

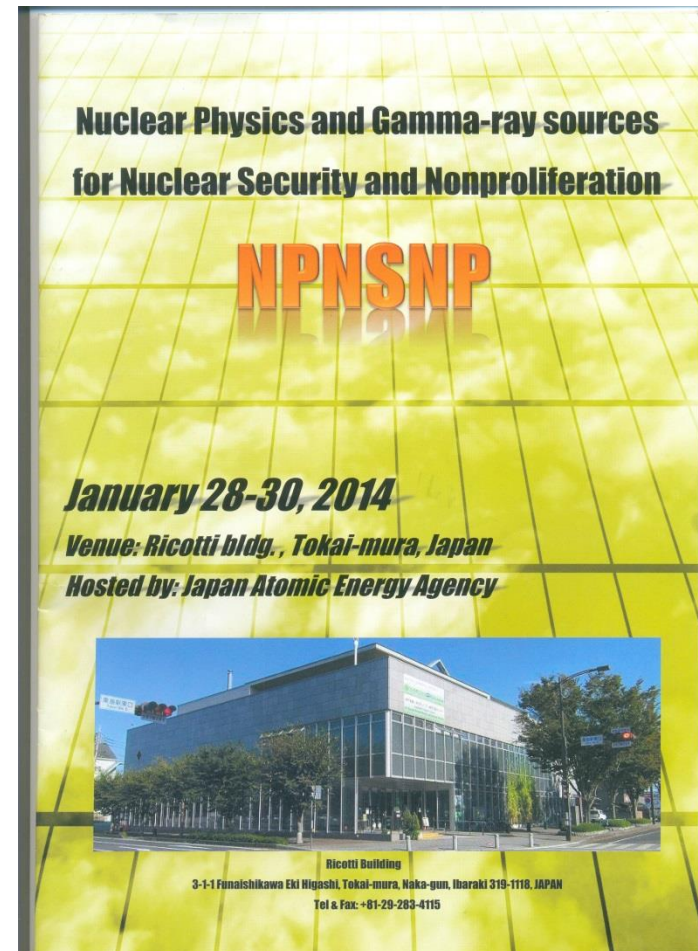
Nuclear photonics

V.G.Nedorezov¹, A.B.Savel'ev²

1- Institute for Nuclear Research RAS, Moscow, Russia
2- Lomonosov Moscow State University

Новые гамма пучки на основе фемтосекундных лазеров


- Обратное комптоновское рассеяние
- Фемтосекундный лазер с импульсной мощностью около 10 Дж обеспечивает следующие параметры γ -пучка :
- Энергия E_γ до 10 МэВ
- Разброс $\Delta E_\gamma/E_\gamma$ до 10^{-5}
- Интенсивность N_γ до 10^6 γ/s
- Угол излучения до 1 мрад
- Частота повторения до 100 Гц



**Nuclear Physics and Gamma-ray sources
for Nuclear Security and Nonproliferation**

NPNSNP

January 28-30, 2014
Venue: Ricotti bldg., Tokai-mura, Japan
Hosted by: Japan Atomic Energy Agency



Ricotti Building
3-1-1 Funaishikawa Eki Higashi, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1116, JAPAN
Tel & Fax: +81-29-283-4115

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.”

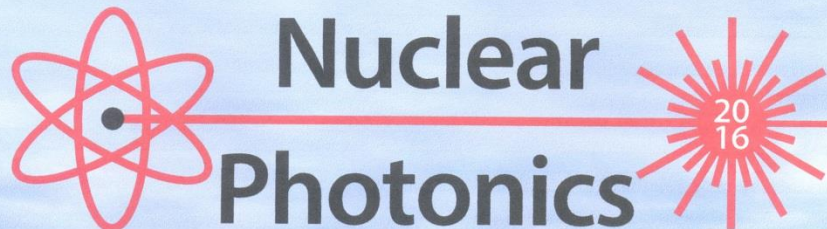
Dr. Chris Barty, Lawrence Livermore National Laboratory, USA

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

Prof. Norbert Pietralla, Technische Universität Darmstadt

Ядерная фотоника: перспективы (2014)

Установка	Энергия гамма-пучка	Интенсивность (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	$3 \cdot 10^8$



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

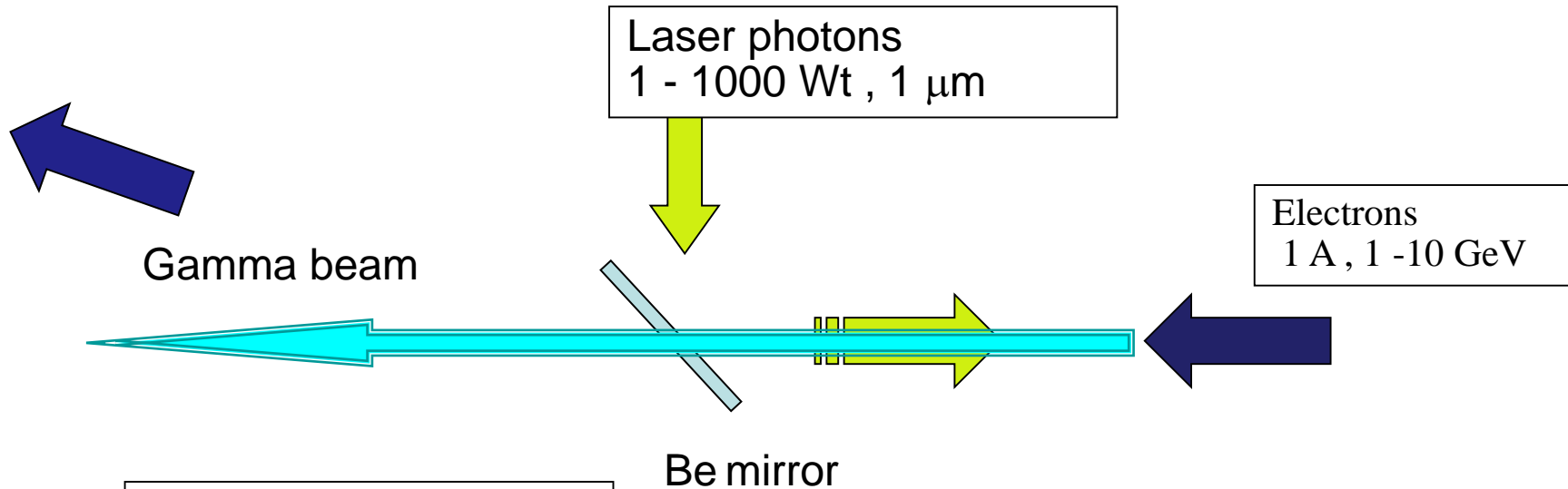
Prof. Calvin Howell, Triangle Universities Nuclear Laboratory, USA

