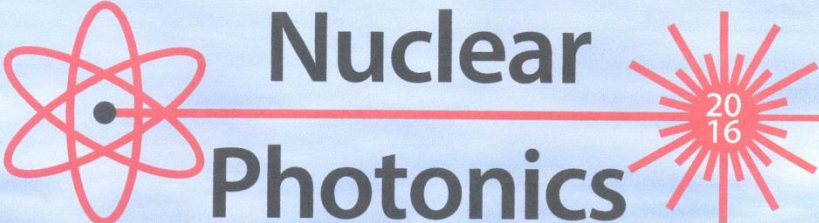


Ядерная фотоника – новое направление или традиционные фотоядерные исследования

В.Г.Недорезов, А.А.Туринге, А.Л.Полонский, А.Н.Мушкаренков, ИЯИ РАН
А.Савельев-Трофимов, И.Цимбалов, А.Ларькин, И.Мордвинцев, Физфак МГУ



Nuclear Photonics

Monterey, California • October 16-21, 2016

Purpose

Discussion of all aspects of photon-based, nuclear science, applications & related technologies, i.e. Nuclear Photonics

Important Dates

On-line Registration Opens

May 2, 2016

Deadline for Abstract Submission

August 12, 2016

Deadline for Early Registration

August 26, 2016

Deadline for Hotel Reservations

September 21, 2016

Venue

Monterey Plaza Hotel & Spa
www.montereyplazahotel.com

Topics

- Compton gamma-ray sources and related accelerator technologies
- Ultrahigh intensity lasers and related optical technologies
- Precision photo-nuclear spectroscopy
- NRF-based, isotope-specific materials detection, assay and imaging
- Production and photo-excitation of isomers
- Photo-fission and nuclear transmutation
- Ultrarelativistic laser-matter interactions and QED effects
- Production and characterization of rare isotopes
- Photon-enabled nuclear cosmology
- Advances in gamma-ray monochromators, optics and detectors
- Photon-based beams of positrons, neutrons, electrons, protons etc.
- Potential industrial, security, energy and medical applications

Conference Chairs

Dr. Christopher Barty, Lawrence Livermore National Laboratory, USA

Dr. Ryoichi Hajima, National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology, Japan

Prof. Norbert Pietralla, Technische Universität Darmstadt, Germany

Program Chairs

Prof. Calvin Howell, Triangle Universities Nuclear Laboratory, USA

Prof. Markus Roth, Technische Universität Darmstadt, Germany

nuclearphotonics2016.org

Laser Compton scattering photon beams and other gamma-ray sources:

Project for coherent gamma-ray source on basis of femtosecond
laser at ILC MSU

Tokai-Mura, Japan-2014

V.G.Nedorezov¹, A.B.Savel'ev²

1- Institute for Nuclear Research RAS, Moscow, Russia

2- Lomonosov Moscow State University

Ivanov K.A.², Shulyapov S.A.², Turinge A.A.¹, Uryupina D.S.², Volkov R.V. ²
, Rusakov A.V.¹, Djilkibaev R.M.¹,

Nuclear Photonics:

“This exciting field of study is being enabled by the development of ultra-bright, tunable gamma-ray sources based on laser-Compton scattering and by the establishment of international, laser user facilities with systems capable of reaching highly-relativistic intensities and of enabling photo-nuclear interactions”.

“The investment worldwide in technology and facilities of relevance to nuclear photonics now exceeds several billion US dollars.”

Dr. Chris Barty, Lawrence Livermore National Laboratory, USA

Dr. Ryoichi Hajima, National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology, Japan

