительные результаты по измерению временных (энергетических) спектров нейтронов, полученных в реакции $d + {}^2\text{H} \rightarrow {}^2\text{He} + n + n$ на 15 МэВ-ном дейтронном пучке циклотрона У-120 НИИЯФ МГУ. Две частицы детектировались в совпадении – заряженная частица ${}^2\text{He}$ (pp) и нейтрон. Проведенное ранее моделирование реакции показало, что анализ формы энергетического спектра нейтронов, регистрируемых под определенным углом, позволяет получить информацию об энергии квазисвязанного состояния. Анализ энергий квазисвязанного состояния, полученных в данной и других планируемых реакциях позволит оценить степень nn -корреляций в различных реакциях и определить механизм самих этих корреляций.



STUDY OF n - n INTERACTION PARAMETERS IN REACTIONS WITH TWO FINAL STATE NEUTRONS

**E. Konobeevski¹, A. Kasparov¹, V. Lebedev²,
M. Mordovskoy¹, A. Spassky², S. Zuyev¹**

¹ Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences
Prospekt 60-letiya Oktyabrya 7a,
Moscow, 117312 Russia
Phone: (499)135 7760. Fax: (499)135 2268.
E-mail: konobeev@inr.ru

² Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics,
Moscow State University
Leninskie gory 1(2), Moscow, 119991 Russia.
Phone: (495)939 1818. Fax: (495)939 0896

It is known, that investigation of nn -interaction is performed mostly using reactions with two neutrons in the final state. However, it appeared that in many cases there are strong discrepancies of the experimental data with the results of the most complete and accurate Faddeev calculations. In particular, such differences were found for the nd -breakup reaction in the nn quasi-free scattering and in «Space Star» kinematics.

A possible explanation for the above discrepancies is an assumption that in the ${}^3\text{H}$ nucleus (nnp -system) an additional correlation of two neutrons induced by a proton leads to effective «bound state» of two neutrons in the proton field. The idea of our proposed experiments is as follows: if the proton will be quickly removed from the ${}^3\text{H}$, the character of the observed momentum distributions of the «remaining» nn -pair should not change. And we can expect that we measured nn -correlation, in particular the extracted energy of nn quasi-bound singlet 1S_0 state will be different than that inherent to a free nn -system.

We propose to perform a complex study of $n + {}^3\text{H} \rightarrow {}^2\text{H} + (nn)$, $n + {}^2\text{H} \rightarrow {}^1\text{H} + (nn)$ and $d + {}^2\text{H} \rightarrow (pp) + (nn)$ reactions with registration both a charged particle (${}^2\text{H}$, ${}^1\text{H}$, pp) and neutrons from the breakup of the nn 1S_0 state. Now we present preliminary data on the neutron timing (energy) spectrum obtained in $d + {}^2\text{H} \rightarrow {}^2\text{He} + n + n$ reaction at the 15 MeV deuteron beam of the U-120 cyclotron of the Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics. The two particles were detected in coincidence – the charged particle ${}^2\text{He}$ (pp) and the neutron. Previous simulation of the reaction showed that the analysis of the shape of the

energy spectrum of neutrons, detected at a certain angle, provides information about the energy of quasi-bound state. The analysis of the quasi-bound state energies obtained in all planned reactions allow

one to estimate the degree of nn -correlation in various reactions and determine the mechanism of these very correlations.



РЕЗОНАНСНОПОДОБНАЯ СТРУКТУРА, НАБЛЮДАЕМАЯ В РЕАКЦИИ $^{25}\text{Mg}(p, \gamma)^{26}\text{Al}$

А. С. Качан, И. В. Кургуз, В. М. Мищенко, С. Н. Утенков

ННЦ «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина

E-mail: kachan@kipt.kharkov.ua

Изучен γ -распад резонансноподобной структуры (РПС), наблюдаемой в реакции $^{25}\text{Mg}(p, \gamma)^{26}\text{Al}$ в районе энергий возбуждения 7–9 МэВ. Проведены измерения функции возбуждения данной реакции. Силы резонансных состояний ($S = (2J+1)\Gamma_p\Gamma_\gamma/\Gamma$) в интервале энергий ускоренных протонов $E_p = 1.4\text{--}2.0$ МэВ определены из сравнения интенсивностей γ -линий исследуемого резонанса с γ -линией резонанса при $E_p = 953$ кэВ с энергией $E_\gamma = 5153$ кэВ (переход с резонансного состояния на уровень с энергией 2069 кэВ). Образующиеся в реакции γ -кванты регистрировались спектрометром с Ge(Li)-детектором объемом 70 см³ и энергетическим разрешением 3,2 кэВ для $E_\gamma = 1332$ кэВ. Для получения сведений о спинах резонансов, входящих в РПС, и коэффициентов смешивания по мультипольностям γ -излучения, были измерены угловые распределения γ -квантов при $E_p = 1375, 1587, 1649, 1699, 1714$ кэВ. Результаты измерений в виде коэффициентов разложения по полиномам Лежандра (a_k) приведены в таблице.

