

## Текущие проекты и последние результаты.

### 5. Исследование спинов, электромагнитных моментов и зарядовых радиусов радиоактивных ядер методами лазерной спектроскопии (А. Е. Barzakh et al., *Changes in the mean square charge radii and electromagnetic moments of neutron-deficient Bi isotopes*, AIP Conference Proceedings 1681, 030011, 2015).

Теоретическое описание эффектов изменения формы и сосуществования форм атомных ядер в настоящее время является одним из основных вызовов для теории ядра [1]. Нейтронно-дефицитные изотопы в области  $Z=82$  демонстрируют ярчайшие проявления эффектов эволюции и сосуществования форм ядер. В то время как для изотопической цепочки Hg ( $Z=80$ ) наблюдается резкое изменение формы ядер у соседних изотопов при  $N<106$  (четно-нечетный эффект [2]), для ядер Po ( $Z=84$ ) имеет место постепенный рост деформации при  $N<113$  [3,4]. В то же время нейтронно-дефицитные ядра Pb и Tl ( $Z=82, 81$ ) остаются сферическими вплоть до  $N=104$  (середина нейтронной оболочки) и даже при меньшем числе нейтронов [5, 6]. Исследования нейтронно-дефицитных изотопов Bi ( $Z=83$ ) играют важную роль для понимания явлений эволюции и сосуществования форм ядер в данной области нуклидной карты. Установлено, что, помимо близких к сферическим основных состояний, у изотопов Bi имеются деформированные возбужденные состояния с нечетным протоном на  $\pi_{13/2}$  и  $\pi_{5/2}$  оболочках [7, 8]. Изотопические изменения среднеквадратичных зарядовых радиусов, получаемые методом лазерно-атомной спектроскопии, дают модельно независимую информацию о деформации основных и изомерных ядерных состояний. До сих пор подобные измерения для висмута были проведены только для  $A=202-213$  [9], т. е. для  $N>119$ , тогда как для соседней изотопической цепочки полония изменения ядерной структуры начинаются только при  $N<112$  [5]. Продолжение лазерно-спектроскопических исследований Bi в направлении к середине нейтронной оболочки ( $N=104$ ), где ожидается максимальная нестабильность формы ядра, и было основной задачей данной работы.

На рис. 1 представлены значения магнитных моментов различных ядерных состояний изотопов Bi в сравнении с магнитными моментами соседних изотопов/изомеров Tl с теми же значениями ядерных спинов [6, 11]. Новые данные по магнитным моментам достаточно хорошо согласуются с изотопическим трендом, установленным ранее для более тяжелых ядер с тем же спином. В то же время магнитные моменты изотопов висмута близки к соответствующим значениям для ядер таллия. Важно отметить, что ядерные состояния с одинаковым спином в Tl и Bi имеют различную природу: состояние  $\pi_{9/2}$  «нормальное» для Bi и «внедренное» ( $1p-2h$ ) для ядер Tl,  $\pi_{5/2}$  — «внедренное» ( $2p-1h$ ) для Bi и «нормальное» для Tl. Таким образом, измеренные магнитные моменты Bi подтверждают низкую чувствительность  $\mu$  к «нормальному» или «внедренному» характеру ядерных состояний [12]. На рис. 2а представлено сравнение относительных изменений зарядовых радиусов (ОИЗР) четно-нейтронных изотопов Bi с ОИЗР четно-нейтронных изотопов Pb. Изотопическая цепочка Bi демонстрирует поведение, аналогичное Pb до  $N=110$  и заметно отклоняется от него при  $N < 110$ . Ранее было показано, что ОИЗР изотопов Tl повторяют поведение Pb даже при  $N < 104$  [6], тогда как ОИЗР изотопов Po демонстрируют заметное отклонение от этого (сферического) тренда при  $N<113$ , объясняемое ростом ядерной деформации [3, 4]. При этом для нечетно-нейтронных изотопов Bi отклонений от сферического тренда не наблюдается (см. рис. 2б). Полученные для изотопов Bi результаты показывают, что изменение деформации у четно-нейтронных изотопов Bi носит «промежуточный» (относительно  ${}_{82}\text{Pb}$  и  ${}_{84}\text{Po}$ ) характер. Таким образом, эволюция формы ядер для изотопических цепочек Bi и Tl различна, хотя данные цепочки «зеркальны» относительно протонной оболочки  $Z=82$ . Обнаружено также, что у «внедренных» изомерных состояний  ${}^{197,195,193}\text{Bi}$  ( $I=1/2$ ) зарядовый радиус (деформация) больше, чем у соответствующих основных состояний (см. рис. 2а).