Prof. Norbert Pietralla, Technische Universität Darmstadt

Compton back scattering

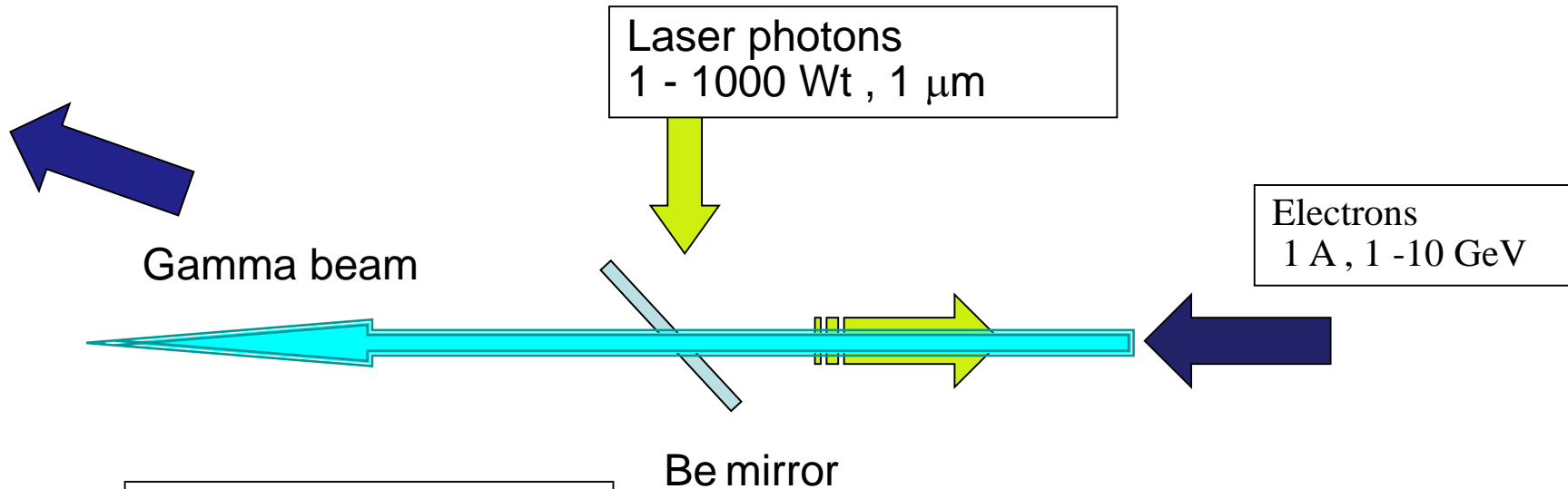
1963 – F.Arutunyan, V.Tumanyan. JETF 44 (1963) 6, 2100.

R.H.Milburn, Phys.Rev.Lett. 10 (1963) 3, 75

- 1964 – Moscow (Lebedev FIAN) – first experimental evidence
- 1976 - Frascati (LADONE - ADONE) – photonuclear physics
- 1984 - Novosibirsk Budker INP (ROKK – 1,2 – VEPP 3,4) nuclear fission
- 1988 – Brookhaven BNL (LEGS - NSLS)- meson photoproduction
- 1995 – Grenoble (GRAAL – ESRF)
- 1998 – Osaka (LEPS - Spring-8)
- 2000 – Duke (HlgS -) low energy nuclear excitations

- New history: FEMTOSECIND LASER DRIVEN GAMMA SOURCES

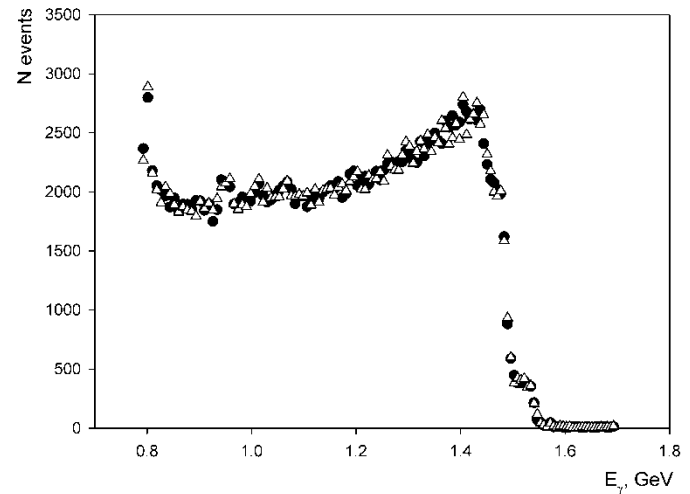
Compton back scattering technique



Argon (UV) $N_\gamma < 10^7 \text{ } \gamma/\text{s}$
 CO₂ (IR) $< 10^{10}$
 Recirculator $< 10^{15}$

