

Буртебаев Н., Демьянова А.С.,
Данилов А.Н., Керимкулов Ж.К.,
Джансейтов Д.М., Насурлла М.,
Алимов Д.К., Шакиров А.К.

Исследование экзотических состояний ядра ^{13}C

В данной работе представлены результаты измерений дифференциальных сечений упругого и неупругого рассеяния $\alpha + ^{13}\text{C}$ при энергиях $E_\alpha = 29$ МэВ и $E_\alpha = 65$ МэВ проведенных на циклотронах: У150М Института ядерной физики (г. Алматы, Казахстан) и К-130 Университета Ювяскюля (г. Ювяскюля, Финляндия) соответственно.

Первый возбужденный уровень ядра ^{13}C представляет особый интерес, т.к. является состоянием с увеличенным радиусом, где мы можем говорить о структуре нейтронного гало. Наблюдаемый сдвиг позиций минимумов Эйри показывает, что состояние 8,86 МэВ ($1/2^-$) ядра ^{13}C и состояние 7,65 МэВ (0^+_{2-}) ядра ^{12}C имеют много общего и, с определенной уверенностью, эти уровни можно было бы назвать аналогами друг друга.

В рамках модифицированной дифракционной модели (МДМ) определены радиусы возбужденных состояний: 3,09 МэВ ($1/2^+$) и 8,86 МэВ ($1/2^-$) при $E_\alpha = 65$ МэВ и 3,09 МэВ ($1/2^+$) при $E_\alpha = 29$ МэВ.

Ключевые слова: упругое и неупругое рассеяние, модифицированная дифракционная модель, радиусы возбужденных состояний.

Burtebayev N., Demyanova A.S.,
Danilov A.N., Kerimkulov Zh.K.,
Janseitov D.M., Nassurlla M.,
Alimov D.K., Shakirov A.K.

Investigation of exotic states of ^{13}C

The differential cross-sections of the elastic and inelastic $\alpha + ^{13}\text{C}$ scattering were measured at $E(\alpha) = 29$ in U150M cyclotron of Institute of Nuclear Physics (Almaty, Kazakhstan) and $E(\alpha) = 65$ MeV in K-130 cyclotron of University of Jyväskylä (Jyväskylä, Finland).

The first excited state of ^{13}C nucleus is of special interest because, it is a state with increased radius, where we can talk about the structure of a neutron halo. The observed shift of Airy minima positions shows that the state of 8.86 MeV ($1/2^-$) ^{13}C nucleus and the state of 7.65 MeV (0^+_{2-}) ^{12}C have much in common and, with some confidence, these levels could be called analogues of each other.

The radii of the states: 3.09 ($1/2^+$) and 8.86 ($1/2^-$) were determined by the Modified diffraction model (MDM) at $E(\alpha) = 65$ MeV and 3.09 ($1/2^+$) at $E(\alpha) = 29$ MeV.

Key words: elastic and inelastic scattering, modified diffraction model, radii of the excited states.

Бүртебаев Н., Демьянова А.С.,
Данилов А.Н., Керімқұлов Ж.К.,
Джансейтов Д.М., Насурлла М.,
Алимов Д.К., Шакиров А.К.

^{13}C ядросының экзотикалық күйлерін зерттеу

Бұл жұмыста $\alpha + ^{13}\text{C}$ дифференциалды қималарының серпімді және серпімсіз шашырауының $E_\alpha = 29$ МэВ Ядролық физика институтының У150М (Алматы қ., Қазақстан) және $E_\alpha = 65$ МэВ Ювяскюля Университетінің К-130 (Ювяскюля қ., Финляндия) үдеткіштерінде өткізілген тәжірибелердің нәтижелері көрсетілген.

^{13}C ядросының бірінші қозған күйі айрықша қызығушылықты тудырады, себебі осы қозған күйдің радиусы ұлғайтылғандықтан, нейтрондық гало құрылымы жайлы айта аламыз. Эйри минимумдарының орналасуының өзгерісі, ^{13}C ядросының 8,86 МэВ ($1/2^-$) күйі және ^{12}C ядросының 7,65 МэВ (0^+_{2-}) күйлері жалпы қасиеттері сәйкес келетіндіктен, бұл күйлерді бір біріне ұқсас ретінде қарастыруға болады.

Модификацияланған дифракциялық үлгі төңірегінде $E_\alpha = 65$ МэВ: 3,09 МэВ ($1/2^+$) және 8,86 МэВ ($1/2^-$), $E_\alpha = 29$ МэВ: 3,09 МэВ ($1/2^+$) қозған күйлерінің радиустары анықталды.

