ЯДЕРНАЯ ЭКЗОТИКА - ВЕНГЕРСКАЯ АНОМАЛИЯ

^{8}Be

Необычность ядра ^{8}Be - основное состояние на 95 КэВ выше порога распада на две α-частицы, время жизни порядка 10(-16) сек**

Два явления, связанные с ^{8}**Be**:

УРОВЕНЬ ХОЙЛА в ^{12}C и ^{8}Be аномалия

$$p + {}^{7}_{3}Li \rightarrow {}^{8}_{4}Be^{*} \rightarrow {}^{7}_{3}Li + p$$

$$p + {}^{7}_{3}Li \rightarrow {}^{8}_{4}Be^{*} \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{4}_{2}He$$

$$p + {}^{7}_{3}Li \rightarrow {}^{8}_{4}Be^{*} \rightarrow {}^{8}_{4}Be + \gamma$$

^{8}Be

ATOMKI эксперимент A.Krasznahorkay et. al.

(ниже приводятся и обсуждаются результаты ATOMKI)

Поиск проявления массивной частицы в ядерных переходах . Идея Вильчека и др. в 70-х.

Примеры поиска скаляра в ядерных переходах

$$p(1.88\,\mathrm{MeV}) +^{19} F \to \alpha +^{16} O^*(6.05)$$
$$^{16}O^*(6.05) \to^{16} O(GS) + \phi$$

Kohler et al PRL 33, 1628 (1974)

Freedman et al. PRL 52, 240 (1984)

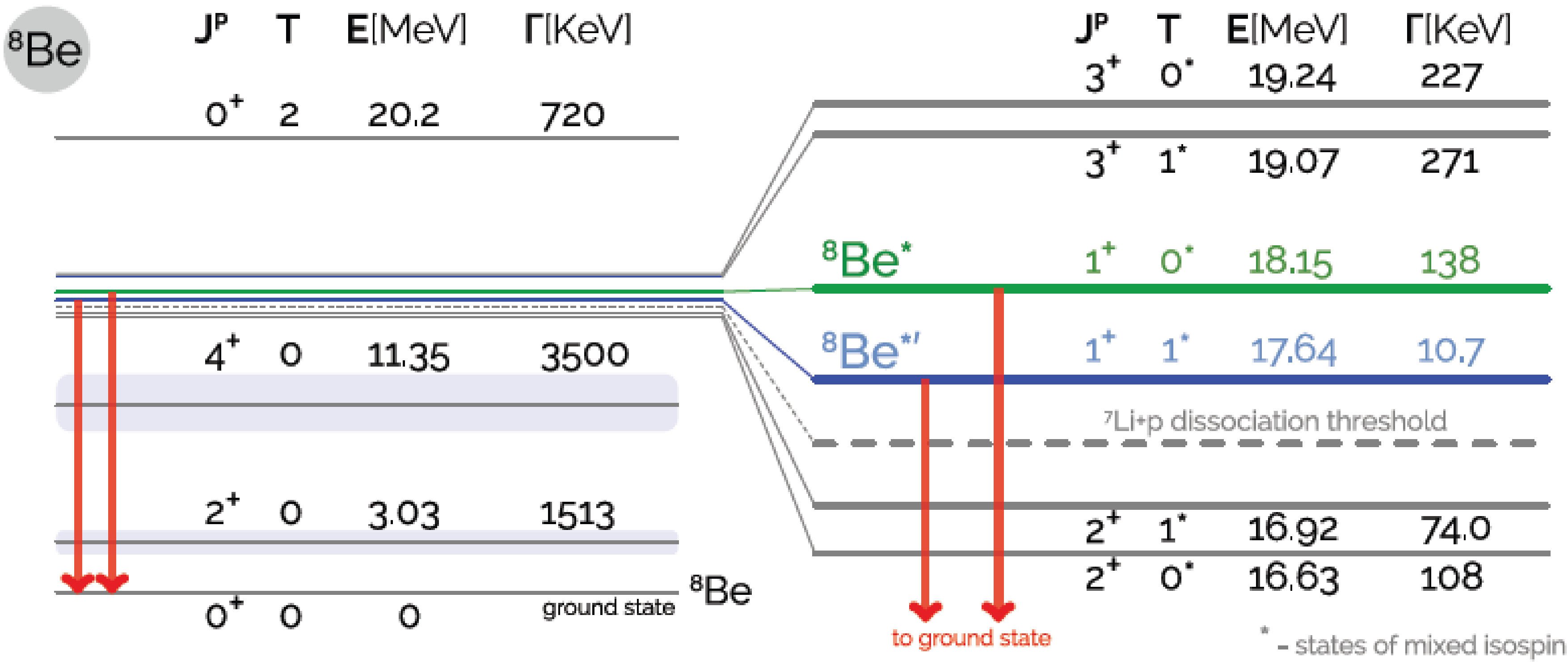
$$p +^3 H \to^4 He(20.1) \to 4He(GS) + \phi$$

Только ограничения на массу и константу связи. В ядерных переходах искали и аксионы. Работ много, например, в ПИЯФ

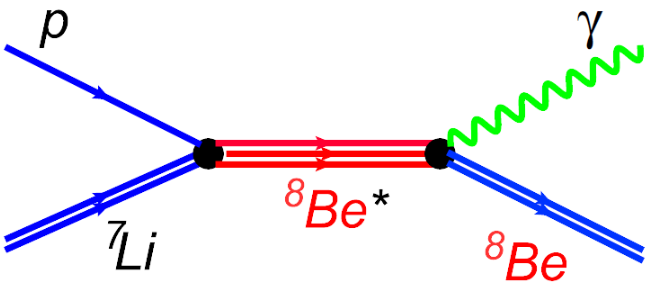
Search for axions emitted in nuclear magnetic transitions
A.V. Derbin, A.I. Egorov, I.A. Mitropolsky, V.N. Muratova, S.V. Bakhlanov, L.M. Tukhkonen (St. Petersburg, INP). 2002. 5 pp.
Published in **Phys.Atom.Nucl. 65 (2002) 1302-1306, Yad.Fiz. 65 (2002) 1335-1339**

$$p + {}^{7}_{3}\mathrm{Li} \rightarrow {}^{8}_{4}\mathrm{Be}^{*} \rightarrow {}^{8}_{4}\mathrm{Be} + \gamma$$