$$E_\gamma = 4\gamma^2 \frac{\omega}{1 + n^2 + \lambda}$$

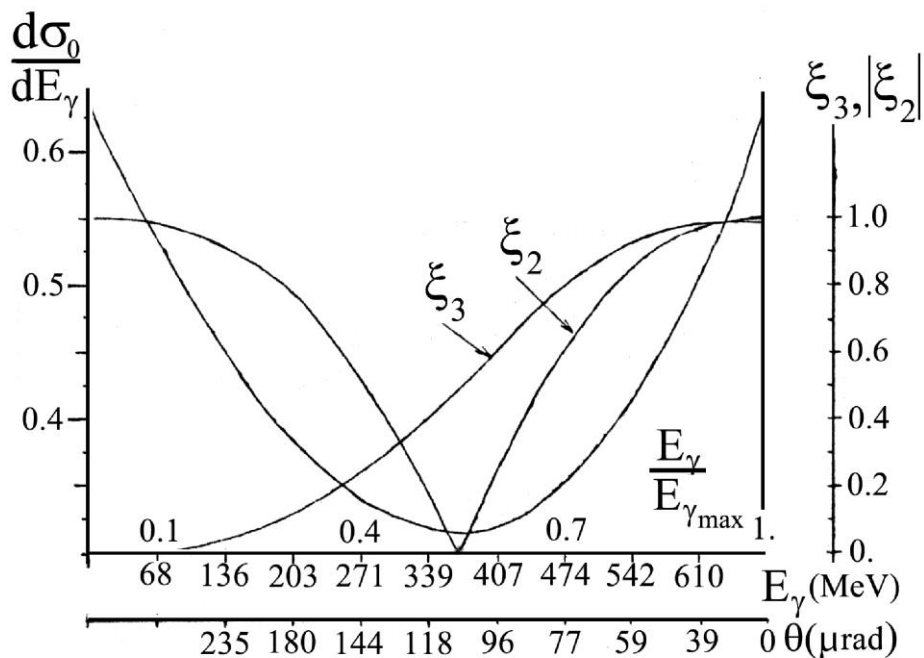
$$n = \theta\gamma, \quad \gamma = E_e/m_e$$



Спектр и поляризация гамма пучка

РОКК-2:

Спектр (левая шкала)
и поляризация
(ξ_3 - линейная, ξ_2 -
циркулярная (правая
шкала)) для
обратного
комптоновского
излучения.



$$E_\gamma = 4\gamma^2 \frac{\omega}{1 + \pi^2 + \lambda}$$

Femtosecond laser facility at ILC MSU

Reaction chamber

- Wave length 800 nm,
 - Impulse length 50 fs,
 - Frequency 10 Hz,
 - Pulse energy 50 mJ,
 - Focusing diameter 4 μm .
-
- Beam intensity on the target 10^{19} W/cm²,
 - being equivalent to the electron
 - quasi-temperature of ~ 1 MeV.



Установки:

Установка	Энергия гамма- пучка	Интенсив- ность (полная)	Ширина спектра (FWHM)	Диаметр пятна - фокус (μm)	Частота повторения (1/с)
HIγS, университет Дьюка, США (работает)	1-160 МэВ	$10^8 \gamma/\text{s}$	$3 \cdot 10^{-2}$	10^4	$3 \cdot 10^8$
ELI-NP, Бухарест, Румыния (в стадии запуска)	0,5-19,6 МэВ	$10^{13} \gamma/\text{s}$	10^{-3}	10^2	$1.2 \cdot 10^4$
MEGA-ray, США (в стадии запуска)	0,5-2,7 МэВ	$10^{13} \gamma/\text{s}$	10^{-3}	10^2	$1.2 \cdot 10^4$
γ QFEL (США, в стадии запуска)	0,5-10,0	$10^{13} \gamma/\text{s}$	10^{-6}	10	$1.2 \cdot 10^4$
ESRF (ID15) Франция (работает)	0,1-0,7	$10^9 \gamma/\text{s}$	10^{-3}	10^3	$3 \cdot 10^8$

Физические задачи

Topics

- Compton gamma-ray sources and related accelerator technologies
- Ultrahigh intensity lasers and related optical technologies
- Precision photo-nuclear spectroscopy
- NRF-based, isotope-specific materials detection, assay and imaging
- Production and photo-excitation of isomers
- Photo-fission and nuclear transmutation
- Ultrarelativistic laser-matter interactions and QED effects
- Production and characterization of rare isotopes
- Photon-enabled nuclear cosmology
- Advances in gamma-ray monochromators, optics and detectors
- Photon-based beams of positrons, neutrons, electrons, protons etc.
- Potential industrial, security, energy and medical applications

Фотоядерные реакции вблизи порога Пигми-резонанс

[С.П.Камерджиев (2014) семинар НИИЯФ МГУ]