Түйін сөздер: серпімді және серпімсіз шашырау, модификацияланған дифракциялық үлгі, қозған күйлердің радиустары.

Результаты и обсуждение

Эксперименты были проведены на циклотронах: У-150М ИЯФ (Казахстан) при энергии $E_\alpha=29$ МэВ и К-130 JYFL (Финляндии) при энергии $E_\alpha=65$ МэВ. В этих экспериментах использовался набор ΔE - E телескопов, из кремниевых полупроводниковых детекторов, для регистрации рассеянных альфа-частиц. Были использованы самоподдерживающиеся мишени

^{13}C (толщиной $\sim 0,4$ мг/см 2) с 86% обогащением в Казахстане и ^{13}C (толщиной 0,3 мг / см 2) с 98% обогащением в Финляндии. Мишени содержали некоторые примеси ^{12}C и ^{16}O .

Энергетические спектры рассеянных альфа-частиц (слева) и дифференциальные сечения упругого рассеяния (справа) $\alpha + ^{13}\text{C}$ с результатами расчетов в рамках оптической модели при энергиях 29 и 65 МэВ приведены на рисунках 1 и 2 соответственно.

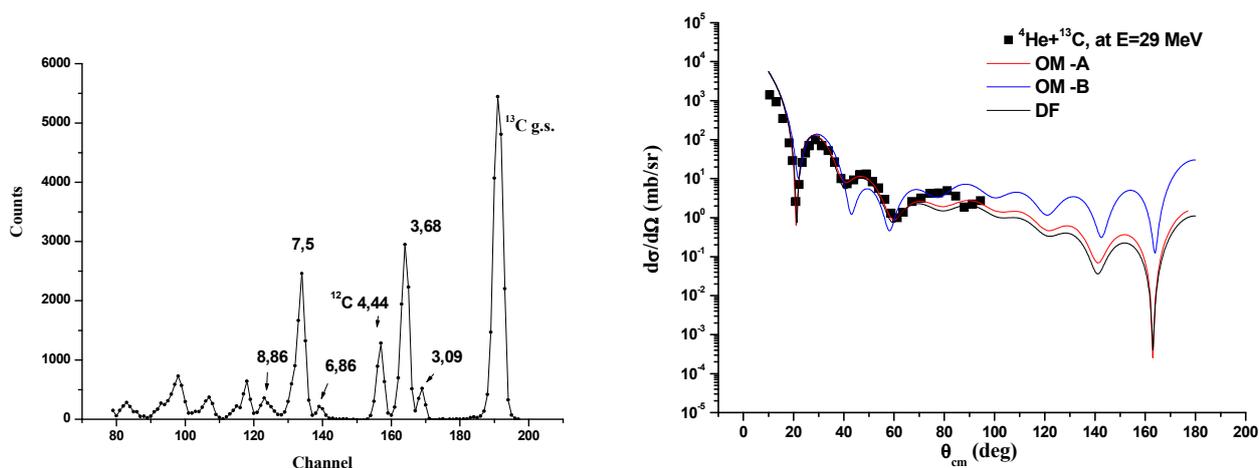


Рисунок 1 – Слева представлен: типичный спектр ($\theta=32^\circ$) рассеяния $\alpha+^{13}\text{C}$ при $E=29$ МэВ. Справа: дифференциальные сечения упругого рассеяния альфа-частиц на ядрах ^{13}C при $E=29$ МэВ. Сплошными кривыми приведены расчеты в рамках оптической модели ядра и двойной фолдинг-модели