Prof. Markus Roth, Technische Universität Darmstadt, Germany



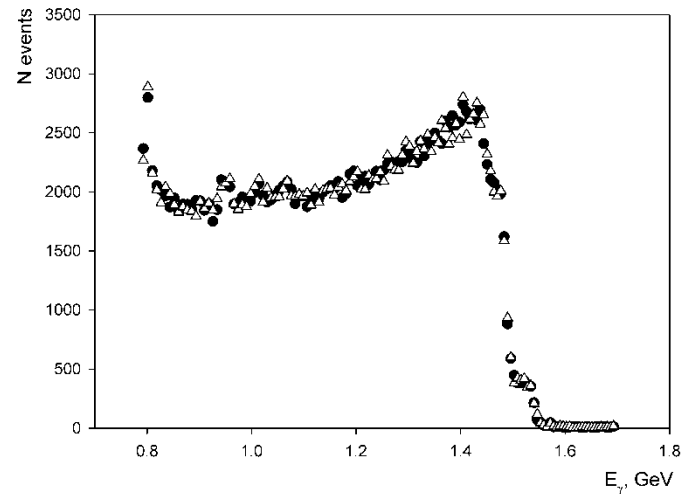
nuclearphotonics2016.org

Compton back scattering technique



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

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



Compton back scattering

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

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

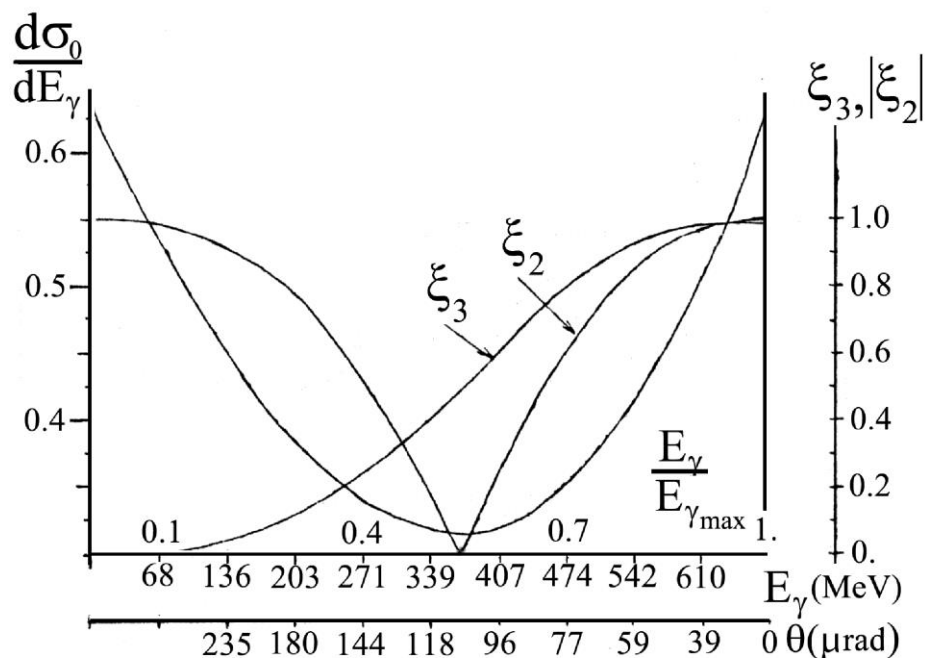
- 1964 – Moscow (Lebedev FIAN) – first experimental evidence
- 1976 - Frascati (LADONE - ADONE) – photonuclear physics
- 1984 - Novosibirsk Budker INP (ROKK – 1,2 – VEPP 3,4) nuclear fission
- 1988 – Brookhaven BNL (LEGS - NSLS)- meson photoproduction
- 1995 – Grenoble (GRAAL – ESRF)
- 1998 – Osaka (LEPS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

- New history: FEMTOSECIND LASER DRIVEN GAMMA SOURCES

Спектр и поляризация гамма пучка

РОКК-2:

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



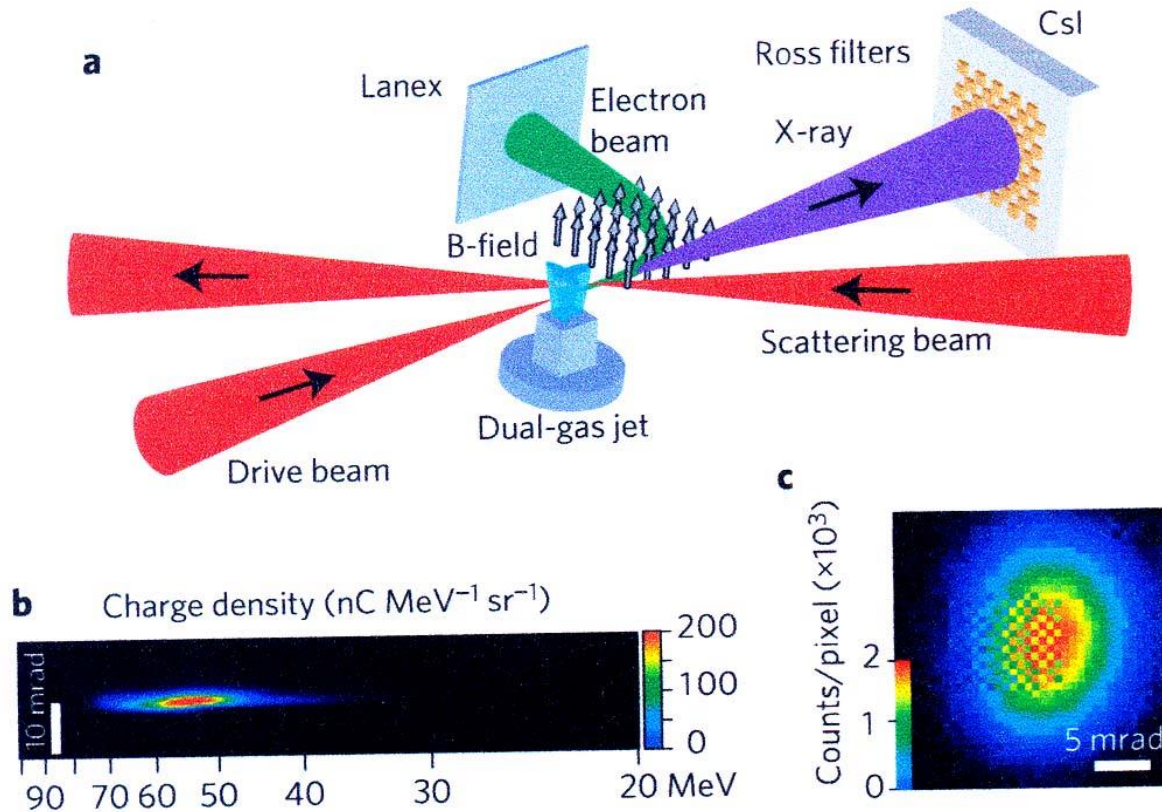
$$E_\gamma = 4\gamma^2 \frac{\omega}{1 + \pi^2 + \lambda}$$