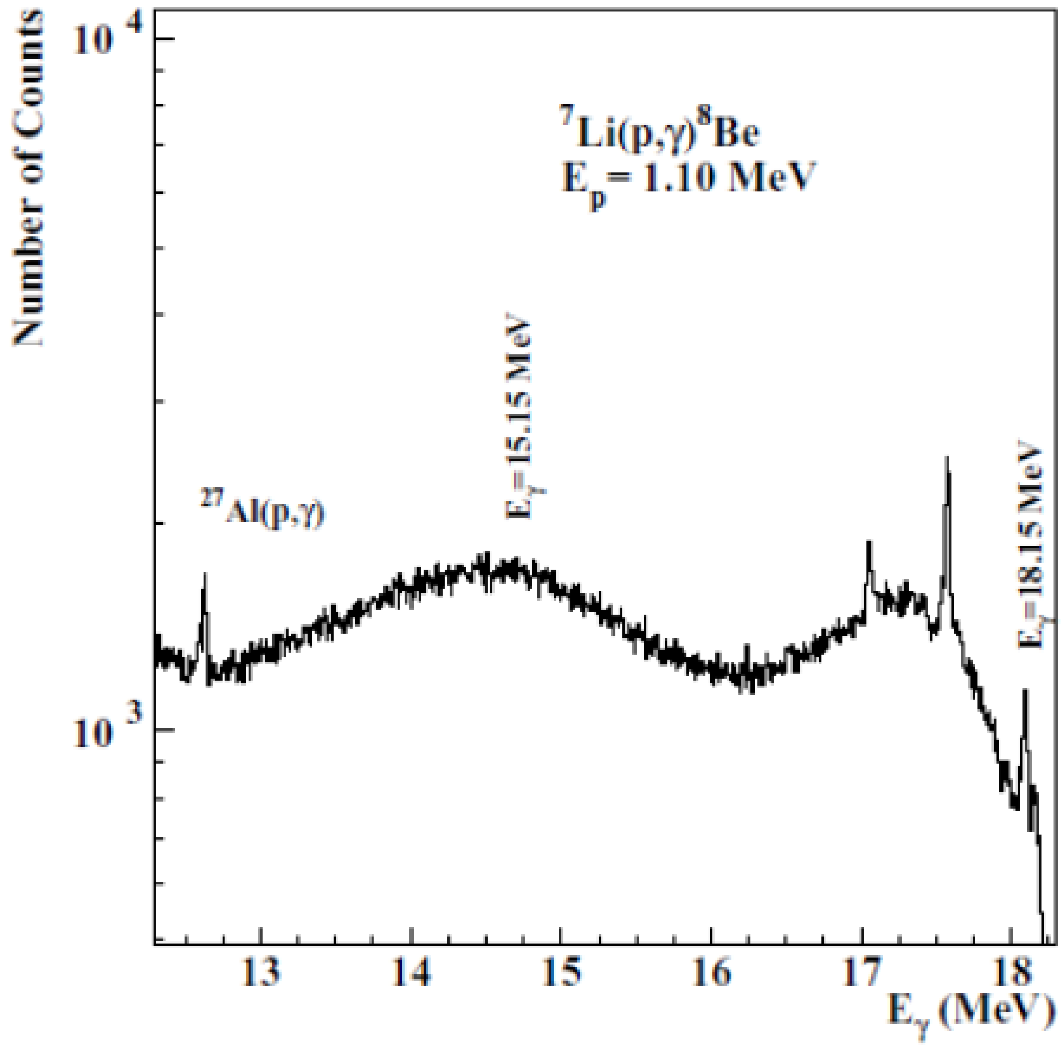
MACCA Li-7 : 6533.83 MeV



State	m (MeV)	ΔE (MeV)	Γ (keV)	Γ_γ (eV)	J^P_T
$^8\mathrm{Be}$	7454.85	0	—	—	0^+_0
$^8\mathrm{Be}^*$	7473.00	18.15	138	1.9	1^+_0
$^8\mathrm{Be}^{*\prime}$	7472.49	17.64	10.7	15	1^+_1

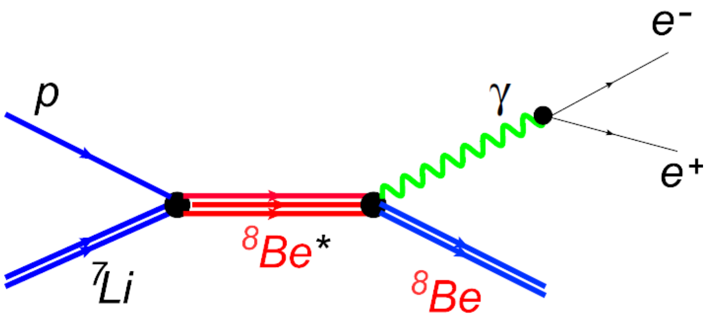


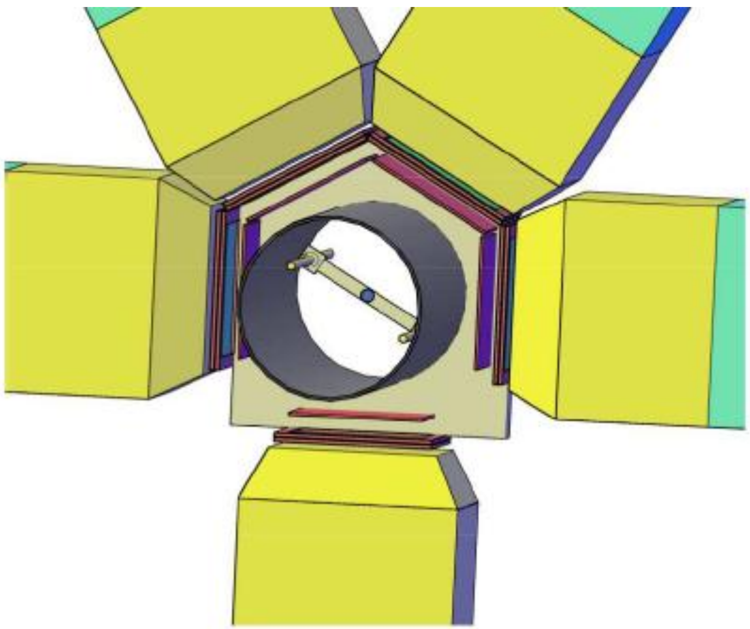
Протоны - Ван-Де-Грааф (Тандетрон) 2МВ, 1 мкА Тонкая литиевая мишень Li_2O **на алюминиевой полоске**

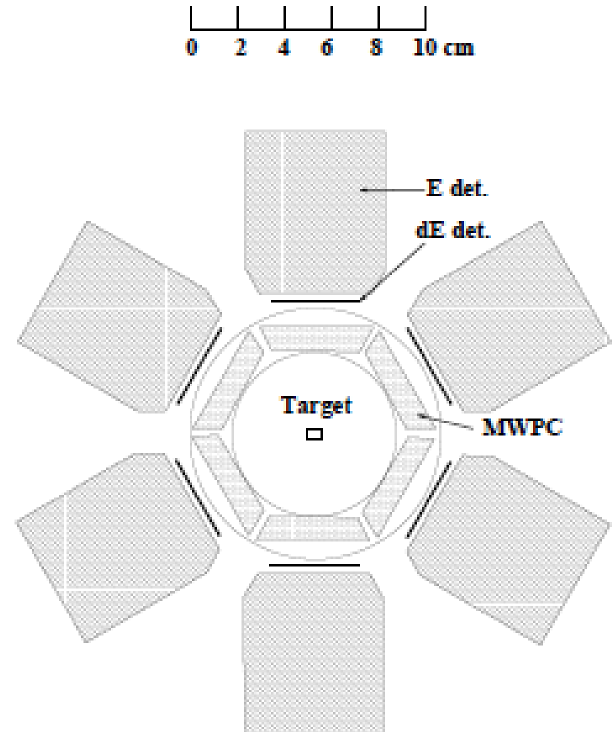


$$Br\left({}^8_4Be^* \rightarrow {}^8_4Be + \gamma\right) \approx 1.5 \cdot 10^{-5}$$

$$p + {}^{7}_{3}\mathrm{Li} \rightarrow {}^{8}_{4}\mathrm{Be}^{*} \rightarrow {}^{8}_{4}\mathrm{Be} + \gamma \rightarrow {}^{8}_{4}\mathrm{Be} + e^{+} + e^{-}$$