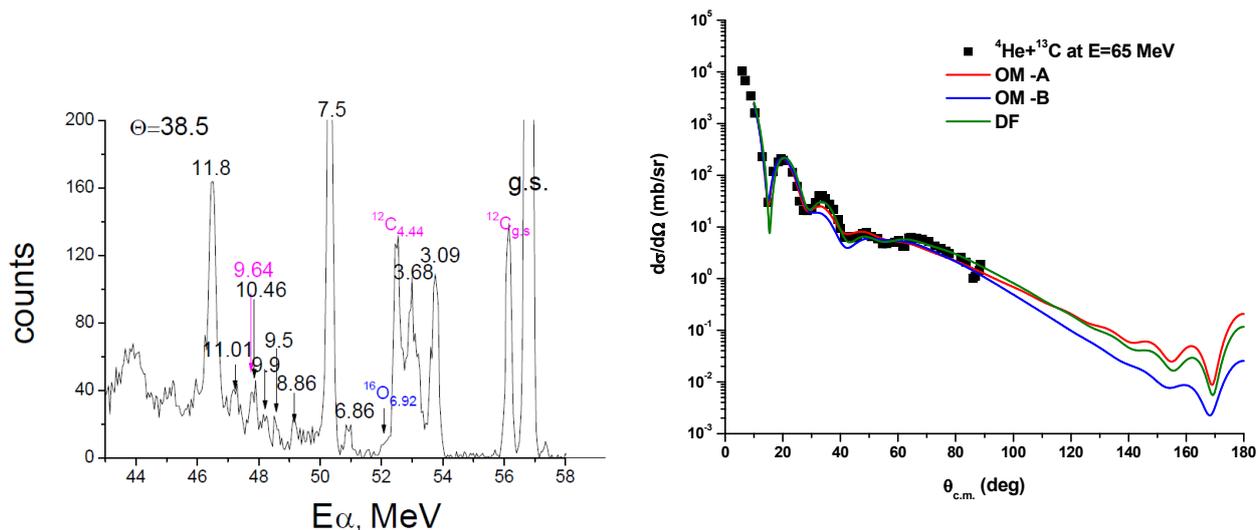


Рисунок 2 – Слева представлен: типичный спектр ($\theta=38.5^\circ$) рассеяния $\alpha+^{13}\text{C}$ при $E=65$ МэВ. Справа: дифференциальные сечения упругого рассеяния альфа-частиц на ядрах ^{13}C при $E=65$ МэВ. Сплошными кривыми приведены расчеты в рамках оптической модели ядра и двойной фолдинг-модели

На рисунке 3 (слева) представлены измерения дифференциальных сечений возбужденного состояния 8,86 МэВ ($1/2^-$) с расчетами по DWBA, справа угловые распределения этого уровня в сравнении с состоянием Хойла 7,65 МэВ (0^+) при той же энергии. Такая дифракционная картина соответствует передаче импульса с угловым моментом $L=0$. Также были идентифицированы минимумы радуги (Эйри).

Для состояния 8,86 МэВ ($1/2^-$) минимум радуги (Эйри) расположен под большим углом,

чем в случае упругого рассеяния, но в сравнении с состоянием Хойла 7,65 МэВ (0^+), минимум радуги (Эйри) расположен под меньшим углом. Наблюдаемые сдвиги позиций минимумов Эйри с больших углов при неупругих рассеяниях, по отношению к упругому рассеянию указывают на увеличение радиуса в этом возбужденном состоянии [9]. На рис.4 представлены дифференциальные сечения неупругого рассеяния $\alpha + {}^{13}\text{C}$ при $E_\alpha=29$ МэВ (слева) и $E_\alpha=65$ МэВ (справа), для состояния 3,09 ($1/2^+$) МэВ.