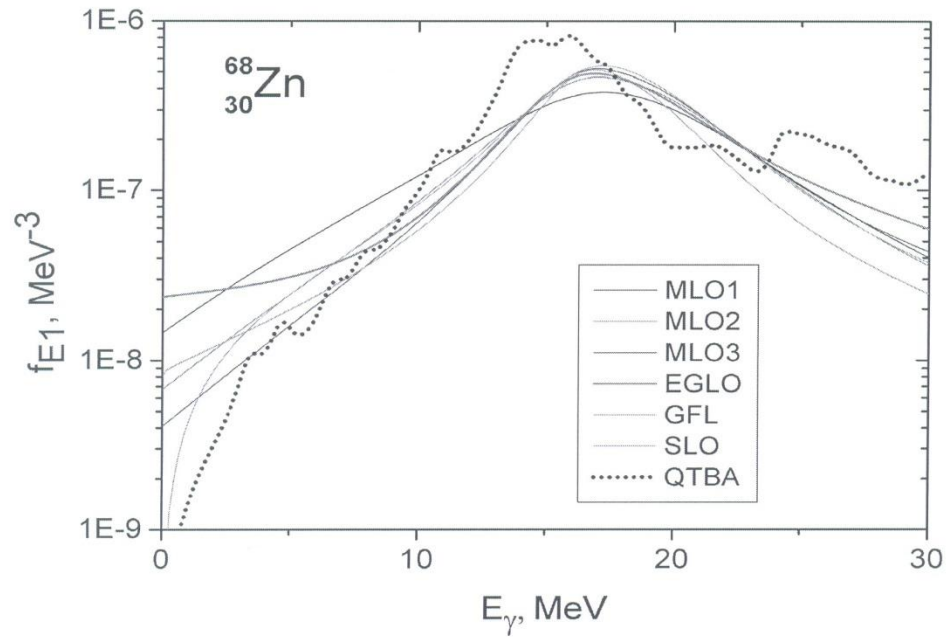
1.Новая (?) физика в области энергий
ПДР:

1.1 Изоскалярная природа ПДР

1.2 M1, E2 (PQR), M2 ,twist, тороидальные
и компрессионные E1 моды)

1.3 новые ядра(M₀, деформированные
ядра-"ножничные" моды)

2.Объяснены интегральные хар-ки
ПДР в ^{68}Ni (?)



A.Klimkiewicz et al., Phys.Rev. C76 (2007) 051603

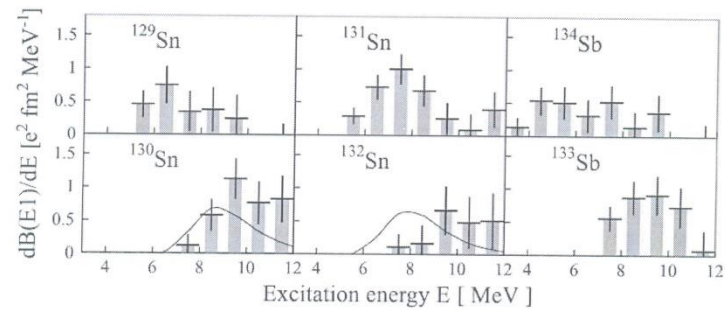
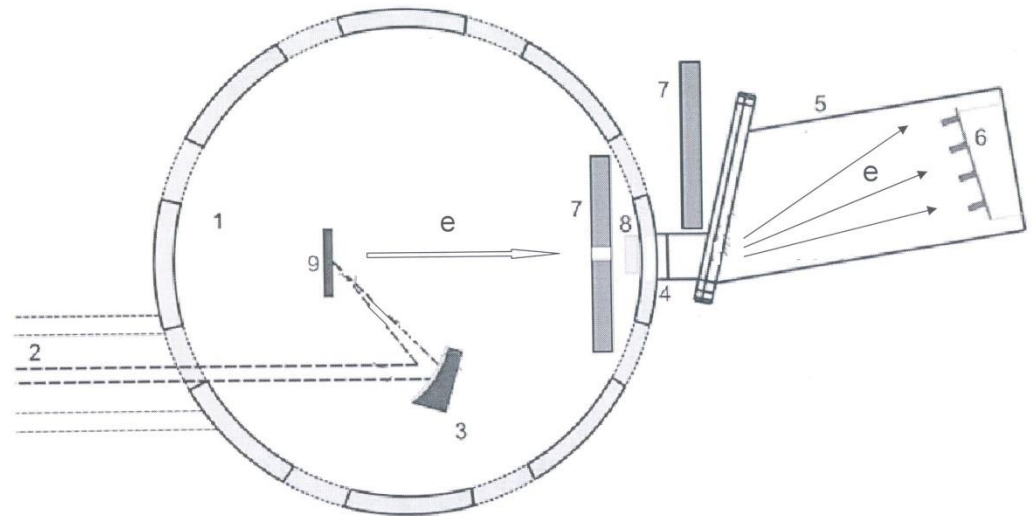