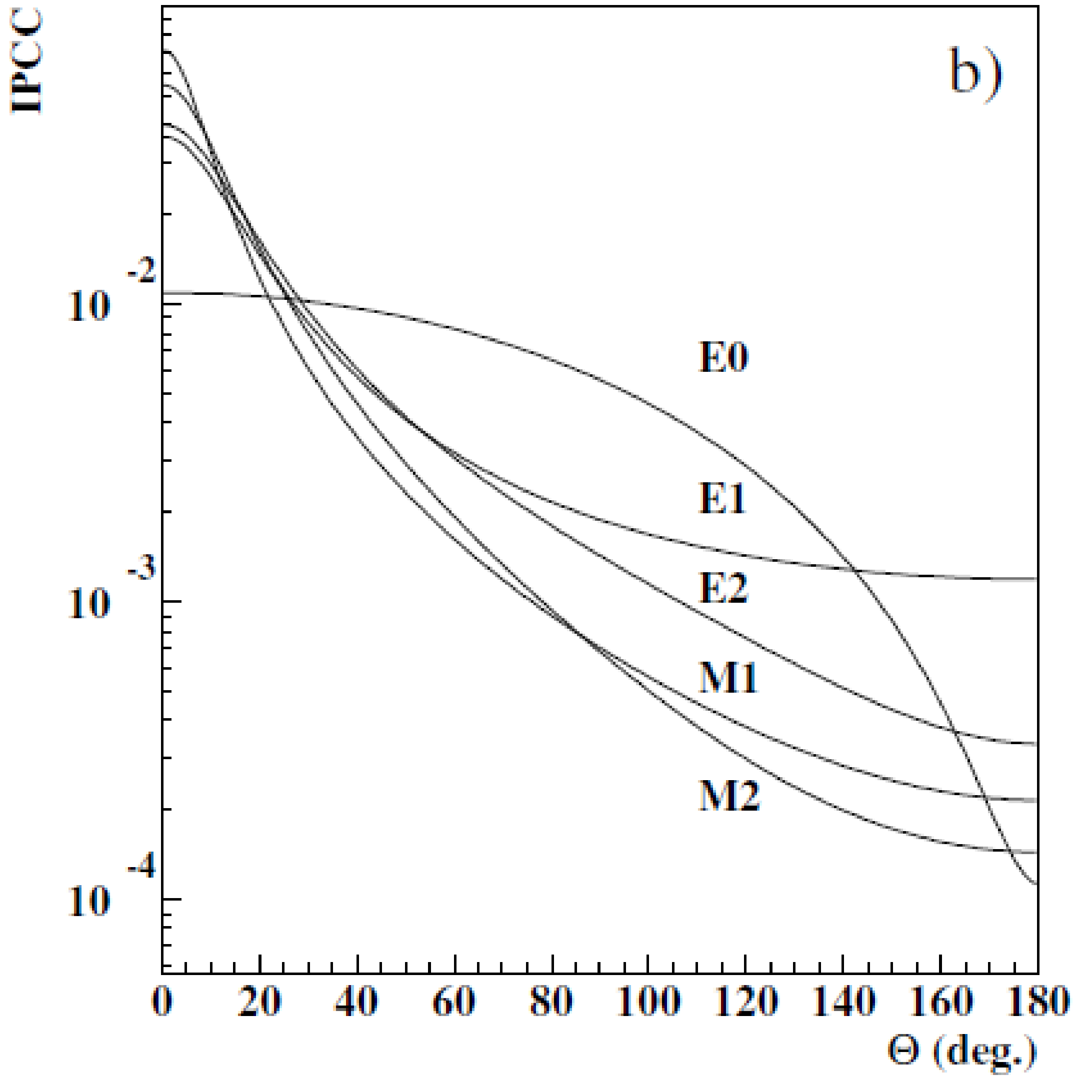


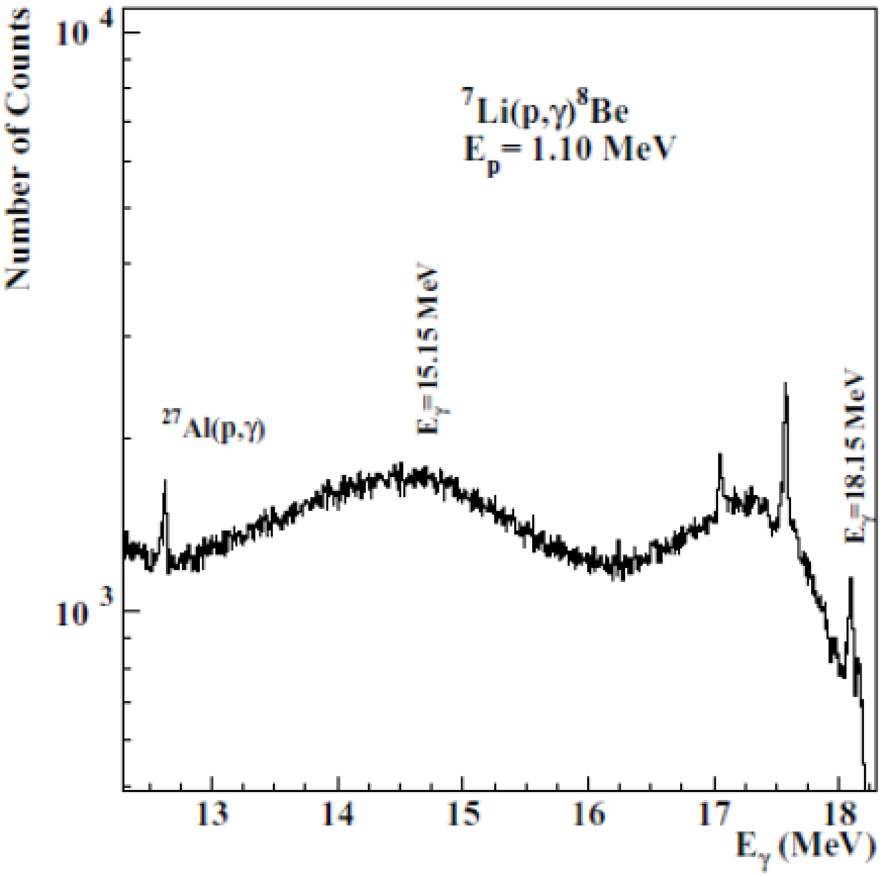


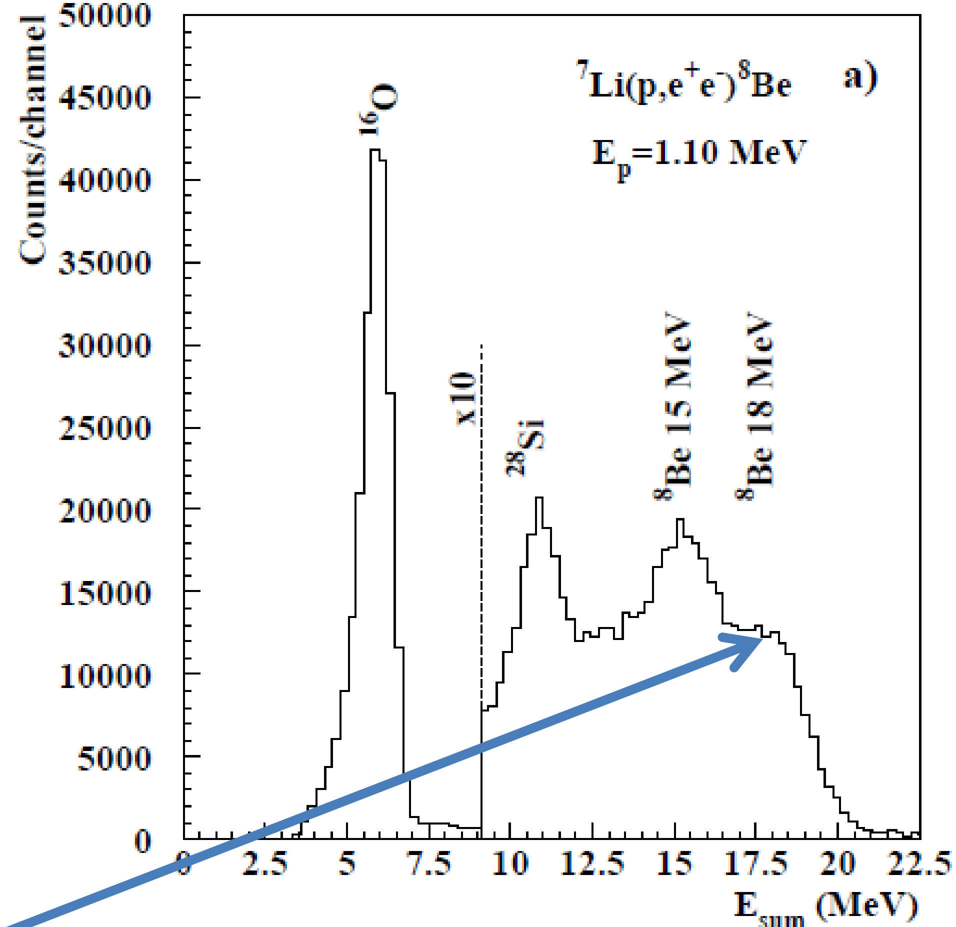


the e+e− spectrometer with five DSSD+ΔE − E detector telescopes. The target is evaporated onto 10 μm Al strip foil spanned between 3 mm thick perspex rods to minimize the scattering and external pair creation in the vicinity of the target. The beam pipe is shown in black around which the ΔE and the DSSD detectors are arranged. The 1 mm thick ΔE detectors are shown in violet and red, while the E scinillators in yellow and their light guides are in blue.