Relativistic electromagnetic fields produced by femtosecond laser

Mourou G., Tajima T., Bulanov S.V. // Review of Modern Physics. 2006. V.78. P.309-371

- **Time duration — to 10^{-15} s (femtosecond)**
- **Wave packet length — to $10 \mu\text{m}$ (10 wave lengths)**
- **Pulse energy - to 100 J, power - to 10^{15} Wt (petawatt).**
- **Focus on radius of $10 \mu\text{m}$ provides $W = 10^{20}$ Wt/cm²**
- **Electric field strength $E = 10^{12}$ V/cm**
- ***(For comparison: in the hydrogen field $E = 10^9$ V/cm., at mica breakdown - 10^6 V/cm***
- ***Uranium field $E = 10^{11}$ V/cm, with relativistic compression – up to 10^{12} v/cm) .***
- At $E \sim 10^{11}$ V/cm, respectively $W \sim 10^{18}$ Bт/cm² ($\lambda = 1 \mu\text{m}$) electron is accelerated to relativistic velocity being closed to the light one. Therefore such field is defined as the relativistic one .
- Nevertheless, direct photonuclear reactions (nuclear excitations) are forbidden.

Quasi-monoenergetic and tunable X-rays from a laser-driven Compton light source N. D. Powers, I. Ghebregziabher, G. Golovin, C. Liu, S. Chen, S. Banerjee, J. Zhang and D. P. Umstadter* Nature photonics letters (Nov. 2013) p.1-4.

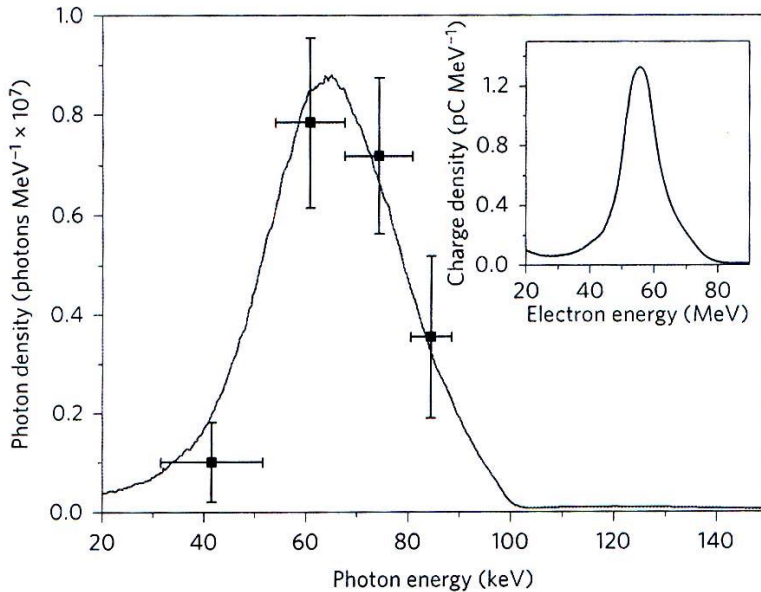


1) 10^{22} ph/s/mm²mrad²/0.1% bandwidth, 10 mrad, collimation of 4.5 mrad

X-ray phase contrast imaging of biological specimens with femtosecond pulses of betatron radiation from a compact laser plasma wakefield accelerator . S. Kneip, C. McGuffey, F. Dollar, M. S. Bloom, V. Chvykov et al. Appl. Phys. Lett. 99, 093701 (2011)

2) 3×10^{18} photons s⁻¹ mm⁻² mrad⁻² (per 0.1% bandwidth), 5–15 mrad. Quasi-monoenergetic and tunable X-rays from a laser-driven Compton light source N. D. Powers, I. Ghebregziabher, G. Golovin, C. Liu, S. Chen, S. Banerjee, J. Zhang and D. P. Umstadter* Nature photonics letters (Nov. 2013) p.1-4.

1)



-
-

2)

- A broad synchrotron like spectrum with average photon energy (critical energy) of Ecrit ,
- 10 keV like ESRF.

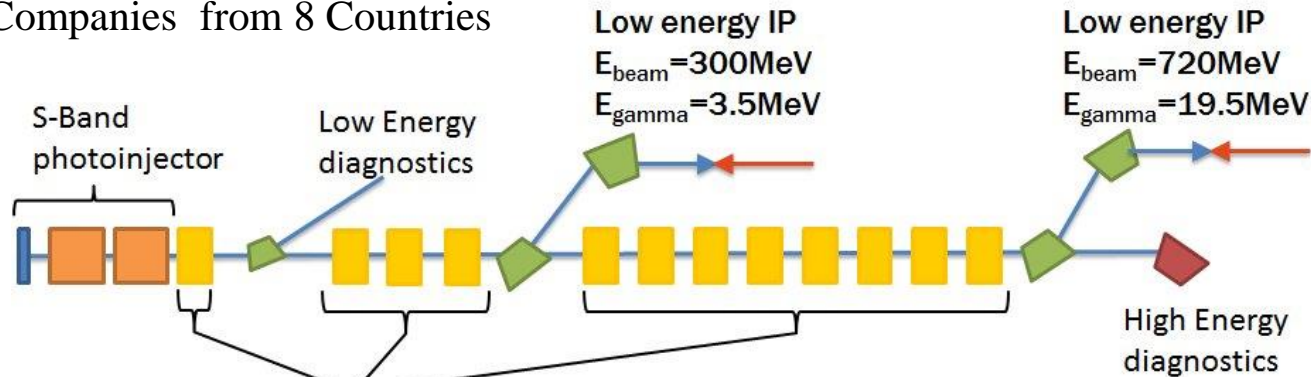
ELI-NP Gamma Beam System

Goal : building of the *most advanced Gamma Beam System in the world*

Solution : a collider based on the *most advanced* components: electron accelerator and lasers