Fig. 18. Pygmy dipole strength distribution $dB(E1)/dE$ obtained for unstable Sn and Sb isotopes [64] with odd-neutron number (upper row) and with even-neutron number (bottom row). The solid lines show results for $^{130,132}\text{Sn}$ from the RQRPA calculation with a particular choice of the DD-ME interaction [151]. Source: Reprinted figure with permission from [64]. © 2007, by the American Physical Society.

Магнитный спектрометр для детектирования электронов и позитронов в экспериментах на фемтосекундном лазере

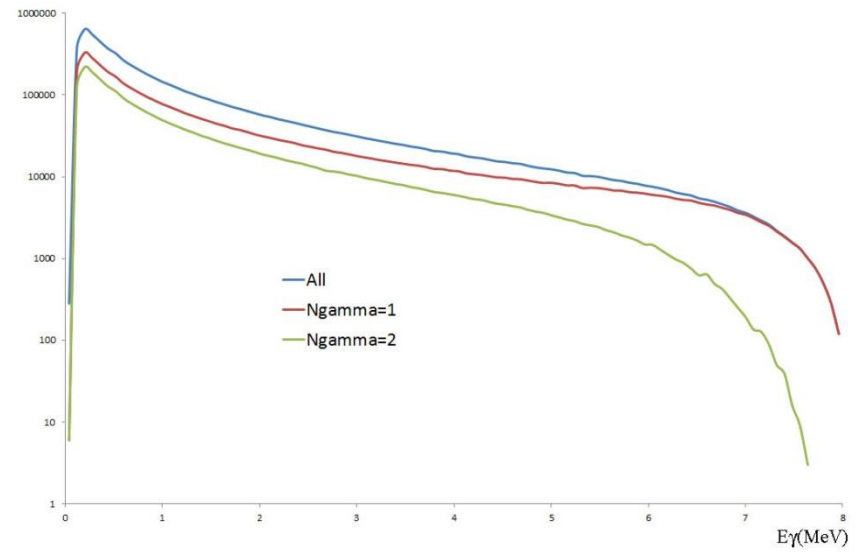
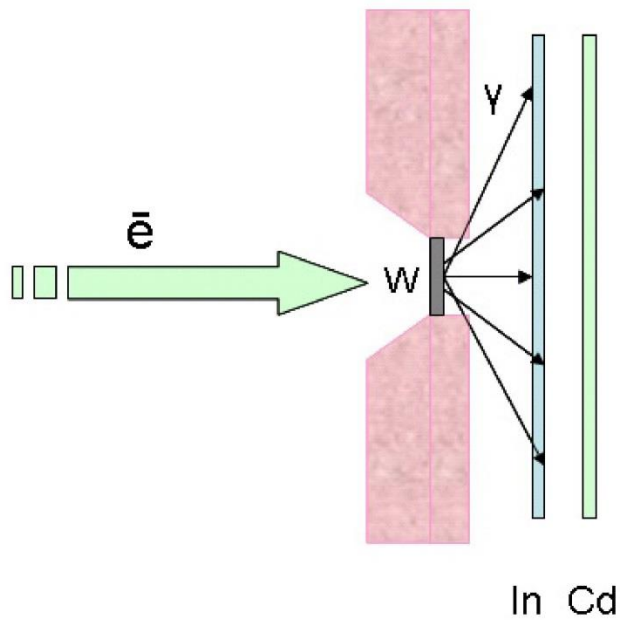
Схема эксперимента:

- 1 - вакуумная камера,
- 2 – лазерное излучение,
- 3 – параболическое зеркало,
- 4 – магнит,
- 5 – камера спектрометра,
- 6 – детектирующая линейка,
- 7 – свинцовая защита от рентгена с коллиматором для электронов,
- 8 – индукционный датчик тока электронов,
- 9 – мишень.