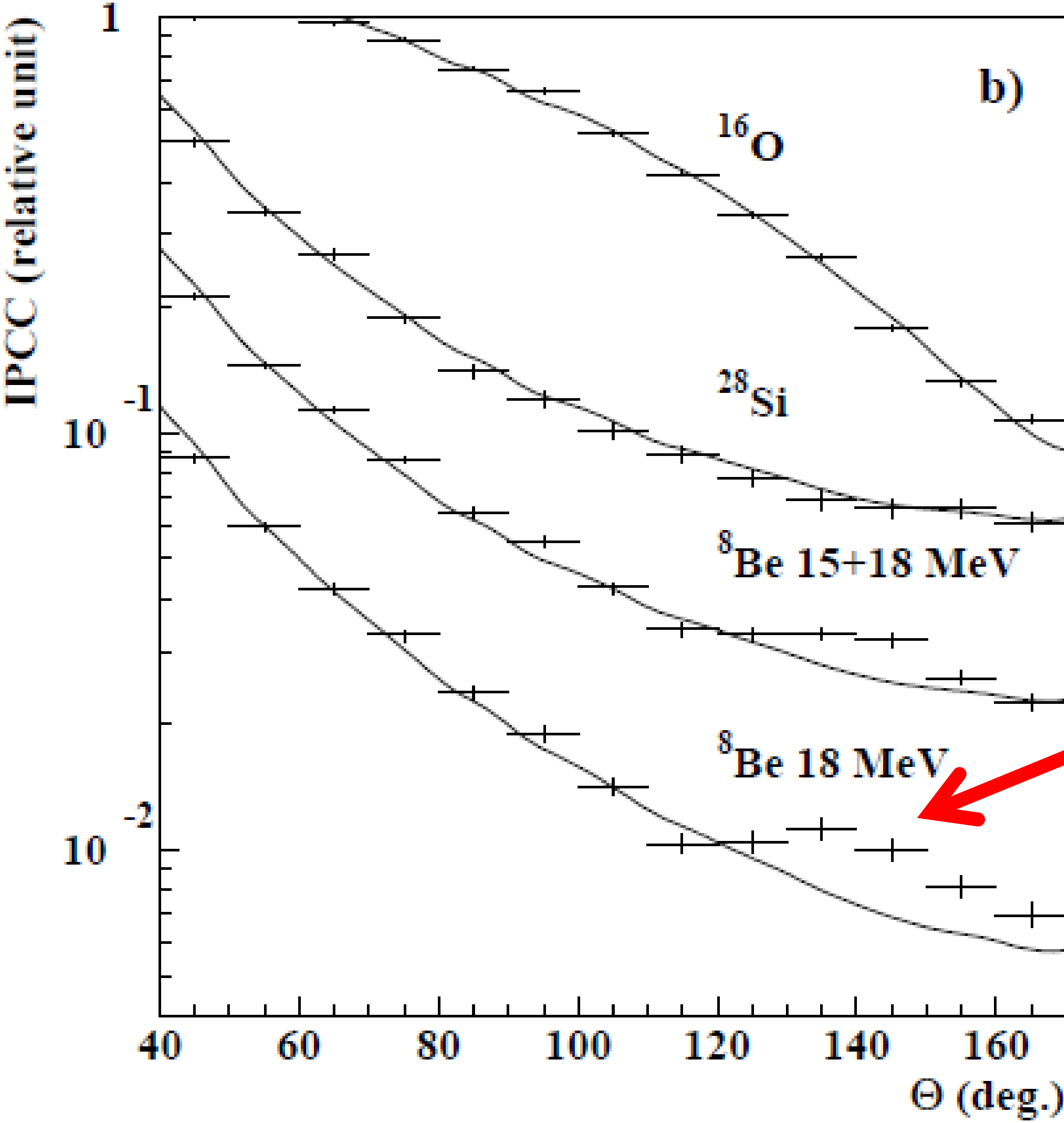
Распределение по углу между электроном и позитроном θ полезно для определения мультипольности ядерного перехода при изучении парной внутренней конверсии



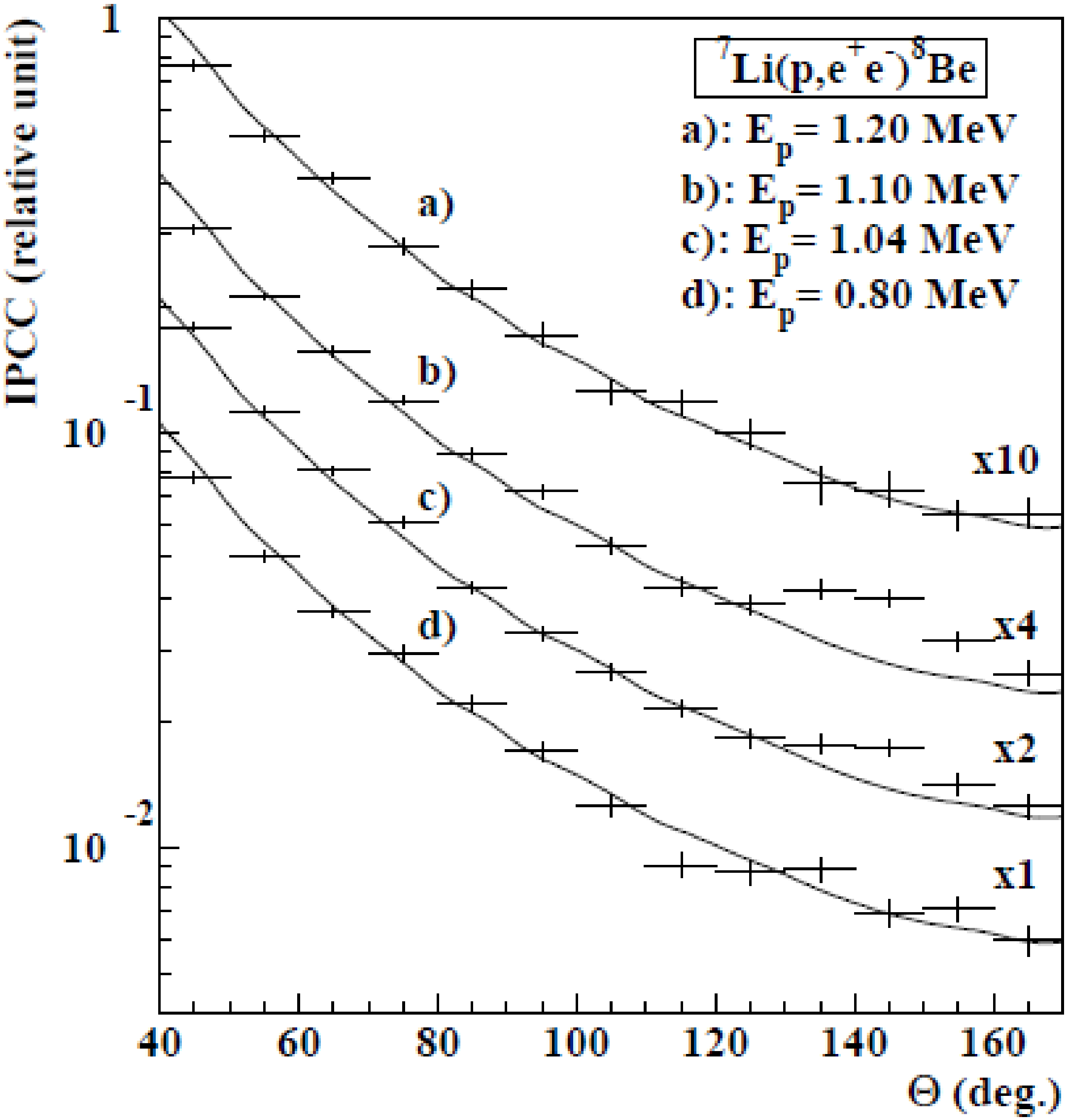




$$Br\left({}^8_4Be^* \rightarrow {}^8_4Be + \gamma \rightarrow e^+e^-\right) \approx 5.5 \cdot 10^{-8}$$