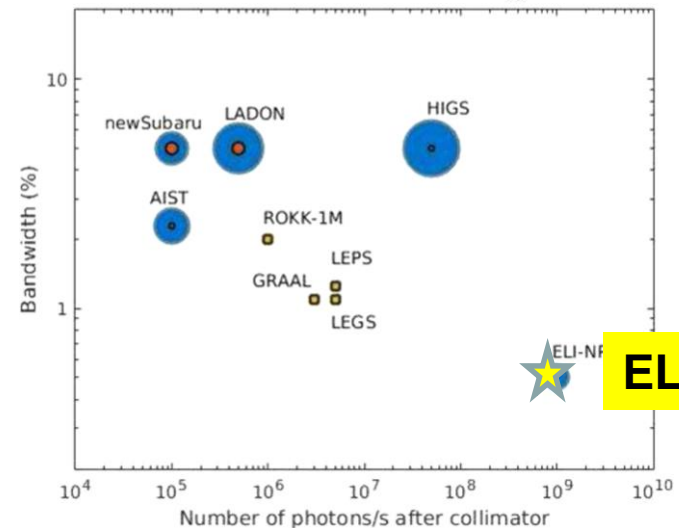
EuroGammas Consortium

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, INFN Italy, CNRS France, Research Institutes and HighTech Companies from 8 Countries



12 C-Band structures

Energy (MeV)	0.2 – 19.5
Bandwidth rms (%)	≤ 0.5%
photons/sec within FWHM bdw.	≤ 8.3 · 10 ⁸
Source rms size (mm)	10 – 30
Linear polarization (%)	> 99
Macro rep. rate (Hz)	100
# pulses per macro pulse	32
Pulse-to-pulse separation (nsec)	16



ELI-NP Scientific Program and Instruments

TDR's for Experiments completed and published

Experiments with High Power Laser System

- *Laser-driven nuclear physics*
- High-field QED experiments*
- Materials in extreme environments for energy, accelerators and space applications*
- Monitoring and control systems for experiments*

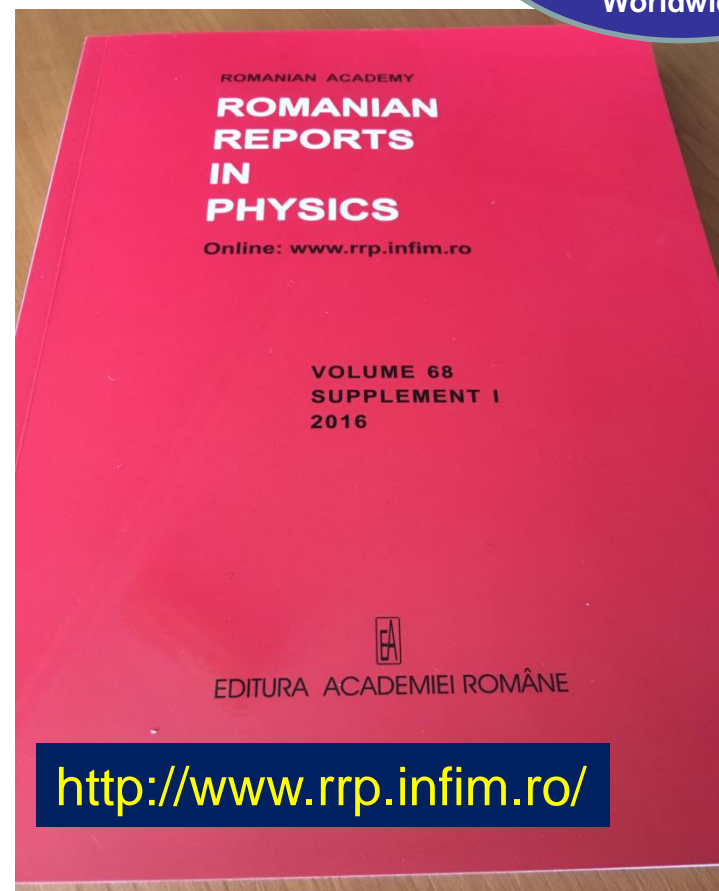
Experiments with Gamma Beam System

- Nuclear resonance fluorescence experiments*
- Gamma above neutron threshold*
- Photo-fission experiments*
- Charged-particle detection*
- Positron production by gamma beam*
- Gamma-beam industrial applications*
- Radioisotopes production for medical applications*
- Gamma-beam delivery and diagnostics*

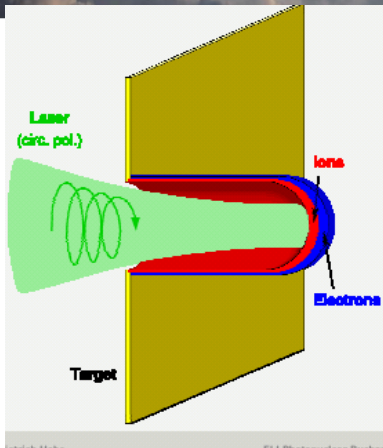
Combined laser-gamma experiments

International Working groups
3 international workshops in
2013-2014 and 2015
(more than 150 part)

>30 MoU's and
about 20 research
contracts with
major Laser and NP
labs and
Institutions (EU and
Worldwide)



Laser Driven Nuclear Physics



- field ~ TV/m
- $E_e \sim \text{Ten's of GeV}$
- $E_{\text{ion}} \leq 150 \text{ MeV/u}$
- charge ~ 10's of pC
- $DE/E \sim 1\text{-}2\% (e^-)$
 $\sim 10\text{-}20\% (\text{ion})$
- $e \sim 10^{-5} \text{ mm mrad}$

Electrons are expelled from the target due to the chock wave induced by the powerful laser .Heavy ions are accelerated in the field created by the electrons

Bunches of e- and ions at solid state densities **10^{24} e/cm^3**

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 photoexcitation 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 electrons, positrons, neutrons etc.
- Potential industrial, security, energy and medical applications



Program sessions:

- ELI-NP Gamma-Ray Facility and Research Program
- Ultrahigh Intensity Lasers & Nuclear Physics
A. Sergeev. Institute for Applied Physics Russia High-brilliance gamma ray sources enabled by Exawatt-scale Lasers,
SLAC National Accelerator Laboratory, Naval Research Laboratory Rice University.
- Accelerator--based Compton Sources, Triangle Universities Nuclear Laboratory
V.itvinenko, Stony Brook University High Flux Compton Gamma-ray Sources above 100 MeV.
- Photo--nuclear Physics,
TU Universität Darmstadt University, Photonuclear spectroscopy of discrete quantum states: basic principles, opportunities, and limitations .
- GWU Exploring Polarizabilities with the MAMI A2 Tagged Photon Beam
- Triangle Universities , Duke. Nucleon Structure Measurements at HIGS
- University of Cologne , Origin of Dipole Strength in Atomic Nuclei
- Max Planck Institute , Nuclear excitations on the keV and MeV energy scale.

-

Femtosecond laser facility at ILC MSU

Reaction chamber

- Wave length 800 nm,
- Impulse length 50 fs,
- Frequency 10 Hz,
- Pulse energy 50 mJ,
- Focus diameter 4 μm .

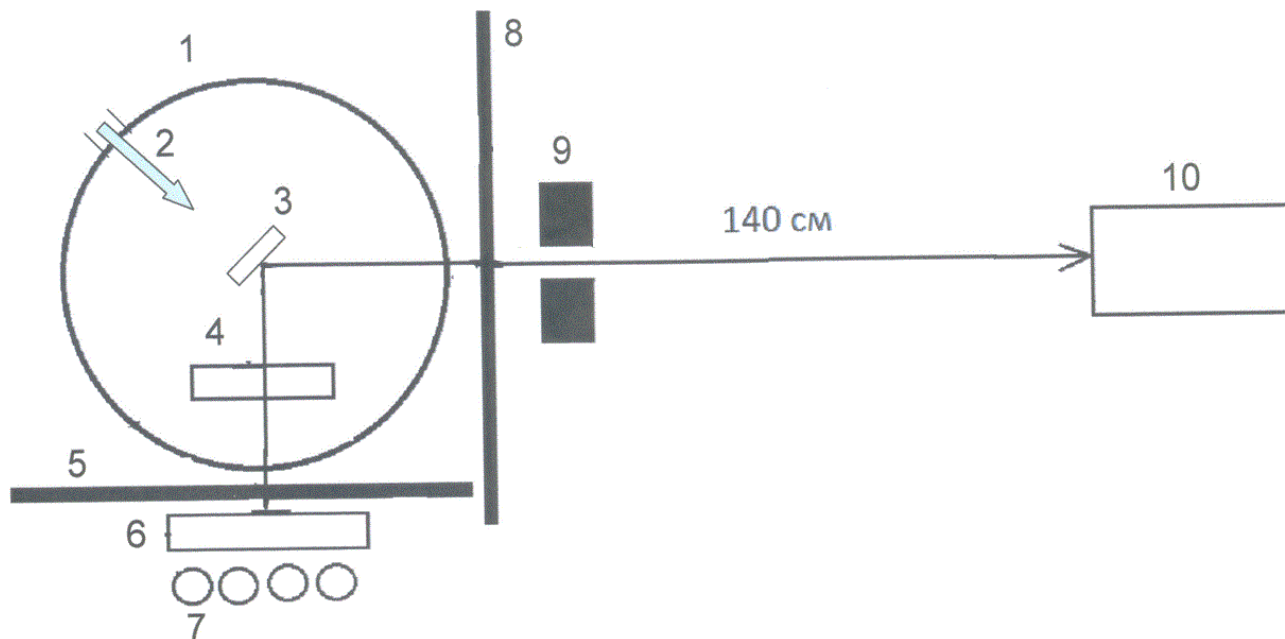
- Beam intensity on the target 10^{19} W/cm²,
- being equivalent to the electron
- quasi-temperature of ~ 1 МэВ.

- **Параллельно на ЛУЭ-8 ИЯИ РАН:**
- Ток электронов - 40 мкА,
- Длительность импульса -
- Частота повторения 50 Гц



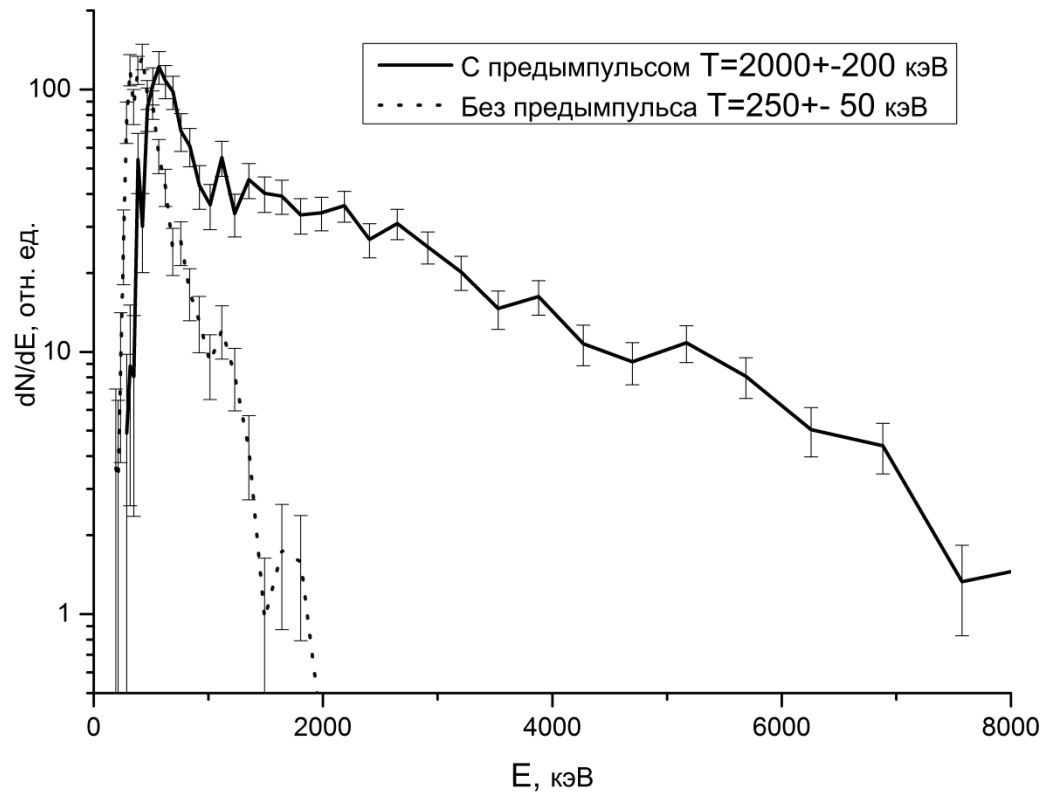
Исследование реакции $D(\gamma, n)H$ вблизи порога с использованием мощного фемтосекундного лазерного излучения, ЯФ, 80 (2017) 3, 1-5