E_p , кэВ	$E_i \rightarrow E_f$, кэВ	a_2	a_4	a_6	χ_{\min}^2	δ
1375	7628→4205	-0,03±0,03	-0,08±0,04	0,03±0,05	0,5	0,22±0,05
1587	7832→0	0,28±0,08	-0,24±0,09	0,07±0,09	0,6	-0,39±0,07
1649	7891→0	-0,13±0,03	-0,05±0,04	0,01±0,04	1,2	0,38±0,08
1699	7939→2069	0,28±0,05	-0,16±0,05	-0,01±0,05	0,4	-0,40±0,07
1714	7953→0	-0,11±0,01	-0,04±0,01	0,02±0,02	0,6	0,21±0,05

Полученные распределения силы М1-переходов между резонансными состояниями и низколежащими связанными в ^{26}Al имеют резонансный характер. Положение центра тяжести магнитного дипольного резонанса (МДР) на основном состоянии равно 7,92 МэВ. Полная сила МДР равна 5,7 МэВ μ_N^2 . Центр тяжести МДР в ^{26}Al находится на 3 МэВ ниже по энергии возбуждения, чем в 4N -ядрах. Это различие можно объяснить, предположив существование нейтрон-протонного спаривания между нечетным нейтроном и протоном, находящимися на одной орбите.



RESONANCE-LIKE STRUCTURE OBSERVED IN $^{25}\text{Mg}(p,\gamma)^{26}\text{Al}$ REACTION

A. S. Kachan, I. V. Kurguz, V. M. Mischenko, S. N. Utenkov

National Scientific Center «Kharkov Institute of Physics and Technology», Ukraine

E-mail: kachan@kipt.kharkov.ua

The gamma decay of the resonance-like structure (RLS), observed in the $^{25}\text{Mg}(p,\gamma)^{26}\text{Al}$ in the region of excitation energies of 7–9 MeV was studied. The excitation function of the $^{25}\text{Mg}(p,\gamma)^{26}\text{Al}$ reaction was measured. The resonance strengths $S = (2J+1)\Gamma_p\Gamma_\gamma/\Gamma$ in the accelerated proton energy range of 1.4–2.0 MeV were determined from the comparison between γ lines intensities of the resonance under study and the gamma ray lines of the resonance at $E_p = 953$ keV, of the energies $E_\gamma = 5153$ keV (transition from the resonance state to the 2069 keV level). The γ quanta produced in the reactions were registered by the 70 cm³ Ge(Li)-detector spectrometer with energy resolution of 3.2 keV for $E_\gamma=1332$ keV. To obtain information on the spins of resonances entering into the RLS and the mixing factors of gamma-radiation multipolarities (δ), we have measured angular distributions of γ quanta at $E_p = 1375, 1587, 1649, 1699, 1714$ keV. The measured data in the form of the coefficients of Legendre polynomial expansion (a_k) have been listed in table.

E_p , keV	$E_i \rightarrow E_f$, keV	a_2	a_4	a_6	χ_{\min}^2	δ
1375	7628→4205	-0,03±0,03	-0,08±0,04	0,03±0,05	0,5	0,22±0,05
1587	7832→0	0,28±0,08	-0,24±0,09	0,07±0,09	0,6	-0,39±0,07
1649	7891→0	-0,13±0,03	-0,05±0,04	0,01±0,04	1,2	0,38±0,08
1699	7939→2069	0,28±0,05	-0,16±0,05	-0,01±0,05	0,4	-0,40±0,07
1714	7953→0	-0,11±0,01	-0,04±0,01	0,02±0,02	0,6	0,21±0,05

The obtained distributions of the strength of M1 – transitions between the resonance states and the low-lying bound states in ^{26}Al have resonance character. The position of the center of gravity of the magnetic dipole resonance (MDR) on the ground state in ^{26}Al are equal to 7,92 MeV. Total strength MDR in ^{26}Al is equal to 5,7 MeV μ_N^2 . The center of gravity of the MDR in ^{26}Al lies on the average 3 MeV lower in the excitation energy than that in 4N nuclei. This difference can be explained by assuming the existence of the neutron-proton pairing between the odd neutron and proton being in the same orbit.



СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИЙ МНОГОНУКЛОННЫХ ПЕРЕДАЧ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ^{18}O и ^{48}Ca с Та

К. Мендибаев^{1,2}, С. М. Лукьянов¹,
М. П. Иванов¹, В. А. Маслов¹,
Ю. Э. Пенионжкевич¹, Н. К. Скобелев¹,
Ю. Г. Соболев¹, Б. М. Хуе³, Д. Т. Азнабаев^{1,2}

¹ Лаборатория Ядерных Реакций
им. Флерова, Дубна, РФ;

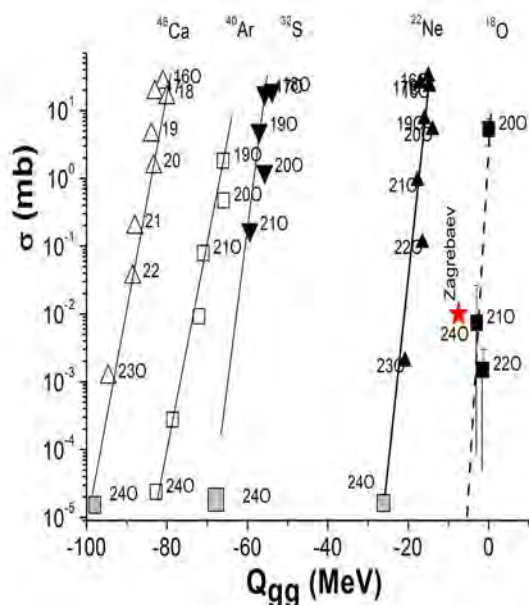
² Институт Ядерной Физики, Алматы, РК;

³ Институт Физики, Ханой, Вьетнам

Одним из методов получения экзотических ядер является многонуклонная передача. Реакции многонуклонных передач, происходящие в низкоэнергетических столкновениях тяжелых ионов в настоящее время считается наиболее перспективным способом получения новых тяжелых нейтроноизбыточных ядер, которые невозможно получить других реакциях.

В настоящей работе представлены результаты измерений сечение образования различных изотопов в передачах с пучками ^{18}O и ^{48}Ca . Эксперименты с пучками ^{18}O и ^{48}Ca при энергиях $E = 9\text{--}15$ MeV/A были проведены на циклотроне U400 Лаборатории Ядерных Реакции им. Флерова с использованием магнитного сепаратора вы-

сокого разрешения MSP-144 (MABP). Идентификация продуктов реакции проводилась по потерям энергии ΔE и остаточной энергии E_r в телескопе Si-Si(Li), расположенном в фокальной плоскости спектрометра.



Экспериментальные значения дифференциальных сечений образования изотопов кислорода были представлены в виде функции Q_{gg} для различных комбинаций мишень-пучок (см. рисунок). Полученное значение оказалось намного меньше, чем предсказывалось в работе [1]. Как видно из рисунка, канал реакции $(-xp, \pm nx)$ является более предпочтительнее по сравнению с чисто нейтронным pick-up каналом. Из сравнений, сечения образования изотопов кислорода в реакциях $^{18}\text{O} + \text{Ta}$ сравниваются с реакциями $^{22}\text{Ne} + \text{Ta}$, который приводит к образованию нейтроноизбыточных изотопов кислорода. Таким образом, использование пучка ^{22}Ne дает большую величину поперечного сечения для изотопов O в связи с ростом вероятности $(-xp, \pm nx)$ каналов.

Список литературы

1. V. I. Zagrebaev *et al.* // Phys. Rev. C. 2014. 89, 054608.

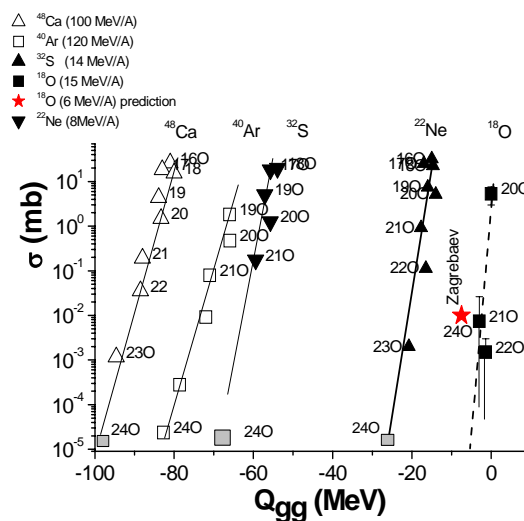


MULTINUCLEON TRANSFER REACTIONS IN $^{18}\text{O} + \text{Ta}$

K. Mendibayev^{1,2}, S. Lukyanov¹, M. Ivanov¹, V. Maslov¹, Yu. Penionzhkevich¹, N. Skobelev¹ Yu. Sobolev¹.

Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, Dubna, Russian Federation; ² Nuclear Physics Institute, Almaty, Kazakhstan