Отклонение от стандартного распределения



Сканирование по энергии налетающих протонов и по переменной y
|y|<0.5 и |y|>0.5

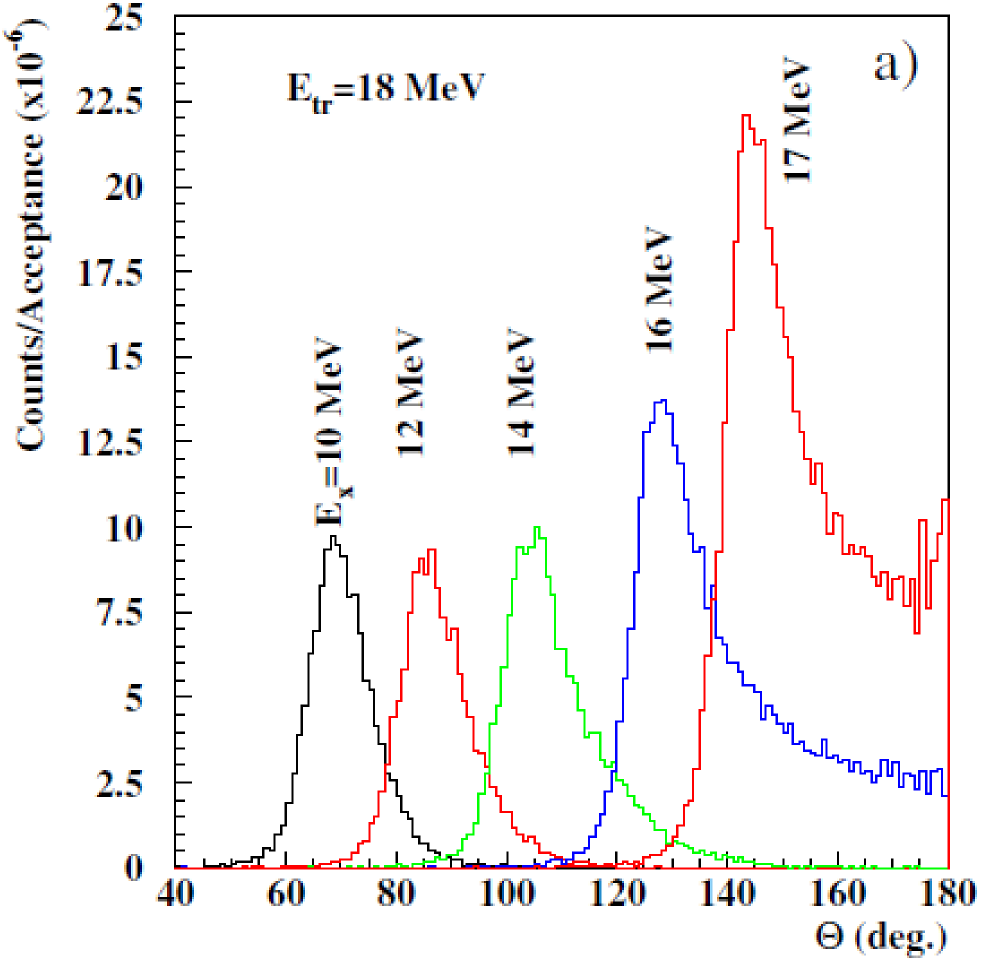
$$y = \frac{T^+ - T^-}{T^+ + T^-}$$

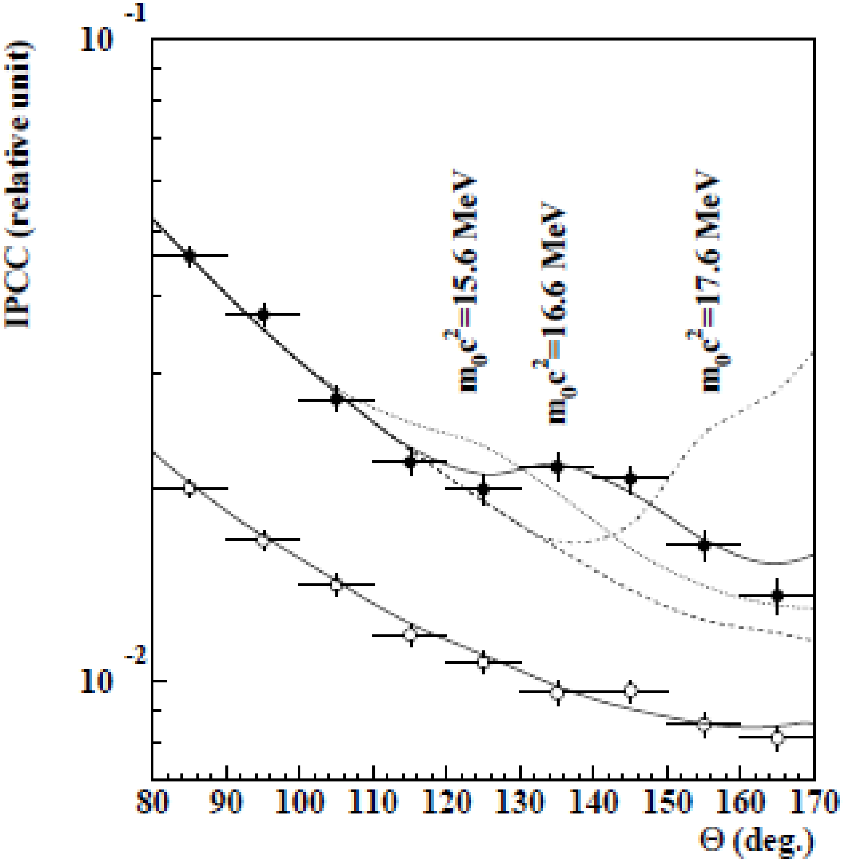
T – Кин. Энергии электрона и позитрона

Отклонение наблюдается при энергии протонов, необходимой для резонансного возбуждения уровня, и при близости энергий электронов и позитронов |y|<0.5

Переход между уровнями ядра с испусканием массивной частицы, распадающейся на два лептона. Масса

$$m_{ee}^2 \approx (1 - y^2)E^2 sin^2\frac{\theta}{2} \qquad E = T^+ + T^- + 2m_e$$





