

Исследование структуры легких экзотических ядер методом упругого рассеяния протонов в инверсной кинематике (проект ИКАР)

- 1. Упругое протонное рассеяние как метод изучения структуры ядра**
 - чувствительность к форме распределения ядерной материи
- 2. Экспериментальный метод и анализ результатов измерений**
 - идея эксперимента:
ионизационная камера ИКАР как активная мишень
 - анализ данных в рамках теории Глаубера-Ситенко
- 3. Результаты**
 - радиусы ядер (размеры кора и гало)
 - распределение ядерной материи

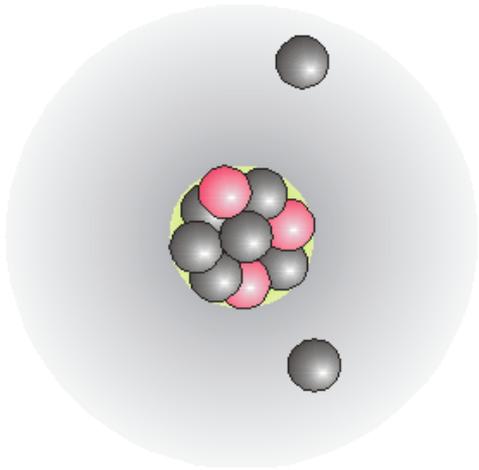
Ядра с гало – новый феномен в изучении структуры ядра

Распределение ядерной материи

Ядра с большим избытком нейтронов:

нейтронное гало

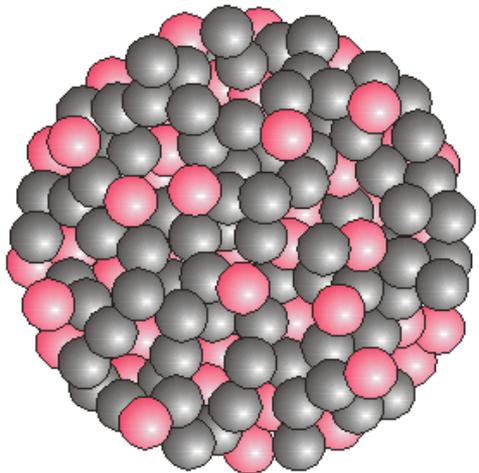
^{11}Li



Стабильные ядра:

**нейтроны и протоны
распределены равномерно**

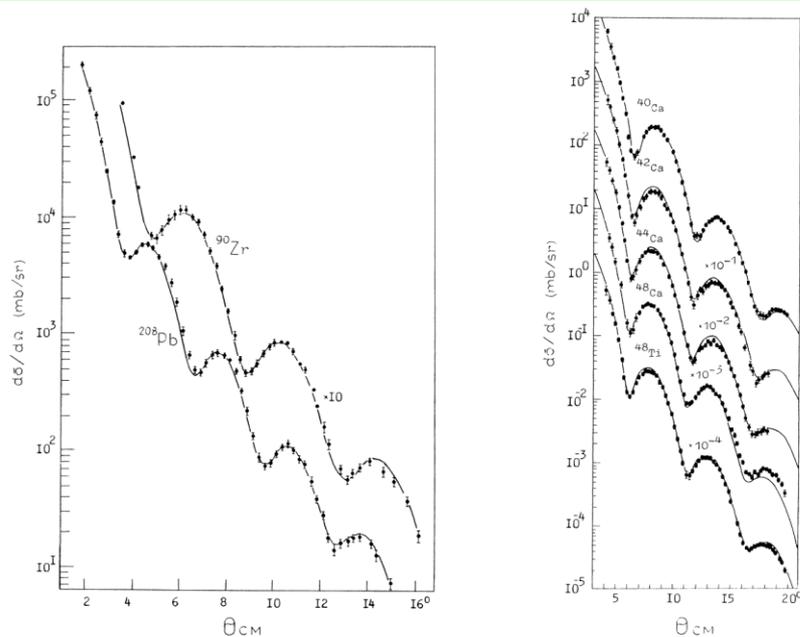
^{208}Pb



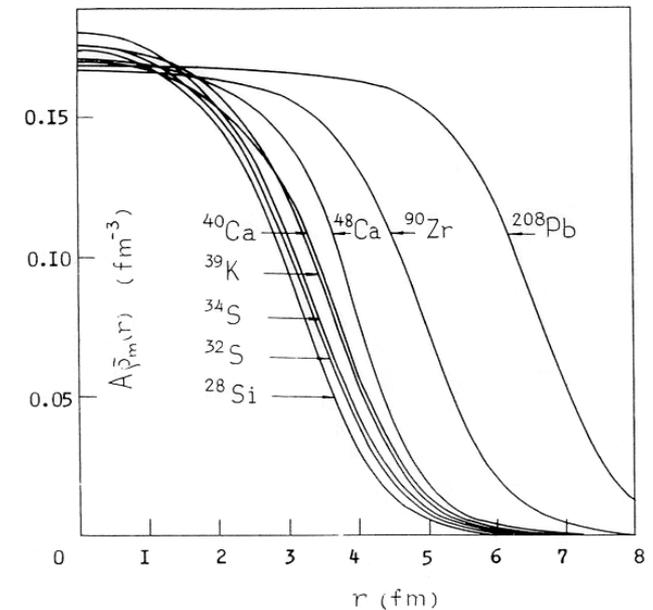
Упругое рассеяние протонов на ядрах при энергии 1 ГэВ

надежный метод изучения распределения ядерной материи
(G.D. Alkhazov, S.L. Belostotski, A.A. Vorobyov, Phys. Rep. 42 (1978) 89)

Измеренные дифференциальные
сечения

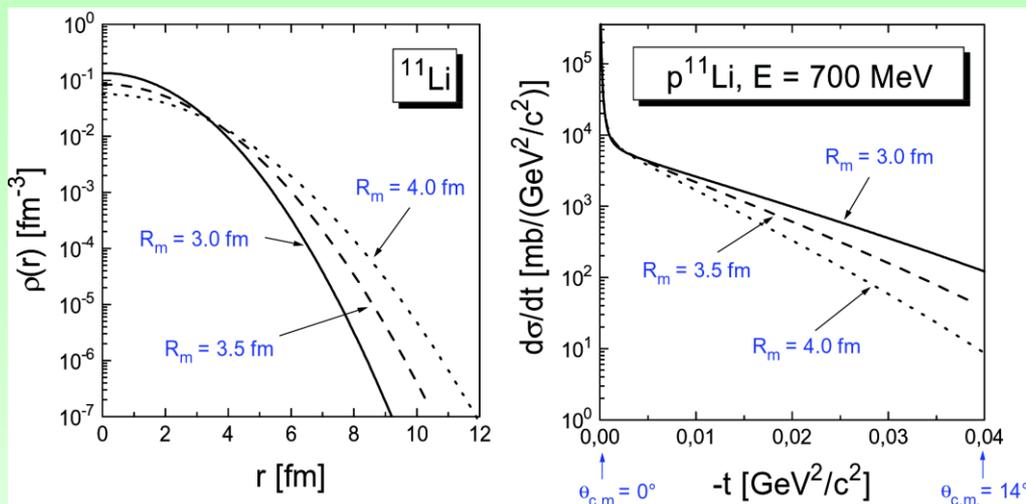


Полученные распределения
ядерной материи

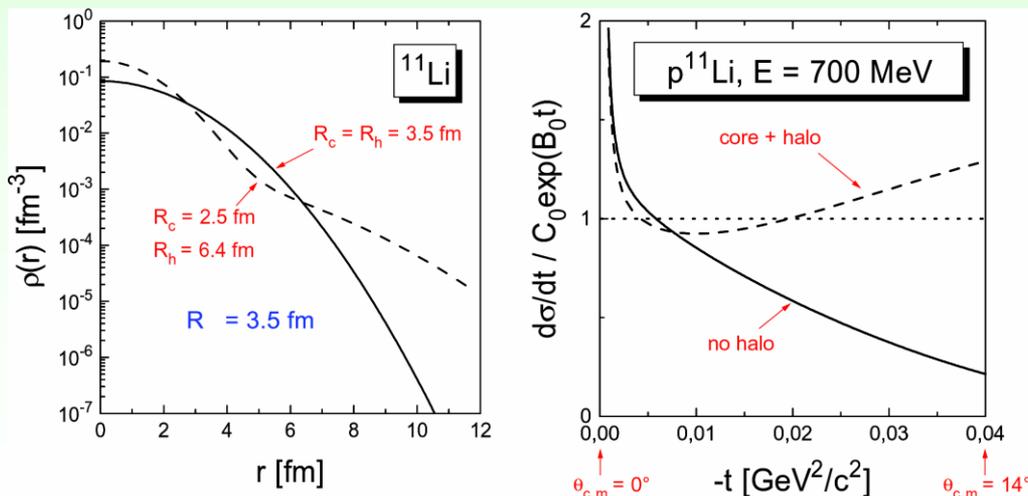


пучки радиоактивных изотопов \Rightarrow изучение экзотических ядер

Чувствительность дифференциального сечения к форме распределения ядерной материи



наклон $d\sigma/dt \rightarrow$ радиус материи R_m



кривизна $\log(d\sigma/dt) \rightarrow$ наличие гало

**Исследование структуры легких экзотических ядер
методом упругого рассеяния протонов
в инверсной кинематике**

**В серии экспериментов, выполненных в GSI - S105, S247, S358 -
измерены дифференциальные сечения упругого рассеяния
протонов на ядрах:**