Alternative method for the production of the exotic nuclei is the multinucleon transfer. Multinucleon transfer reactions occurring in low-energy collisions of heavy ions are currently considered to comprise the most promising method for the production of new heavy neutron-rich nuclei, which could be not obtainable by other reaction mechanisms. An one of the important advent of the deep-inelastic interaction comparing with the fragmentation process is low excitation energy, implying into reaction products. For instance in the case of the neutron-rich isotopes, that could lead to the higher survival probability [1].



The aim of this study is an measuring of production cross section in the case of the ^{18}O projectile. In order to use opportunity of utilizing of secondary beams, knowledge of the relevant production cross sections is essential. The experiments with ^{18}O beams of energies $E = 15 \text{ MeV/A}$ were carried out at the U400 cyclotron of the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions (JINR) using the high resolution magnetic separator MSP-144. During the experiment, identification of products were determined by measuring of energy loss ΔE and residual energy E_r delivering by the Si-Si(Li) telescope, located in external focal plane of the MSP-144 spectrometer.

The experimental differential cross sections for producing oxygen isotopes was analyzed as a function of Q_{gg} for different target-projectile combinations at various projectile energies. We estimated the differential production cross section for ^{24}O by linear regression of the Q_{gg} systematics. The obtained value is much less than predicted in [1]. As it might be followed from Figure, the reaction channels $(-xp, \pm nx)$ are preferable comparing with pure neutron pick-up channel. Additionally, the production cross sections in the reaction $^{18}\text{O}+\text{Ta}$ are compared with the reaction $^{22}\text{Ne}+\text{Ta}$, leading to the production of neutron rich oxygen isotopes.

References

1. V. I. Zagrebaev et al. // Phys. Rev. C. 2014. 89, 054608
2. V.V. Volkov Nuclear reactions of deep inelastic transfers: Energoizdat, Moscow, 1982



ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЕ ДЕЛЕНИЕ АТОМНЫХ ЯДЕР (К 50- ЛЕТИЮ ОТКРЫТИЯ)

Н. К. Скобелев

Объединенный институт ядерных исследований,
141980 Дубна, Россия
E-mail: skobelev@jinr.ru

Представлена история открытия явления запаздывающего деления атомных ядер и дана ретроспектива проведенных исследований этого явления в различных научных центрах мира. Проанализированы результаты измерений основных характеристик запаздывающего деления: вероятность деления, полная кинетическая энергия осколков деления и массовое распределение осколков деления. Рассматриваются рекомендации по дальнейшим исследованиям в различных областях карты атомных ядер по поиску и изучению ядер, испытывающих запаздывающее деление. Обсуждаются направления дальнейших исследований характеристик запаздывающего

деления для решения современных проблем деления атомных ядер.



DELAYED FISSION OF ATOMIC NUCLEI

(FOR THE 50TH ANNIVERSARY
OF THE DISCOVERY)

N. K. Skobelev

Joint Institute for Nuclear Research,
141980, Dubna, Russia
E-mail: skobelev@jinr.ru

The history of the discovery of the delayed fission of atomic nuclei is given. A retrospective look at the investigations aimed to study this phenomenon in scientific centers worldwide is presented. The results of the measurements of the main characteristics of delayed fission are analyzed: delayed fission probability, the total kinetic energy of delayed fission fragments, and the mass distribution of fission fragments. Recommendations are considered for further investigation of various regions of the chart of the atomic nuclei aimed at searching for and examining nuclei undergoing delayed fission. The main directions of further investigations of the characteristics of delayed fission are discussed for solving the modern problems of nuclear fission.



ОСОБЕННОСТИ ПОЛНЫХ СЕЧЕНИЙ РЕАКЦИЙ С УЧАСТИЕМ ЛЕГКИХ СЛАБОСВЯЗАННЫХ ЯДЕР ${}^6\text{He}$, ${}^9\text{Li}$

Ю. Г. Соболев, М. А. Науменко,
Ю. Э. Пенюонжкевич, В. В. Самарин

Объединенный Институт Ядерных
Исследований, 141980, Дубна, Россия
Тел.: (7-49621) 64-733, Факс: (7-49621) 28-933
E-mail: sobolev@mail.ru

Представлен краткий обзор экспериментальных результатов и методов измерения полных сечений $\sigma_R(E)$ реакций ${}^4,6\text{He}$, ${}^7,9\text{Li} + {}^{\text{nat}}\text{Si}$ в диапазоне энергий 5÷50 МэВ/А [1–3]. Выявлены особенности энергетической зависимости в функции $\sigma_R(E)$, проявляющиеся в локальном повышении “бампе” $\sigma_R(E)$ в интервале энергий от ~10 МэВ/А до ~30 МэВ/А. Проведен теоретический анализ экспериментальных данных на основе микроскопической нестационарной модели [4–6].