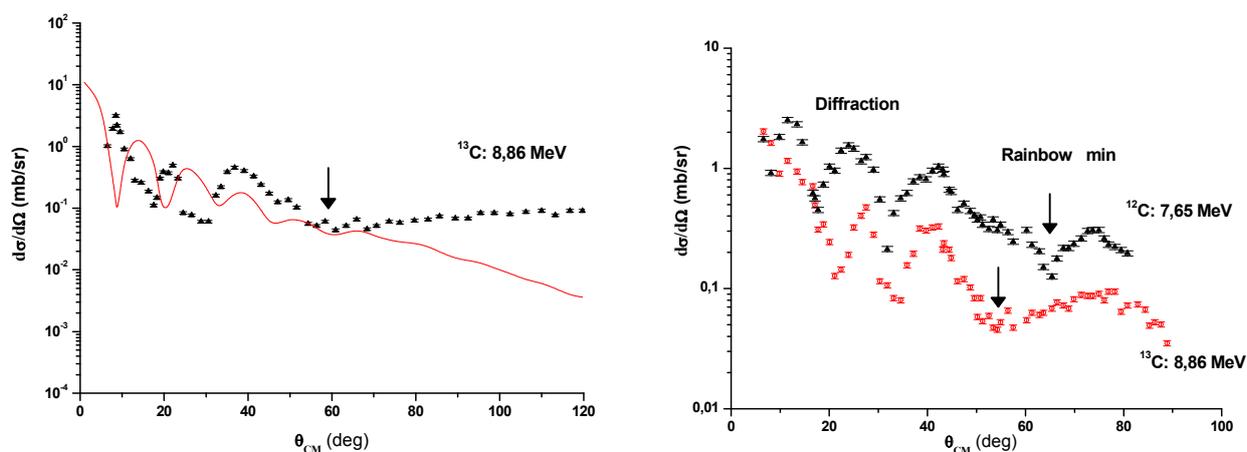


Рисунок 3 – Слева: дифференциальные сечения неупругого рассеяния $\alpha+{}^{13}\text{C}$ при $E=65$ МэВ для состояния 8,86 МэВ ($1/2^-$) с расчетами по DWBA (сплошная красная линия). Справа: сравнение дифференциальных сечений возбужденных состоянии 8,86 МэВ ($1/2^-$) в ядре ${}^{13}\text{C}$ (красные точки) и состояния (Хойла) 7.65 МэВ (0^+) в ядре ${}^{12}\text{C}$ (черные точки). Позиции минимумов радуги обозначены стрелками.

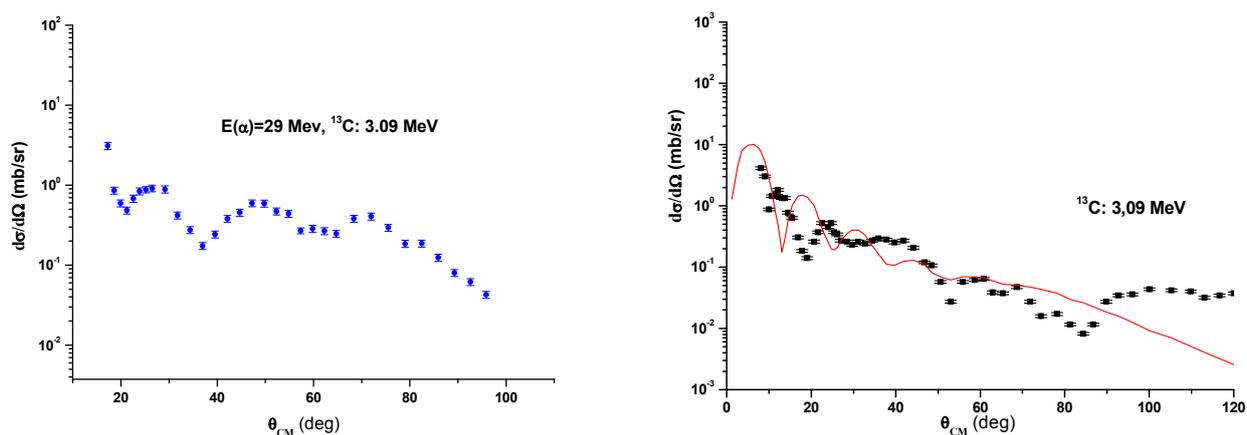


Рисунок 4 – Слева: дифференциальные сечения неупругого рассеяния $\alpha+{}^{13}\text{C}$ при $E=29$ МэВ для состояния 3,09 МэВ ($1/2^+$). Справа: дифференциальные сечения неупругого рассеяния $\alpha+{}^{13}\text{C}$ при $E=65$ МэВ для состояния 3,09 МэВ ($1/2^+$), расчет по DWBA показан сплошной линией при передаче углового момента $L = 1$