И.Н.Цымбалов, Р.В.Волков, Н.В.Еремин, К.А.Иванов, В.Г.Недорезов, А.Пасхалов, А.Л.Полонский, А.Б.Савельев, Н.М.Соболевский, А.А.Туринге, С.А.Шуляпов

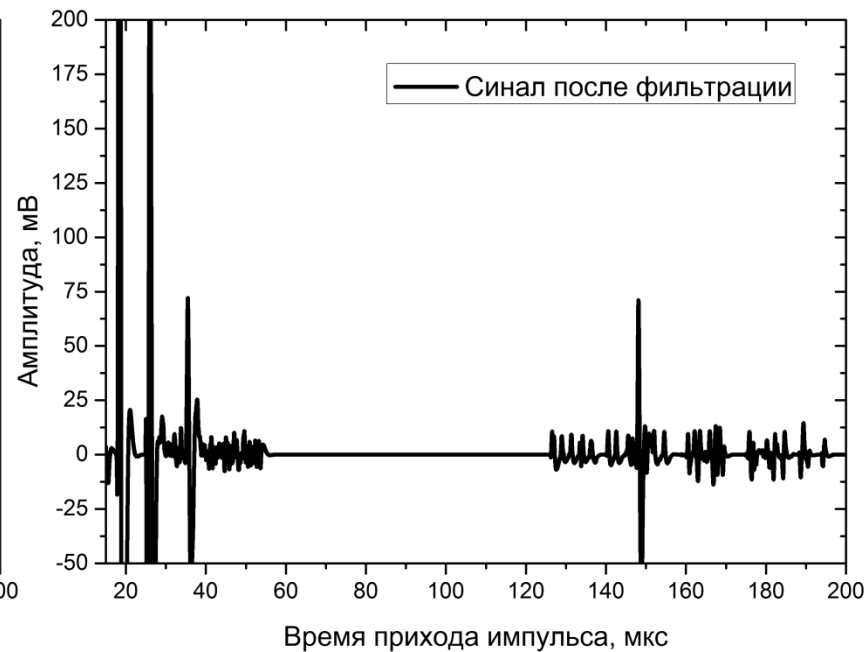
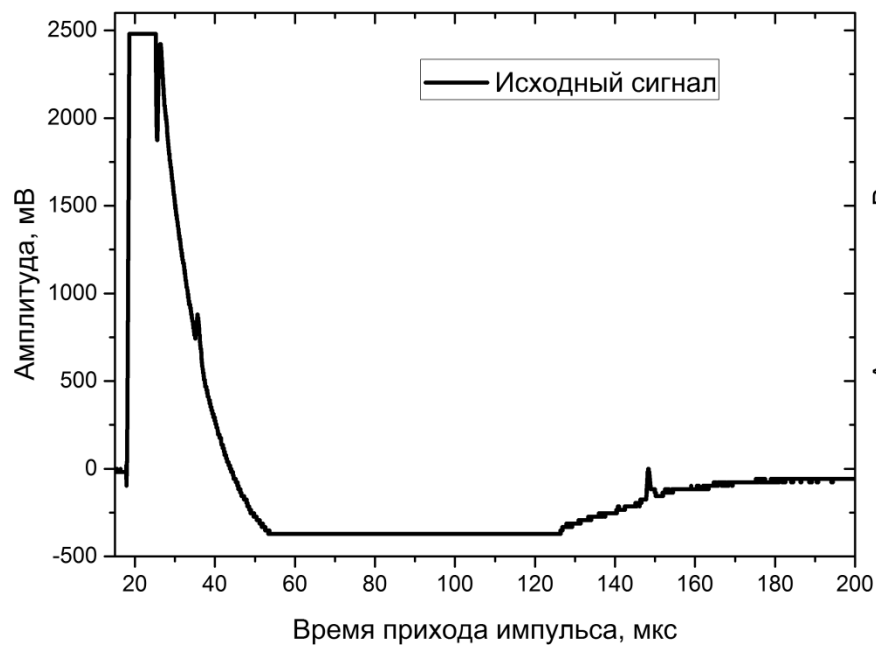


- Схема установки: 1 – вакуумная камера, 2 – пучок от лазера, 3 – мишень (пленка из майлара толщиной 200 мкм на вольфрамовой пластине толщиной 2 мм), 4 – контейнер с тяжелой водой (0,5 л) диаметром 20 мм, 5 – лист из свинца толщиной 8 мм, 6 – замедлитель из полиэтилена толщиной 5 мм, 7 – нейтронные счетчики СНМ-18 (10 шт), 8 – лист из свинца (8 мм) и вольфрама (6 мм), 9 – коллиматор из свинца диаметром 150 мм, толщиной 50 мм с отверстием (диаметр 3 мм), 10 – детектор гамма-квантов

Спектр гамма-квантов на W мишени с плёнкой из майлара,
сплошная кривая - с использованием Nd:YAG лазера,
пунктир – без него