Микроскопическое описание столкновений ядер ${}^6\text{He}$ и ${}^9\text{Li}$ с ядром ${}^{28}\text{Si}$ проведено на основе численного решения нестационарного уравнения Шредингера для внешних нейтронов ядер-снарядов. Поправки к ядро-ядерному потенциалу из-за перераспределения внешних нейтронов определены для энергий от 5 до 60 МэВ/нуклон с использованием зависящего от времени фолдинг-потенциала. Вероятность ухода из упругого канала (аналогично оптической модели), вычислена с помощью безотражательных граничных условиях для парциальных волн. Результаты расчета сечений согласуются с экспериментальными данными по полным сечениям перечисленных реакций.

Список литературы

1. Соболев Ю. Г. и др. // Изв. РАН Сер. физ. 2005. Т. 69. С. 1603–1608;
2. Sobolev Yu. G., Penionzhkevich Yu. E. et al. // Proceedings of the International Symposium on Exotic Nuclei, EXON 2014 (Kaliningrad, Russia, 8–13 September 2014). 2015. P. 147.
3. Соболев Ю. Г., и др. // Физика элементарных частиц и атомного ядра (ЭЧАЯ) Т. 47. 2016. в печати.
4. Zagrebaev V. I., Samarin V.V., Greiner W. // Phys. Rev. C. 2007. V. 75. P. 035809.

5. Самарин В. В. // ЯФ. 2015. Т. 78. С. 133–146.

6. Науменко М. А., Самарин В. В. Пенюонжкевич Ю. Э., Скобелев Н. К. // Изв. РАН Сер. физ. 2016. Т. 80. С. 294 – 303.



PECULIARITIES OF TOTAL CROSS SECTIONS OF REACTIONS WITH LIGHT WEAKLY-BOUND NUCLEI ${}^6\text{He}$, ${}^9\text{Li}$

Yu. G. Sobolev, M. A. Naumenko,
Yu. E. Penionzhkevich, V. V. Samarin

Joint Institute for Nuclear Research,
141980, Dubna, Russia
Phone: (7-49621) 64-733, Telefax: (7-49621) 28-933
E-mail: sobolev@mail.ru

Short review of experimental data results and methods of measuring total cross sections $\sigma_R(E)$ of reactions ${}^4,6\text{He}$, ${}^7,9\text{Li} + {}^{\text{nat}}\text{Si}$ in the energy range 5÷50 MeV/A is presented. [1-3]. Peculiarities of energy dependence of $\sigma_R(E)$, namely the local bump in the energy range ~10 MeV/A to ~30 MeV/A were observed. Theoretical analysis of experimental data on the basis of microscopic time-dependent model [4–6] has been performed.

Microscopic description of collisions of ${}^9\text{Li}$ and ${}^6\text{He}$ with the ${}^{28}\text{Si}$ nucleus has been performed on the basis of numerical solution of the time-dependent Schrodinger equation for the external neutrons of projectile nuclei. The corrections to the nucleus-nucleus potential associated with the redistribution of external neutrons were determined for intermediate energies from 5 to 60 MeV/nucleon using time-dependent folding potential. The probability of leaving elastic channel (similar to the optical model) was calculated based on the reflectionless boundary condition for partial waves. The calculated cross-sections are in agreement with the experimental data on the total reaction cross sections for these nuclei.

References

1. Sobolev Yu. G., et al. // *Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.* 2005. V. 69. P. 1790–1796.
2. Sobolev Yu. G., Penionzhkevich Yu. E. et al. // *Proceedings of the International Symposium on Exotic Nuclei, EXON 2014 (Kaliningrad, Russia, 8–13 September 2014)*. 2015. P. 147.
3. Sobolev Yu. G. et al. // *PEPAN*. Vol. 47. 2016. To be published.
4. Zagrebaev V. I., Samarin V. V., Greiner W. // *Phys. Rev. C*. 2007. V. 75. P. 035809.
5. Samarin V. V. // *Phys. Atom. Nucl.* 2015. V. 78. P. 128.
6. Naumenko M. A., Samarin V. V., Penionzhkevich Yu. E., Skobelev N. K. // *Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.* 2016. V. 80. P. 264–272.