- 5 Kawabata T., Sasamoto Y., Maeda Y., Sakaguchi S., Shimizu Y., Suda K., Uesaka T., Fujiwara M., Hashimoto H., Hatanaka K., Kawase K., Matsubara H., Nakanishi K., Tameshige Y., Tamii A., Itoh K., Itoh M., Yoshida H.P., Kanada-En'yo Y., Uchida M. Cluster states in ^{13}C and ^{11}B // *International Journal of Modern Physics E*. – 2008. – Vol.17. – P. 2071.
- 6 Danilov A.N., Belyaeva T.L., Demyanova A.S., Goncharov S.A., and Ogloblin A.A. Determination of nuclear radius or unstable states in ^{12}C with diffraction inelastic scattering // *Physical Review C*. – 2009. – Vol. 80. – P. 054603.
- 7 Liu Z.H., Lin C.J., Zhang H.Q., Li Z.C., Zhang J.S., Wu Y.W., Yang F., Ruan M., Liu J.C., Li S.Y., and Peng Z.H. Asymptotic normalization coefficients and neutron halo of the excited states in ^{12}B and ^{13}C // *Physical Review C*. – 2001. – Vol. 64. – P.034312.
- 8 Ogloblin A.A., Danilov A.N., Belyaeva T.L., Demyanova A.S., Goncharov S.A., and Trzaska W. Effect of neutron halos on excited states of nuclei // *Physical Review C*. – 2011. – Vol.84. – P.054601.
- 9 Ohkubo S. and Hirabayashi Y. Evidence for strong refraction of ^3He in an α -particle condensate // *Physical Review C*. – 2007. – Vol.75. – P.044609.
- 10 Ogloblin A.A., Belyaeva T.L., Danilov A.N., Demyanova A.S. and Goncharov S.A. Radius of ^{12}C in the excited 2_2^+ Hoyle state // *European Physical Journal A*. – 2013. – Vol.49. – P. 46; Zimmerman W.R., Ahmed M.W., Bromberger B., Stave S.C., Breskin A., Dangendorf V., Delbar Th., Gai M., Henshaw S.S., Mueller J.M., Sun C., Tittelmeier K., Weller H.R. and Wu Y.K. Unambiguous Identification of the Second 2^+ State in ^{12}C and the Structure of the Hoyle State // *Physical Review Letters*. – 2013. – Vol. 110. – P.152502.
- 11 Liu Z.H., Zhang X.Z., Zhang H.Q. Nuclear halo and its scaling laws // *Physical Review C*. – 2003. – Vol. 68. – P.024305.
- 12 Belyaeva T.L., Perez-Torres R., Demyanova A.S., Goncharov S.A., and Ogloblin A.A. Neutron asymptotic normalization coefficients and halo radii of the first excited states of ^{13}C and ^{11}Be // *European Physical Journal Web of Conferences*. – 2014. – Vol. 66. – P.03009.

References

- 1 W. von Oertzen, M. Freer, Y. Kanada-En'yo. // *Physical Reports* 432. (2006). 43.
- 2 A. Tohsaki, H. Horiuchi, P. Schuck, G. Röpke. // *Physical Review Letters* 87. (2001). 192501.
- 3 M. Milin and W. von Oertzen. // *European Physical Journal A* 14. (2002). 295
- 4 A.S.Demyanova, A.A.Ogloblin, A.N.Danilov, T.L.Belyaeva, S.A.Goncharov // *International Journal of Modern Physics E* 20. (2011). 915
- 5 T. Kawabata, Y. Sasamoto, Y. Maeda, S. Sakaguchi, Y. Shimizu, K. Suda, T. Uesaka, M. Fujiwara, H. Hashimoto, K. Hatanaka, K. Kawase, H. Matsubara, K. Nakanishi, Y. Tameshige, A. Tamii, K. Itoh, M. Itoh, H. P. Yoshida, Y. Kanada-En'yo, M. Uchida. // *International Journal of Modern Physics E*. 17. (2008). 2071
- 6 A.N. Danilov, T.L. Belyaeva, A.S. Demyanova, S.A. Goncharov, and A.A Ogloblin, // *Physical Review C* 80. (2009). 054603
- 7 Z.H. Liu, C.J. Lin, H.Q. Zhang, Z.C. Li, J.S. Zhang, Y.W. Wu, F. Yang, M. Ruan, J.C. Liu, S.Y. Li, and Z.H. Peng. // *Physical Review C* 64. (2001). 034312
- 8 A.A. Ogloblin, A.N. Danilov, T.L. Belyaeva, A.S. Demyanova, S.A. Goncharov, and W. Trzaska // *Physical Review C* 84. (2011). 054601
- 9 S. Ohkubo and Y. Hirabayashi. // *Physical Review C* 75. (2007). 044609
- 10 A.A. Ogloblin, T.L. Belyaeva, A.N. Danilov, A.S. Demyanova and S.A. Goncharov. // *European Physical Journal A* 49. (2013). 46; W.R. Zimmerman, M.W. Ahmed, B.Bromberger, S.C. Stave, A. Breskin, V. Dangendorf, Th. Delbar, M. Gai, S.S. Henshaw, J.M. Mueller, C. Sun, K. Tittelmeier, H.R. Weller and Y.K. Wu. // *Physical Review Letters* 110. (2013). 152502.
- 11 Z.H. Liu, X.Z. Zhang, H.Q. // *Physical Review C* 68. (2003). 024305.
- 12 T.L. Belyaeva, R. Perez-Torres, A.S. Demyanova, S.A. Goncharov, and A.A. Ogloblin // *European Physical Journal Web of Conferences*. 66. (2014). 03009.