${}^4\text{He}, {}^6\text{He}, {}^8\text{He}$

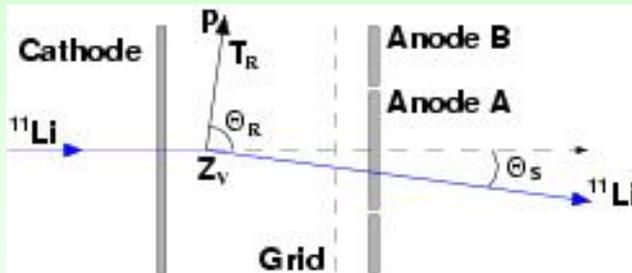
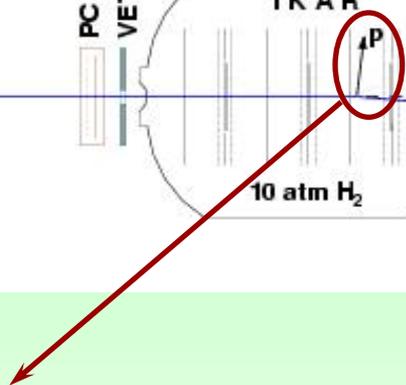
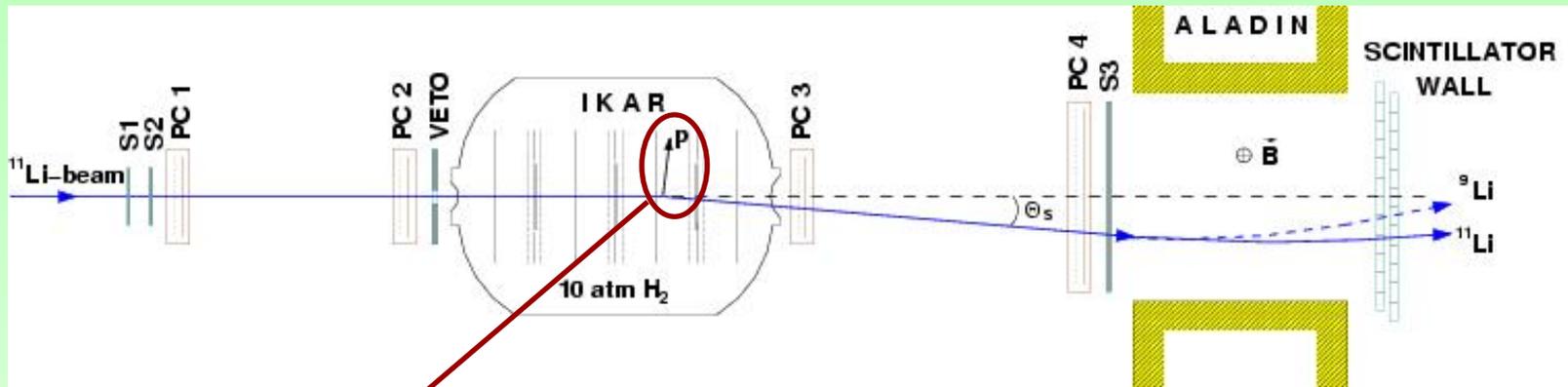
${}^6\text{Li}, {}^8\text{Li}, {}^9\text{Li}, {}^{11}\text{Li}$

${}^{12}\text{Be}, {}^{14}\text{Be}, {}^7\text{Be}, {}^8\text{B}$

${}^{12}\text{C}, {}^{14}\text{C}, {}^{15}\text{C}, {}^{16}\text{C}, {}^{17}\text{C}$

**и найдены параметры распределения ядерной материи
для этих ядер**

Экспериментальная установка



Активная мишень: IKAR

$\Rightarrow T_R, \theta_R, Z_V$

**Трековый детектор: PC 1-4
(пропорциональные камеры)**

} $\Rightarrow \theta_s$

**Идентификация пучковых частиц: S1-S3, Veto
(пластиковые сцинтилляторы)**

} $\Rightarrow \Delta E, \text{TOF, trigger}$

**Магнит ALADIN + измерение
координаты и заряда (по ΔE)**

} \Rightarrow выделение
упругого канала

Анализ сечений по Глауберу-Ситенко

На входе:

- амплитуды элементарных pp- и pn-взаимодействий
- распределение ядерной материи

pN-амплитуда «сворачивается» с плотностью
распределения ядерной материи



Глауберовская
амплитуда

Феноменологические плотности для описания распределения ядерной материи:

SF: Symmetrized Fermi distribution

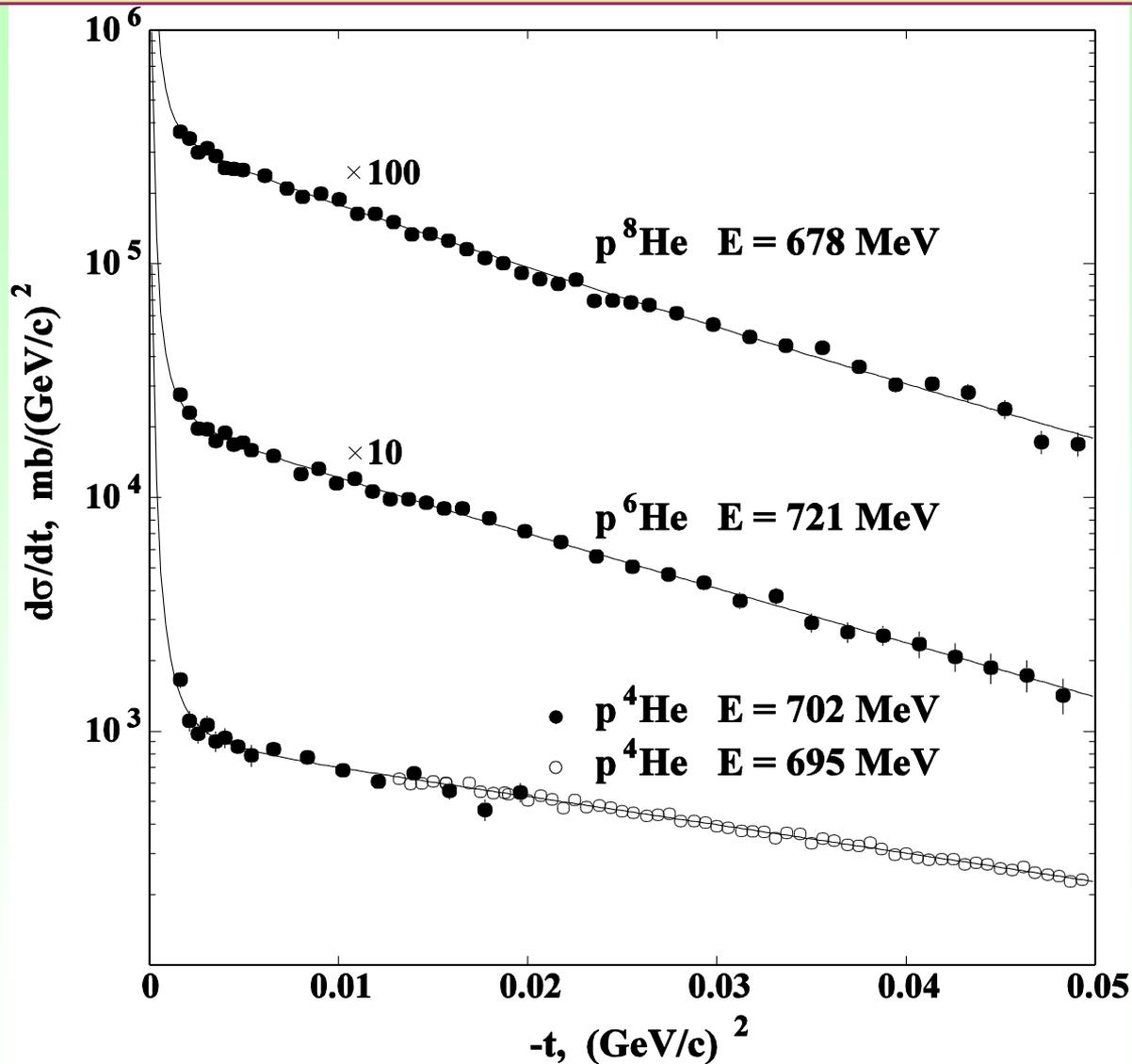
GH: “Gaussian with halo” $F(t) = (1+z^2) \text{Exp}(z)$, $z = t R_m^2/6$