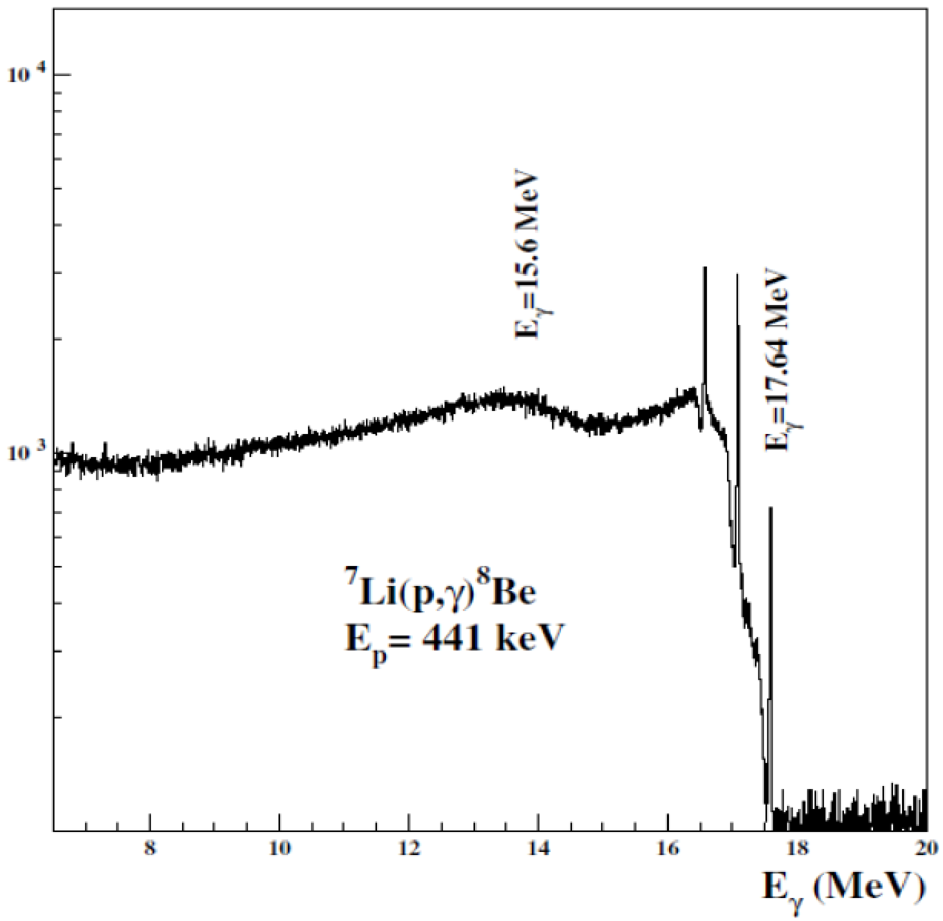
Эффект превышения 6.8σ

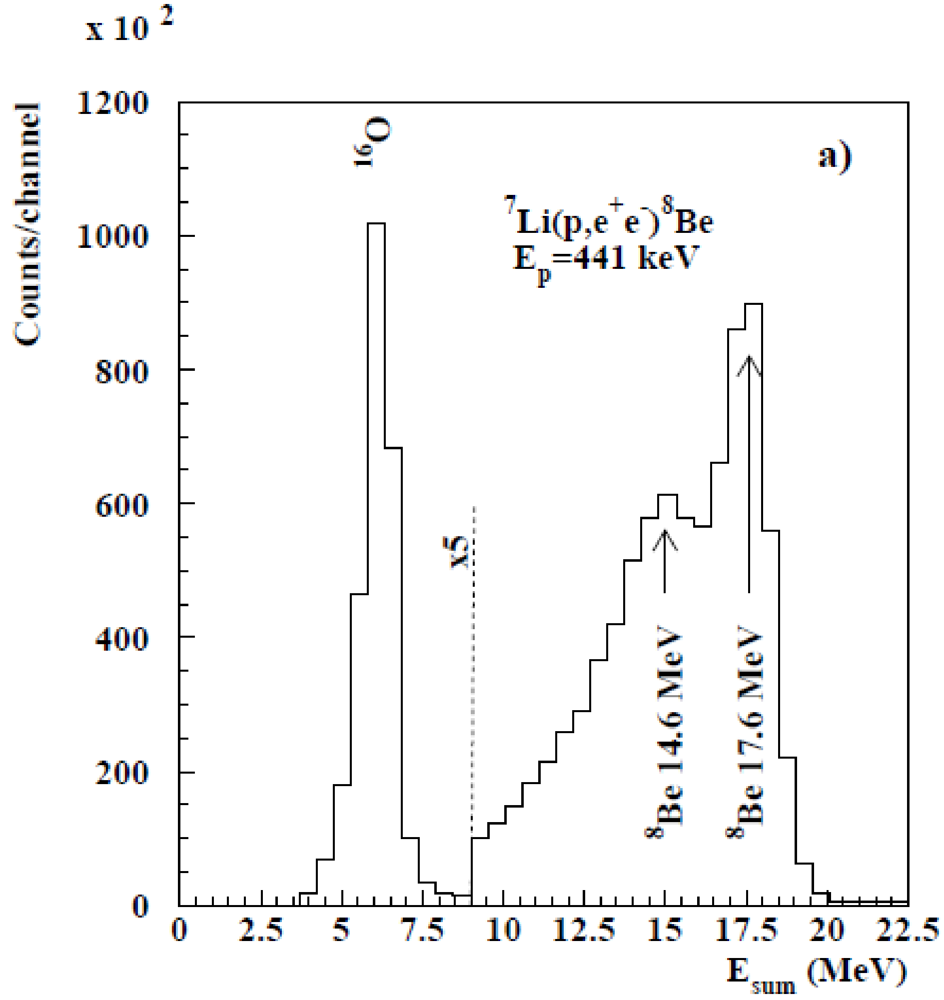
Подгонка данных: χ^2=1.07

$$M_X = 16.7 \pm 0.35 \pm 0.5 \ \text{МэВ}$$

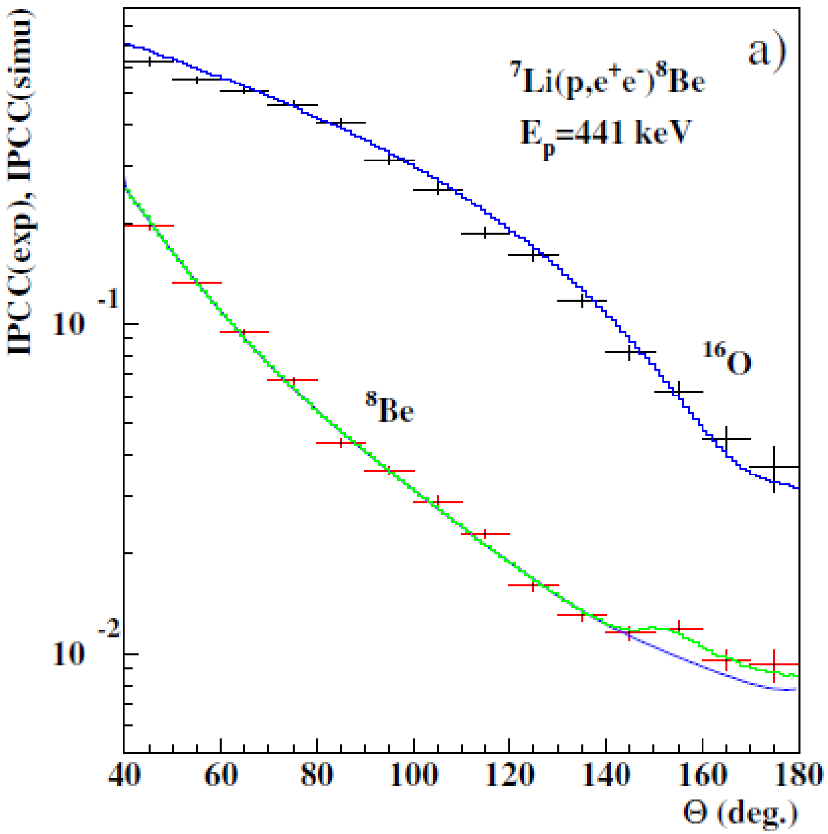
$$\frac{Br({}^8_4Be^* \rightarrow {}^8_4Be + X) \cdot Br(X \rightarrow e^+e^-)}{Br({}^8_4Be^* \rightarrow {}^8_4Be + \gamma)} \approx 5.8 \cdot 10^{-6}$$

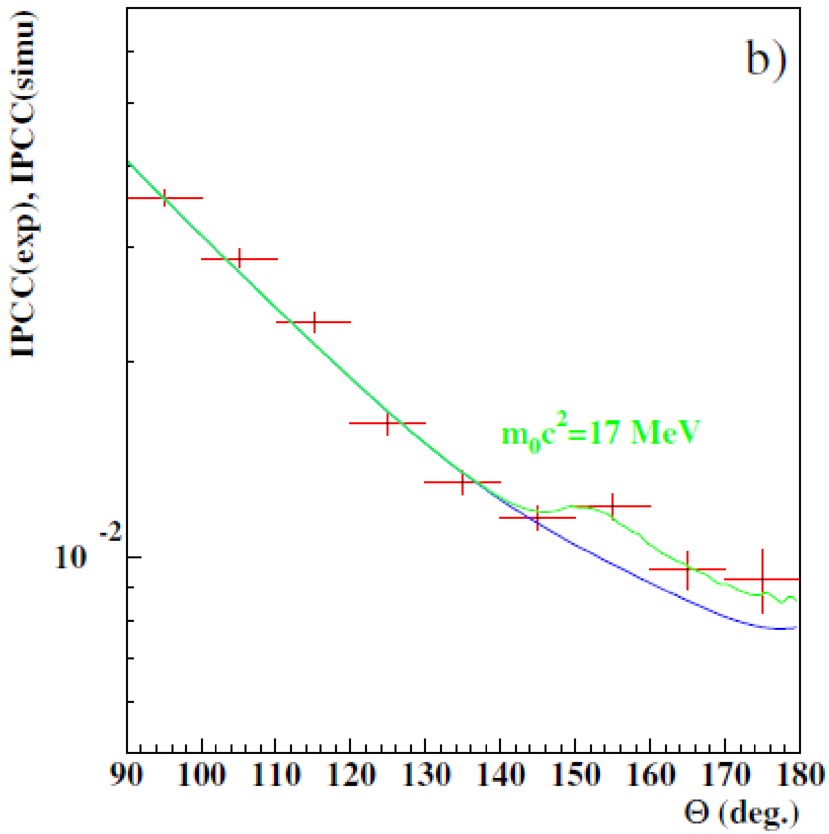
РЕЗУЛЬТАТЫ 2016 года с модернизированным детектором