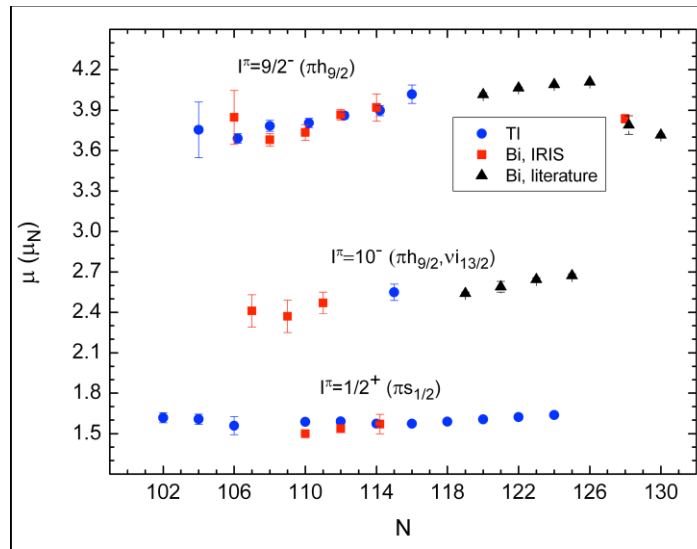
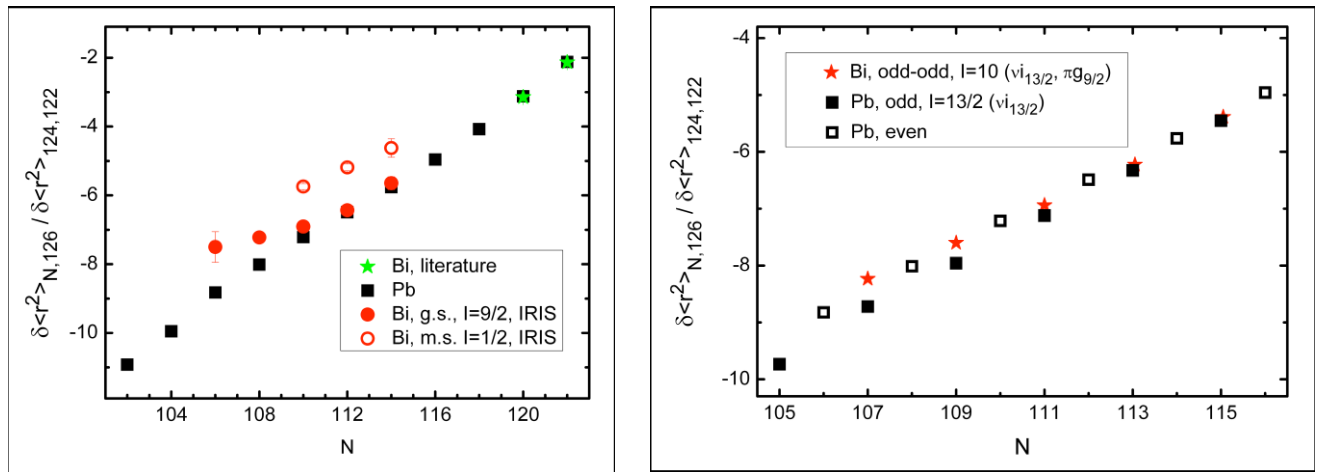


Рис. 1. Магнитные моменты изотопов/изомеров Вi и Тl. Квадраты: Вi, измерения на ИРИС; треугольники: Вi, литературные данные [10]; кружки: Тl [6, 10, 11].



**a**

**b**

Рис. 2. а) Относительные изменения зарядовых радиусов для четно-нейтронных изотопов Вi и Рb. Квадраты: четные изотопы Рb [5]. Кружки: основные состояния нечетных нечетных изотопов Вi ( $I=9/2$ ). Полые кружки: изомеры нечетных изотопов Вi ( $I=1/2$ ). б) Относительные изменения зарядовых радиусов для нечетно-нейтронных изомеров Вi и Рb.. Звездочки: изомеры Вi ( $I=10$ ), с конфигурацией ( $\nu i_{13/2}, \pi h_{9/2}$ ). Квадраты: нечетно-нейтронные изомеры Рb ( $I=13/2$ ), с конфигурацией  $\nu i_{13/2}$  [5]. Полые квадраты: четно-нейтронные изотопы Рb [5].

*Список литературы:*

1. K. Heyde and J. L. Wood, Rev. Mod. Phys. 83, 1467 (2011).
2. G. Ulm, et al., Z. Phys. A 325, 247 (1986).
3. T. E. Cocolios, et al., Phys. Rev. Lett. 106, 052503 (2011).
4. M. D. Seliverstov, et al., Phys. Rev. C 89, 034323 (2014).
5. M. D. Seliverstov, et al., Eur. Phys. J. A 41, 315 (2009).
6. A. E. Barzakh, et al., Phys. Rev. C 88, 024315 (2013).
7. P. Nieminen, et al., Phys. Rev. C 69, 064326 (2004).
8. A. Hürstel, et al., Eur. Phys. J. A 21, 365 (2004).
9. M. R. Pearson, et al., J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 26, 1829 (2000).
10. N. J. Stone, At. Data Nucl. Data Tables. 90, 75 (2005).
11. A. E. Barzakh, et al., Phys. Rev. C 86, 014311 (2012).
12. G. Neyens, Rep. Prog. Phys. 66, 633 (2003).