GG: 2 Gaussians

GO: Gaussian + 1p harmonic oscillator

Все модели – с двумя свободными параметрами;
две последние позволяют различать “кор” и “галло”

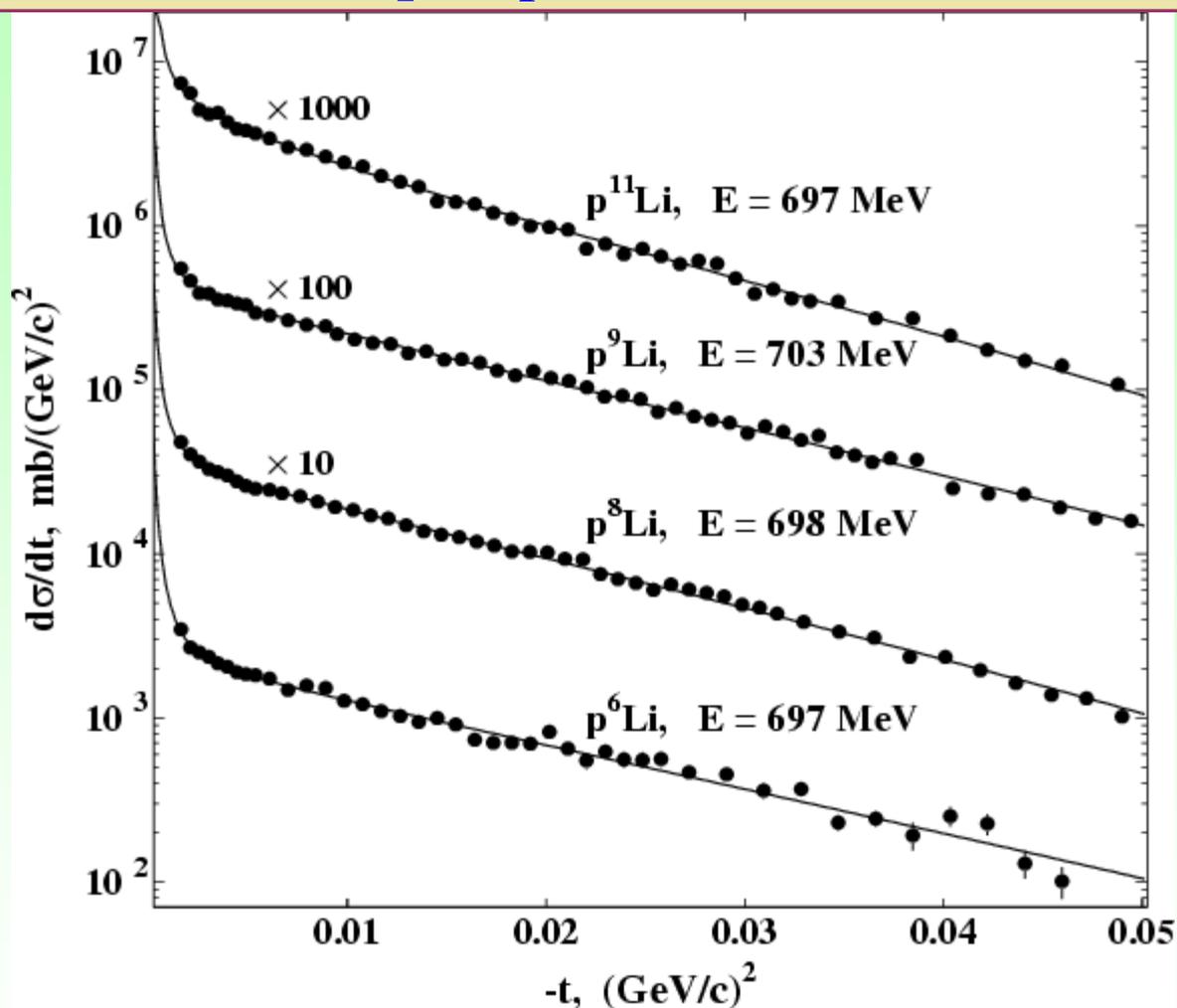
Дифференциальные сечения упругого p-He рассеяния