Эксперименты на ЛУЭ-8 МэВ

Метод наведенной активности



Эксперименты на ЛУЭ-8 МэВ

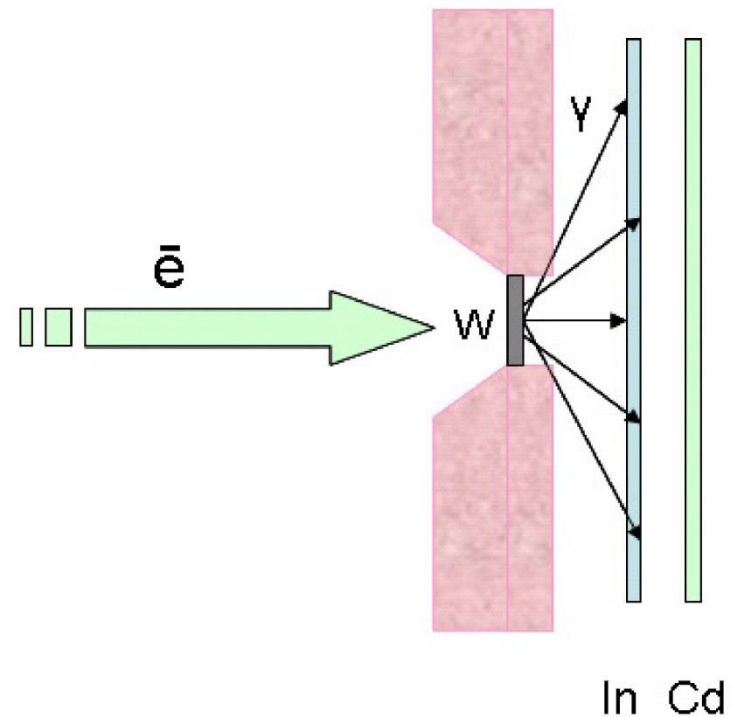
Метод полного поглощения

Толщина радиатора W - 0.8 мм

Коллимация - 10^{-2}

Пролетная база -

(радиатор – детектор) – 3 м



Изучение выхода нейтронов из дейтерированных мишеней под действием электронного пучка на ускорителе "Пахра"

В.И. Алексеев, В.А. Басков, А.В. Кольцов, А.И. Львов,
Л.Н. Павлюченко, В.В. Полянский, Е.В. Ржанов, (С.С. Сидорин)

(Г.Г. Субботин, С.А. Ралко, В.И. Сергиенко, А.В. Серов, Е.И. Малиновский,
В.П. Антипов)

(О.Д. Далькаров)

А.В. Огинов, А.С. Русецкий

Семинар ОФВЭ, 06.12.2013

Число ядер D в мишени Ti

1. Согласно данным, приведенным в статье [3],готавливаемые электролитическим методом титаново-дейтериевые мишени $\text{Ti}/\text{TiO}_2:\text{D}_2$ размером $S = 3 \times 1 \text{ см}^2$ представляли собой титановую фольгу толщиной $L_{\text{Ti}} = 300 \text{ мкм}$ (как вариант – 50 мкм) и окисный слой TiO_2 толщиной около $L_{\text{TiO}_2} = 0.1 \text{ мкм}$. Электролитическое насыщение дейтерием приводило к увеличению веса мишени на $m_{\text{D}} = 0.25 \text{ мг}$.

Эти данные позволяют оценить поверхностную плотность ядер дейтерия (на 1 см^2) в дейтерированной титановой мишени как

$$N_{\text{D}} = \frac{m_{\text{D}}}{M_{\text{D}}S} = \frac{0.25 \cdot 10^{-3}}{3.34 \cdot 10^{-24} \times 3} = 2.5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-2}, \quad (10)$$

где $M_{\text{D}} \approx 2M = 2 \times 1.67 \cdot 10^{-24} \text{ г}$ это масса атома (ядра) дейтерия. [Альтернативно: $N_{\text{D}} = m_{\text{D}}N_{\text{A}}/(A_{\text{D}}S)$, где $A_{\text{D}} \approx 2.01 \text{ г/моль}$ – атомный вес атома дейтерия, а $N_{\text{A}} = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ – число Авогадро (число атомов/молекул в 1 моле вещества)].