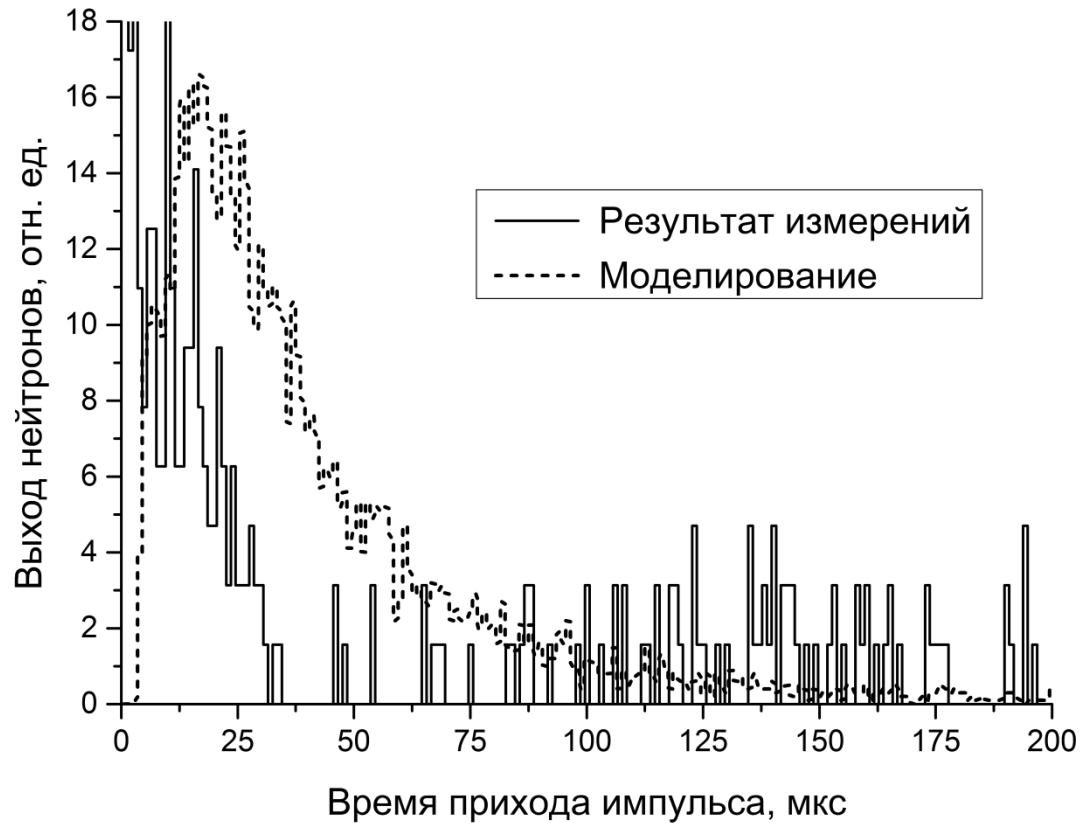


*Слева показан сигнал с нейтронных счетчиков СМ-18
без обработки, справа – после фильтрации.*



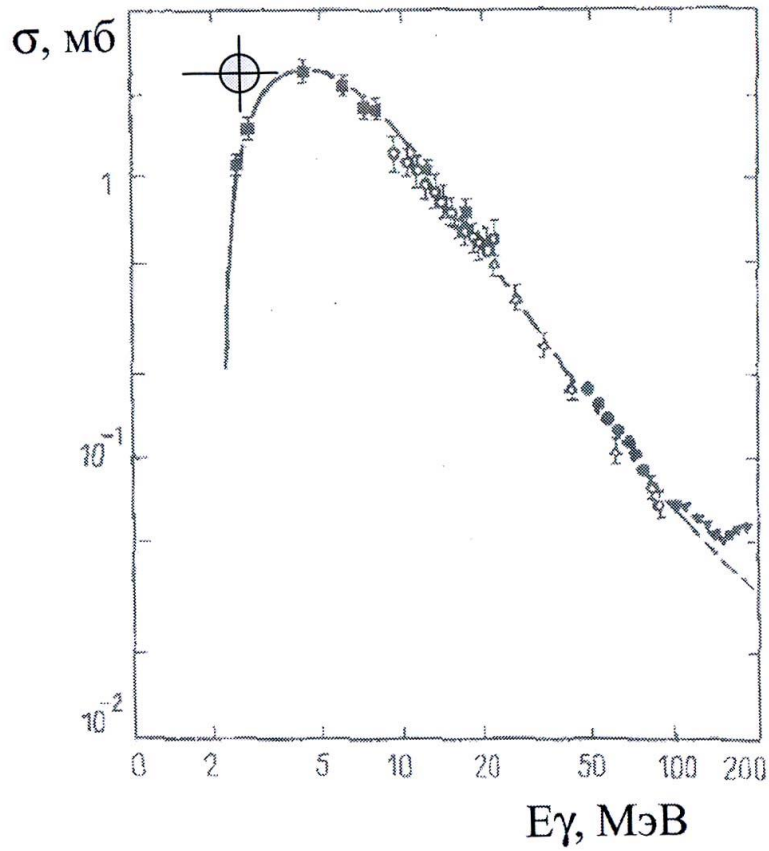
Временное распределение замедляющихся нейтронов: результат измерений и моделирования по программе LOENT

(*Low Energy Neutron Transport* – Н.М.Соболевский, ИЯИ РАН)



Сечение фоторасщепления дейтрона $\sigma_{\gamma n}$ в сравнении с

литературными данными. $Y_n(E_e, E_\gamma) = \int \sigma_{\gamma n}(E_\gamma) N_d N_\gamma \epsilon_n$



Генерация нейтронов

Текущие задачи

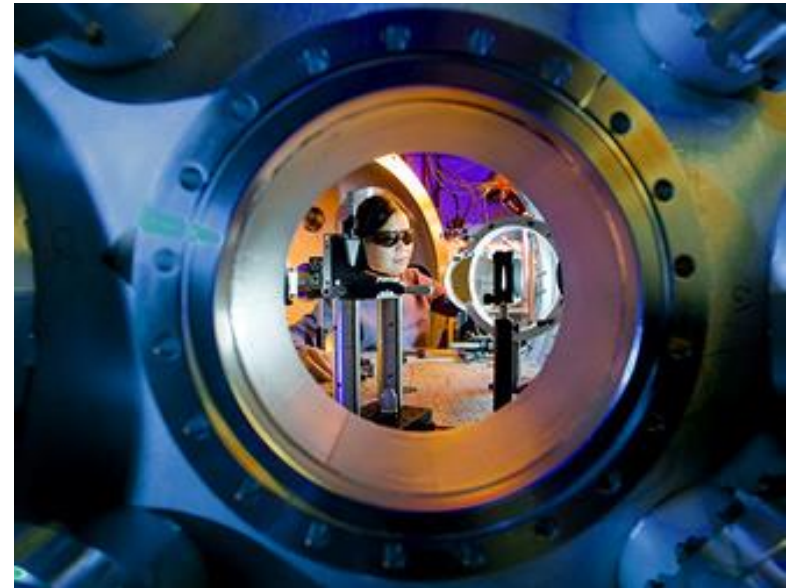
- Эффективность регистрации тепловых нейтронов в газовых счетчиках в условиях мощного лазерного импульса. Время замедления.
- Сцинтилляционный спектрометр нейтронов. Регистрация нейтронов в момент импульса с большой эффективностью.
- Запаздывающие нейтроны от ядер – актинидов.