Phys.Rev.Lett. 78 (1997) 2313

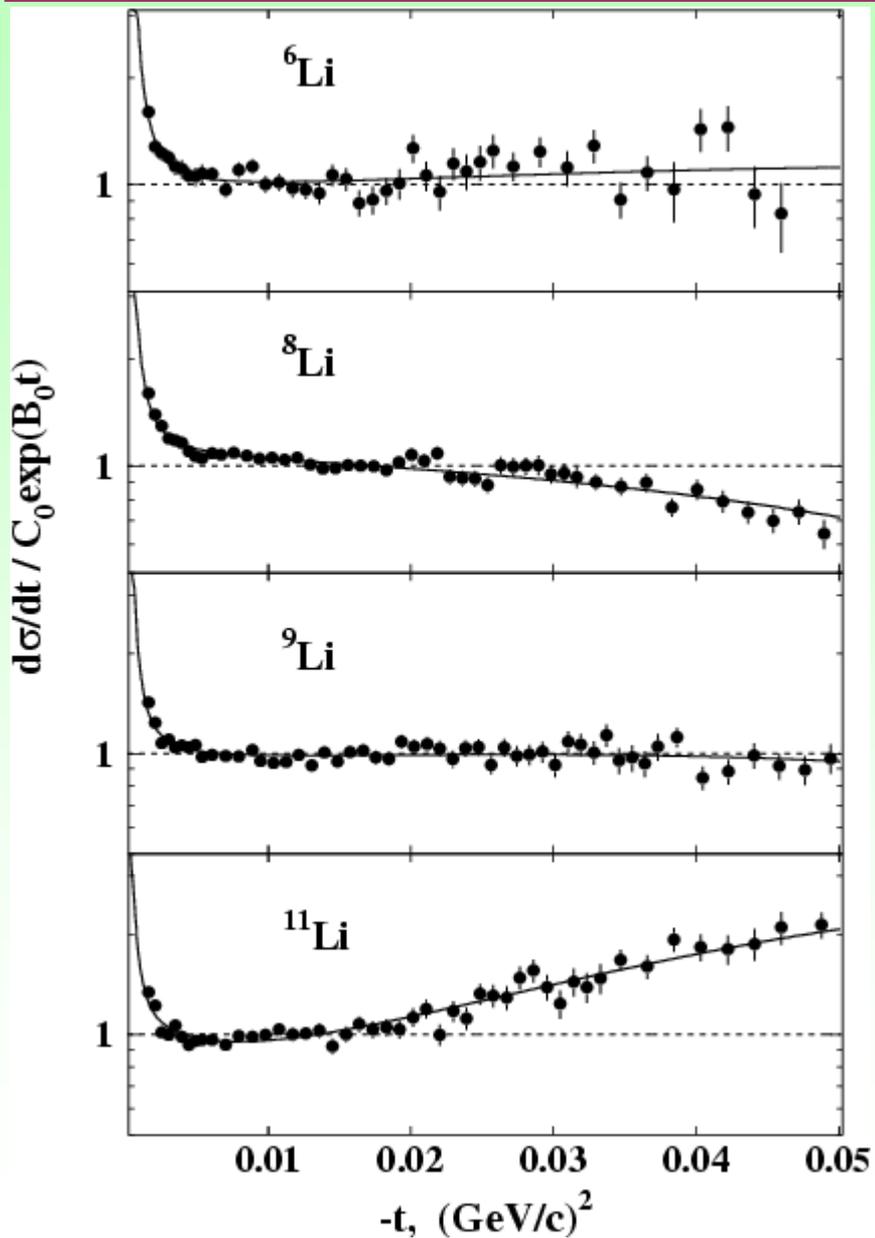
Nucl.Phys. A712, 247 (2002)
A712, 269 (2002)

Дифференциальные сечения упругого p-Li рассеяния



Nucl. Phys. A766, 1 (2006)