III. Грубая оценка выходов np пар. 12.07.2013

Пренебрегая пока поглощением вылетающих частиц, количество вылетающих под углом 90° np пар можно оценить как

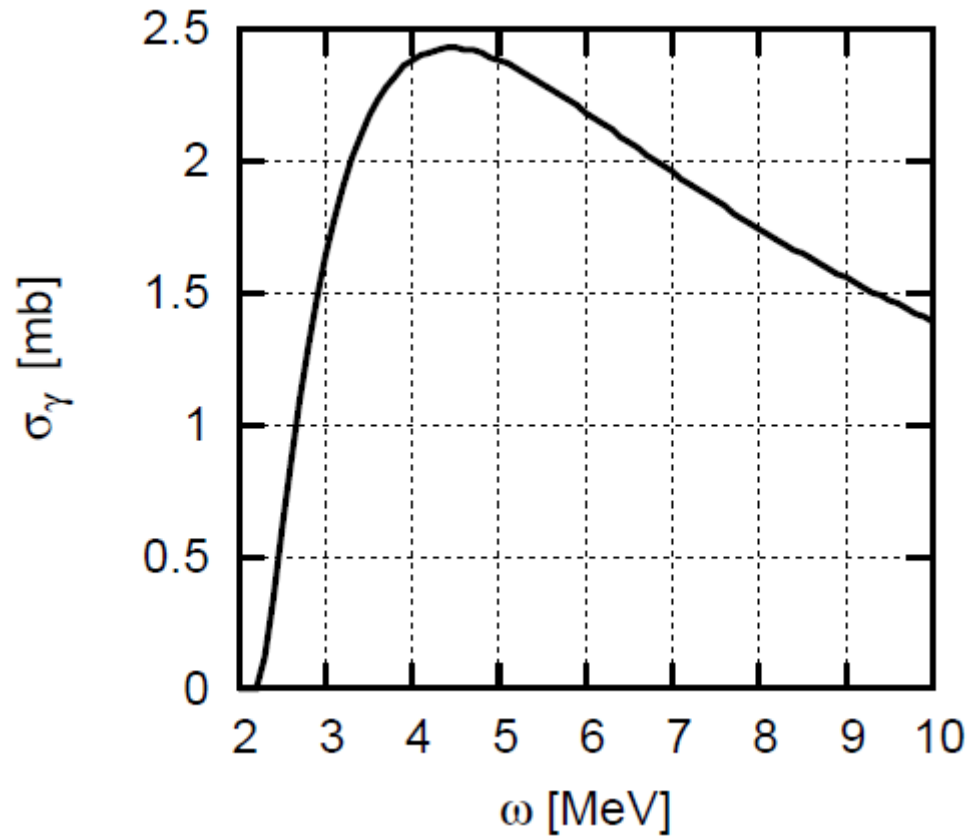
$$N_{np} = N_e N_\gamma N_D \frac{3\Delta\Omega}{8\pi} \sigma_\gamma. \quad (16)$$

При среднем электронном токе $I_e = eN_e = 10$ мкА ($N_e = 6.25 \cdot 10^{13}$ сек $^{-1}$), описанной выше дейтерированной титановой мишени и телесном угле регистрации коррелированных нуклонных пар $\Delta\Omega \approx 0.01$ (например, 5×5 см 2 на расстоянии 0.5 м)

$$N_{np} \approx 6.25 \cdot 10^{13} \times 0.003 \times 2.5 \cdot 10^{19} \times \frac{3 \times 0.01}{8\pi} \times 2.3 \cdot 10^{-27} = 13 \text{ сек}^{-1}. \quad (17)$$

Если эффективность нейтронного детектора будет не слишком низкой ($\gtrsim 10\%$), а уровень фонов не слишком высоким, то такой сигнал вполне можно зарегистрировать.

Расчетное сечение реакции $\gamma d > np$



Topics

- Compton gamma-ray sources and related accelerator technologies
- Ultrahigh intensity lasers and related optical technologies
- Precision photo-nuclear spectroscopy
- NRF-based, isotope-specific materials detection, assay and imaging
- Production and photo-excitation of isomers
- Photo-fission and nuclear transmutation
- Ultrarelativistic laser-matter interactions and QED effects
- Production and characterization of rare isotopes
- Photon-enabled nuclear cosmology
- Advances in gamma-ray monochromators, optics and detectors
- Photon-based beams of positrons, neutrons, electrons, protons etc.
- Potential industrial, security, energy and medical applications