Воспроизведен результат для уровня 18.15 МэВ и проявился тот же эффект при распаде уровня 17.64 МэВ





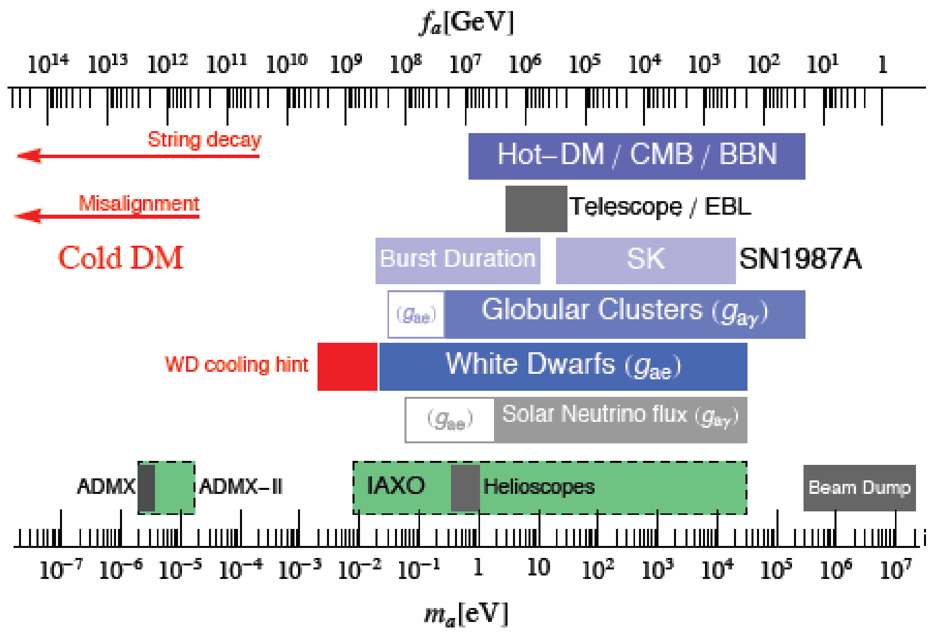
С учетом двух переходов масса сдвигается ближе к 17 Мэв

Обнаруженный эффект до настоящего времени не удалось объяснить в рамках стандартной ядерной физики

Выход за рамки стандартной модели – новый легкий БОЗОН с массой 17 МэВ

- **не скаляр**
- **Псевдоскаляр, аксиальный вектор и вектор не запрещены симметриями.**

Псевдоскаляр ограничен экспериментально поисками АКСИОНА.



- **Аксиальный вектор – трудно интерпретировать - сложность ядерных расчетов**

ВЕКТОР (Feng et al)

$$L_{BSM} \propto -\frac{1}{4}X_{\mu\rho}X^{\mu\rho} + \frac{1}{2}m_X^2 X_\mu X^\mu - X_\mu J^\mu$$

Изоскалярный переход. Взаимодействие с векторным током

$$J_\mu = \frac{1}{2}e\varepsilon\bar{N}\gamma_\mu N + ..$$

$$\varepsilon = \varepsilon_p + \varepsilon_n$$

$$\frac{Br({}_4^8Be^* \rightarrow {}_4^8Be + X)\cdot Br(X \rightarrow e^+e^-)}{Br({}_4^8Be^* \rightarrow {}_4^8Be + \gamma)} \approx 5.8\cdot 10^{-6}$$

$$Br(X \rightarrow e^+e^-) = 1$$

Пренебрегаем ν и γ

В первом приближении ядерный матричный элемент сокращается в отношении ширин

$$\frac{\Gamma(Be^* \to BeX)}{\Gamma(Be^* \to Be\gamma)} \approx (\varepsilon_p + \varepsilon_n)^2 \left|\frac{p_X}{p_\gamma}\right|^3 \approx 5.8 \cdot 10^{-6}$$

Заряд в единицах e $\varepsilon \approx |\varepsilon_p + \varepsilon_n| \approx 0.011$

Связь X с электронами

$$\Gamma(X \to e^+e^-) \approx \varepsilon_e^2 \alpha \frac{m_X^2 + 2m_e^2}{3m_X} \sqrt{1 - \frac{4m_e^2}{m_X^2}}$$

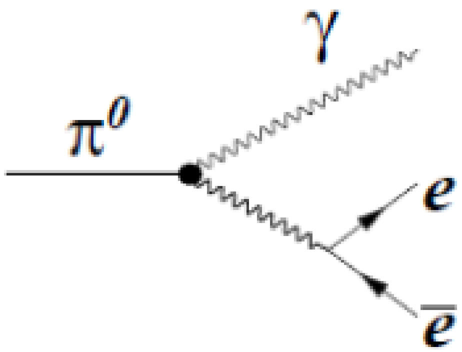
Распад в детекторе на длине несколько сантиметров.

Для описания наблюдаемого эффекта

$$|\varepsilon_e| \geq (1 \div 2) \cdot 10^{-5}$$

ТЕМНЫЙ ФОТОН

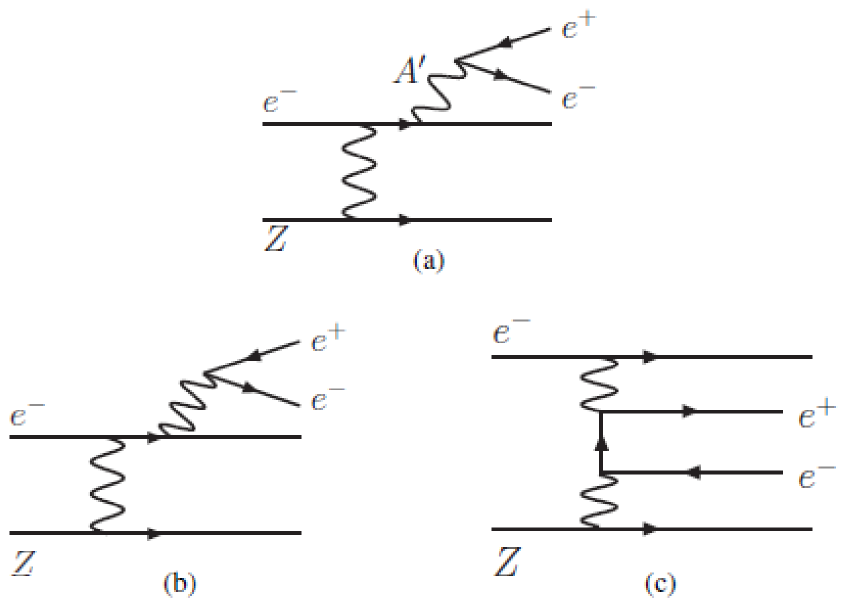
- Существующие ограничения:
- NA48/2 –распад $\pi^0 \to \gamma A \to \gamma e^+ e^-$