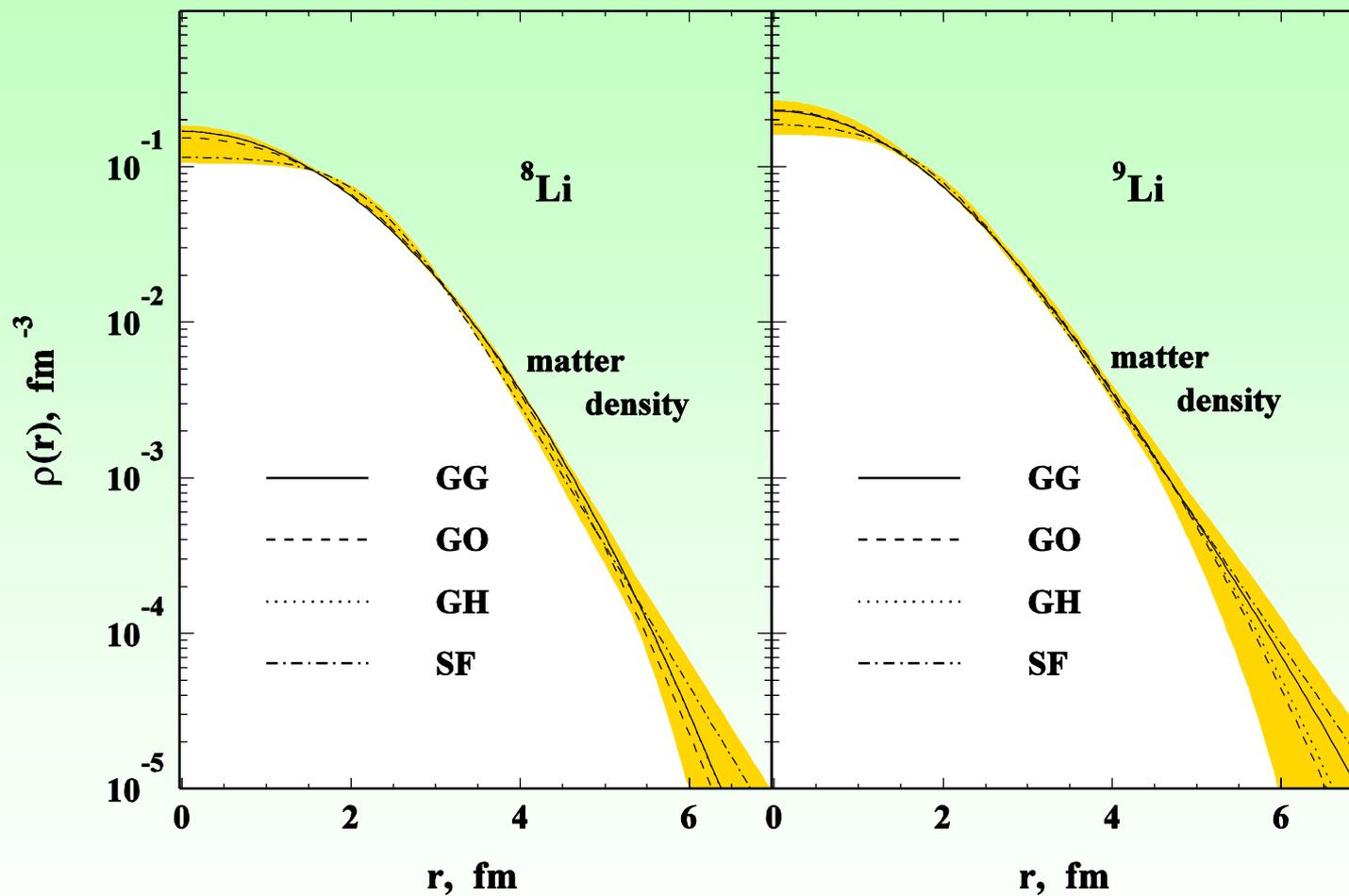
Чувствительность к форме распределения



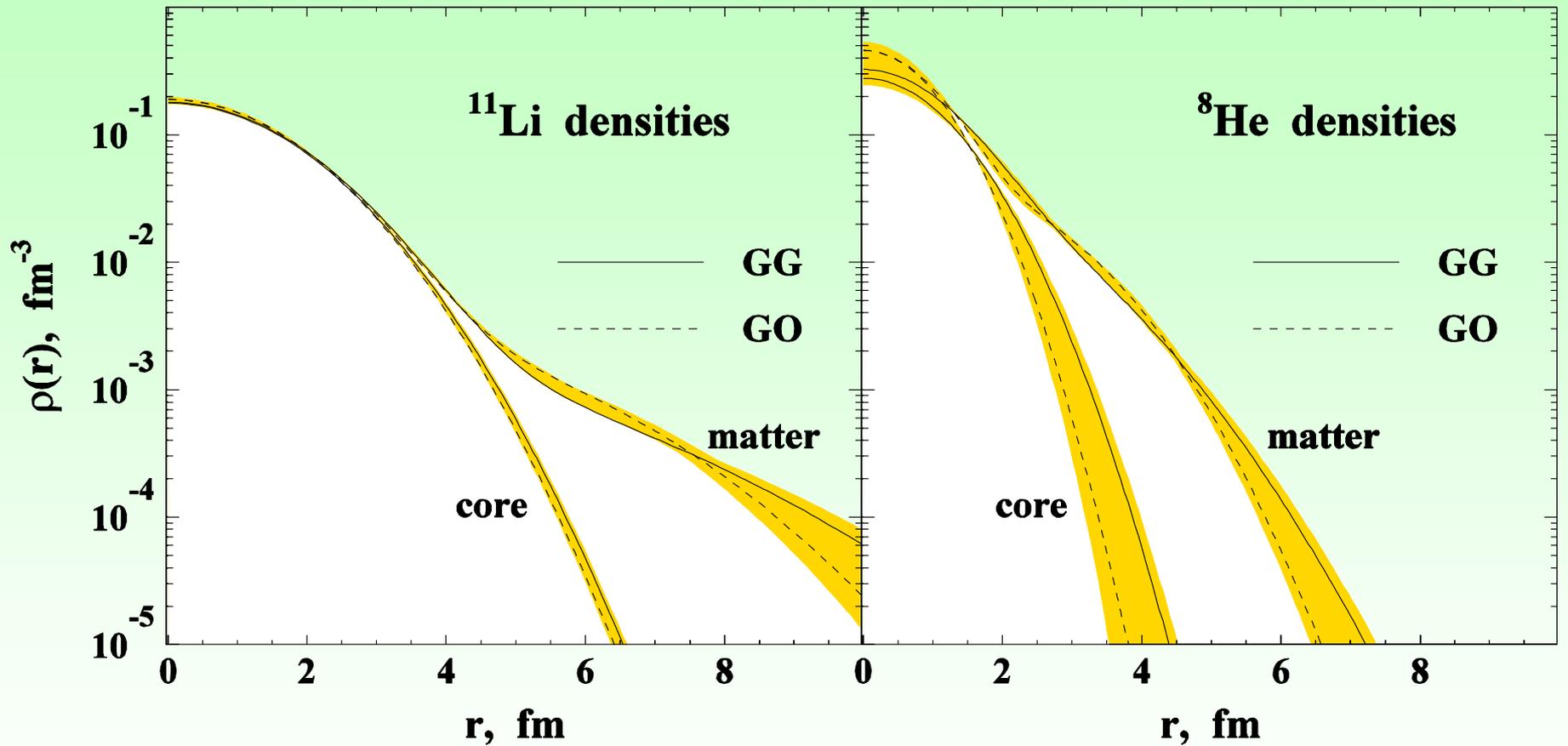
указание на
кластерную структуру ${}^6\text{Li}$

ясное свидетельство
наличия гало в ${}^{11}\text{Li}$

Распределение материи в ядрах ${}^8\text{Li}$ и ${}^9\text{Li}$



Сравнение ядер ^8He и ^{11}Li



Радиусы распределения ядерной материи

ИЗОТОП	R_m , fm	R_c , fm	R_h , fm
${}^6\text{He}$	2.45 (10)	1.88 (12)	3.31 (28)
${}^8\text{He}$	2.53 (8)	1.55 (15)	3.22 (14)
${}^6\text{Li}$	2.44 (7)	2.08 (18)	3.04 (45)
${}^8\text{Li}$	2.50 (6)	--	--
${}^9\text{Li}$	2.44 (6)	--	--
${}^{11}\text{Li}$	3.71 (20)	2.53 (3)	6.85 (58)
${}^{12}\text{Be}$	2.71 (6)	--	--
${}^{14}\text{Be}$	3.25 (11)	2.54 (11)	4.48 (19)
${}^{16}\text{C}^*$	2.71 (16)	--	--
${}^{17}\text{C}^*$	2.65 (6)	--	--

$$R_m^2 = \frac{N_c R_c^2 + N_h R_h^2}{A}$$

**) Предварительные результаты*

Заключение

- **Упругое протонное рассеяние** при промежуточных энергиях является эффективным методом изучения распределения ядерной материи. Этот метод был впервые применен для изучения экзотических ядер, используя инверсную кинематику и созданную в ПИЯФ активную водородную мишень ИКАР
- **Измерены абсолютные дифференциальные сечения** упругого рассеяния протонов на ядрах:
 - ^4He , ^6He , ^8He
 - ^6Li , ^8Li , ^9Li , ^{11}Li
 - ^{12}Be , ^{14}Be , ^7Be , ^8B
 - ^{12}C , $^{14-17}\text{C}$
- **Выполнен анализ измеренных дифференциальных сечений** и получены:
 - радиусы ядер;
 - распределения материи в ядрах.
- **В следующем году** обработка данных будет завершена и опубликованы результаты для изотопов углерода, а также ^7Be и ^8B .