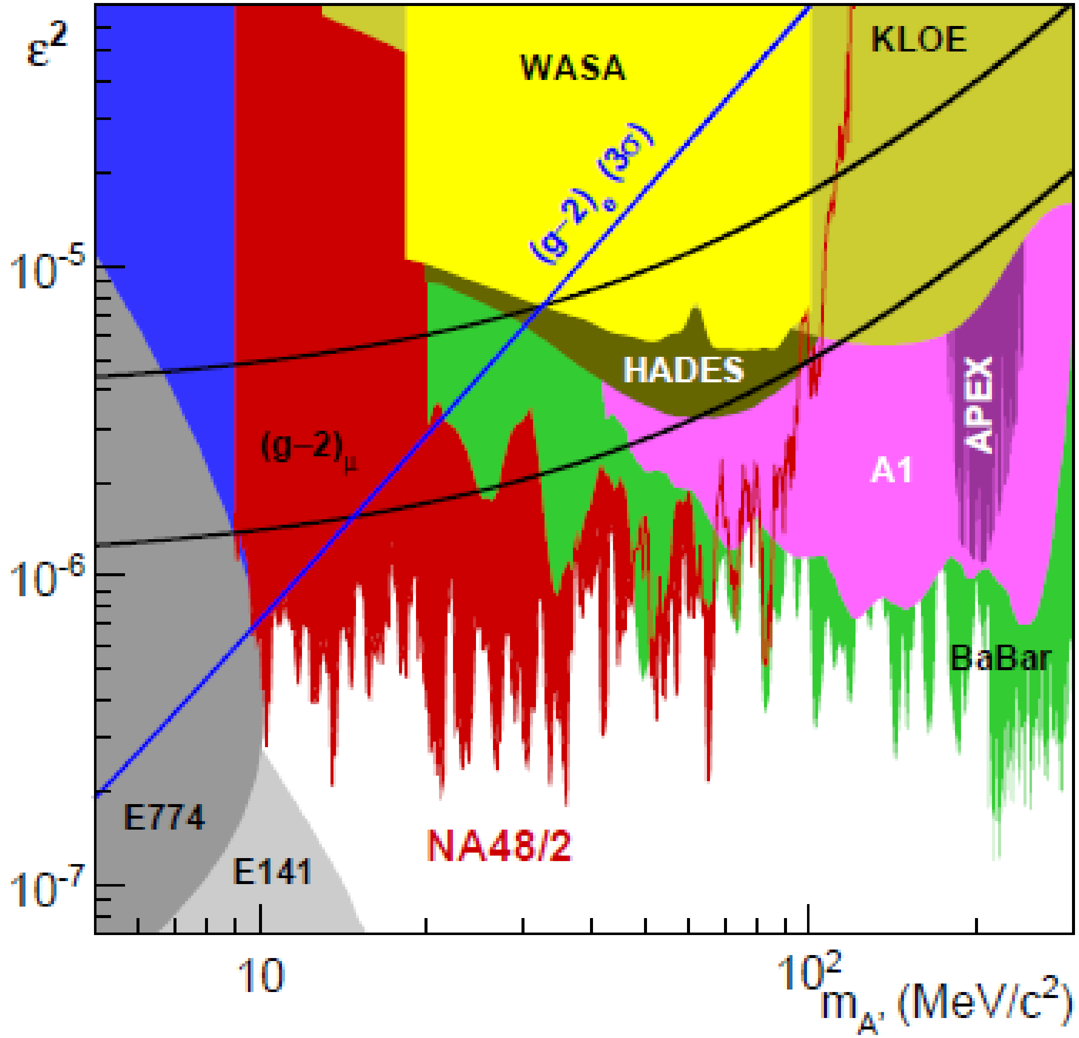
- Рассеяние электронов

(beam dump & pair spectrometer)

E141, A1, APEX



Аннигиляция: BABAR, KLOE



темный фотон с константой взаимодействия

$$\varepsilon = |\varepsilon_p + \varepsilon_n| \approx 0.011$$

исключен экспериментом NA48

В более общем случае легкого (масса 17 МэВ) калибровочного векторного бозона, не связанного с электромагнитными зарядами, можно оценить константы связи из Be и из NA48 через аномалию. Тогда

$$\varepsilon_u + \varepsilon_d \approx 0.004$$

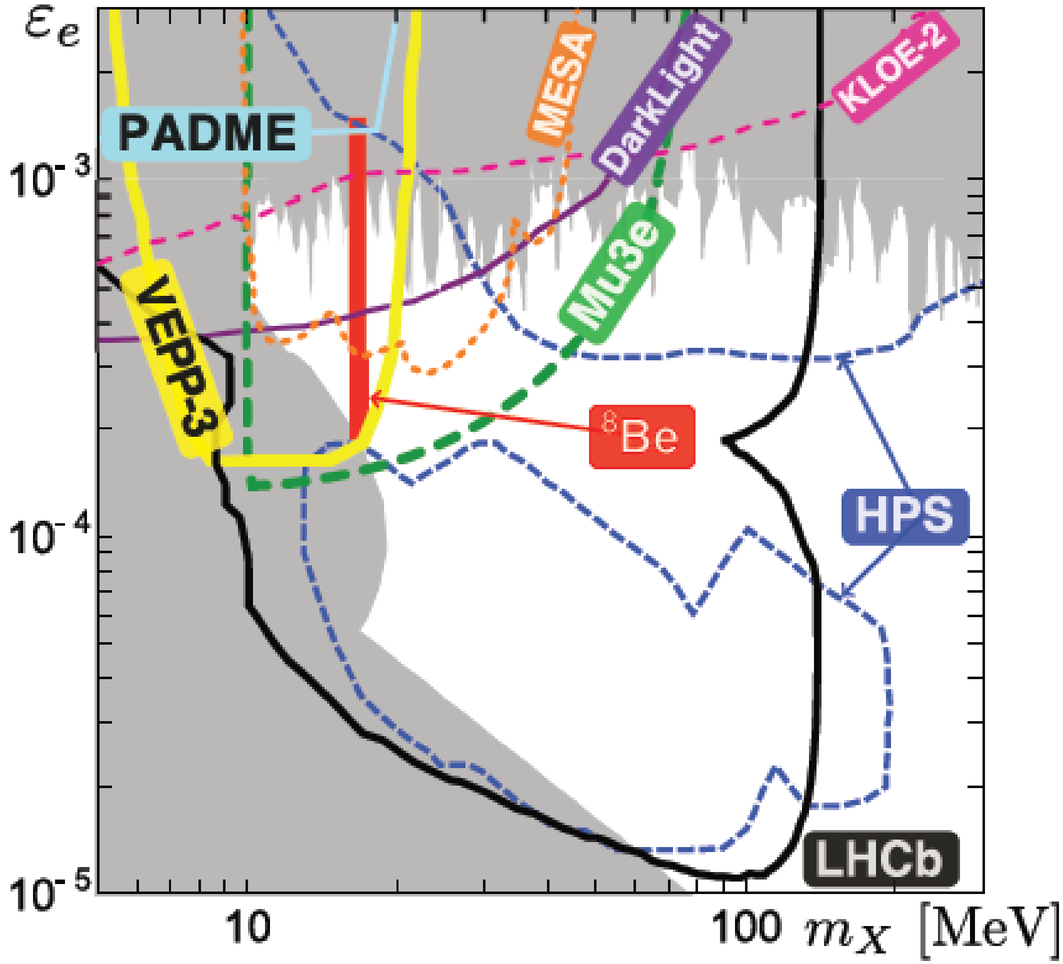
$$2\varepsilon_u + \varepsilon_d \approx 0.0008$$

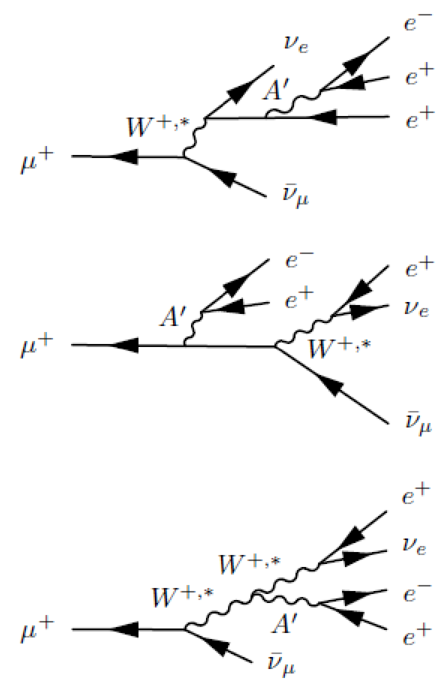
$$\varepsilon_p \approx 0.0008 \qquad \varepsilon_n \approx 0.01$$

Protophobic vector boson (Feng et al)

ПЕРСПЕКТИВЫ

MESA: eA->eA2e - 2020
VEPP3: e+e- -> gamma A’
Darklight: ep-> epe+e- 2020
HPS : eA-> eAe+e- 2020
MU3e: \mu ->3e 2019-2020





LHCb : D(2007)->De+e-
2021-2023

- **Если возможность существования бозона с массой 17 МэВ в любом варианте теории будет исключена**

экспериментально, как объяснить результат ATOMKI?

- **Поскольку 6.8σ аргумент серьезный, либо необходим аналогичный эксперимент, либо указания на ошибки в эксперименте ATOMKI**