Исследование генерации позитронов под действием фемтосекундных лазерных импульсов.

- **Задачи:**
 - **поиск рождения e^+e^- пар в вакууме**
 - **Поиск зеркальной темной материи**
 - **Источник антивещества**
 - **Инжекционный комплекс: «фабрика» позитронов ИЯФ, Новосибирск**
 - **Позитронная спектроскопия и томография**
- Экспериментальные данные по **поиску рождения e^+e^- пар в вакууме** отсутствуют. Теоретические работы предсказывают недостижимые на сегодняшний день напряженности электрического поля, требующие мощности лазера порядка 10^{29} Вт/см² (см., например, Н. Б. Нарожный, А. М. Федотов. Квантово-электродинамические каскады в интенсивном лазерном поле, УФН (2015) , 185. 103
- На встречных лазерных пучках достаточно мощности лазера порядка
- 10^{26} Вт/см²

Источник антивещества: Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL)

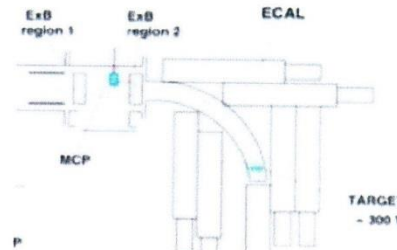
- Мы вступили в новую эру, -- пишет физик из LLNL Питер Бейерсдорфер (Peter Beiersdorfer). – Мы сейчас можем смотреть на антивещество, почти как если бы оно лежало у нас на ладони. Нам кажется, что следствием нашей работы станет строительство целого центра по исследованию антивещества, который будет использовать лазер как фабрику по производству дешевой антиматерии». Уже сейчас, по мнению исследователей, возможность получения большого количества позитронов в маленьких лабораториях открывает новые возможности для самых разных исследований и открытий.
- Понятия «маленькая» и «дешевая» у физиков, кстати, весьма специфические. В эксперименте использовалась не какая-нибудь лазерная указка, а импульсный петаваттный лазер TITAN (пета – 10¹⁵, то есть миллион миллиардов). Лазерный комплекс занимает несколько комнат и стоит более \$10 млн. А мощность его импульса в более чем тысячу раз превосходит мощность электроэнергии, производимой всеми электростанциями США. Однако рядом с традиционными ускорителями, в которых сейчас массово получают позитроны, TITAN действительно выглядит крошкой. Например, длина основного кольца Большого адронного коллайдера, который у всех на слуху, – около 27 км, а общая стоимость этого проекта превышает \$8 млрд.
- 1 Кулон = 1.6 * 10¹⁹ позитронов



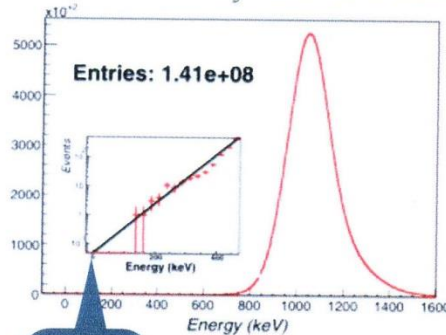
Задачи:

AN EXPERIMENT TO SEARCH FOR MIRROR DARK MATTER

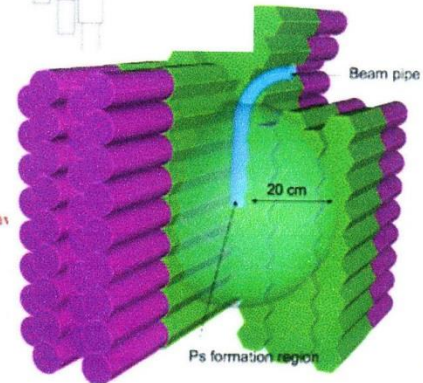
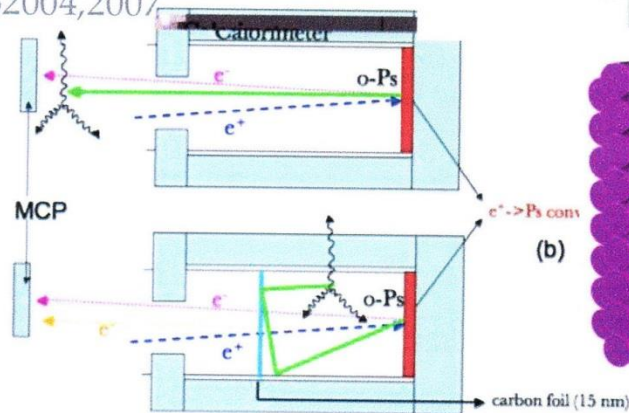
- o-Ps \rightarrow invisible mode P.Crivelli et al. "A new exp. to search for mirror dark matter", arXiv:1005.4802.v4[hep-ex]
- Background level - 10^{-7}
- $10^4 e^+ / s$, $T_{exp} - 10^6 s$



BADERTSCHER *et al.* PhysRevD.75.032004,2007



Signal



Литературные данные по коэффициентам конверсии при низких энергиях

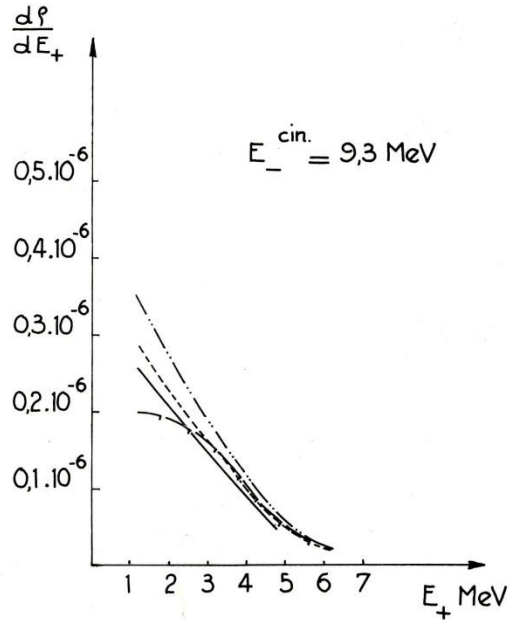
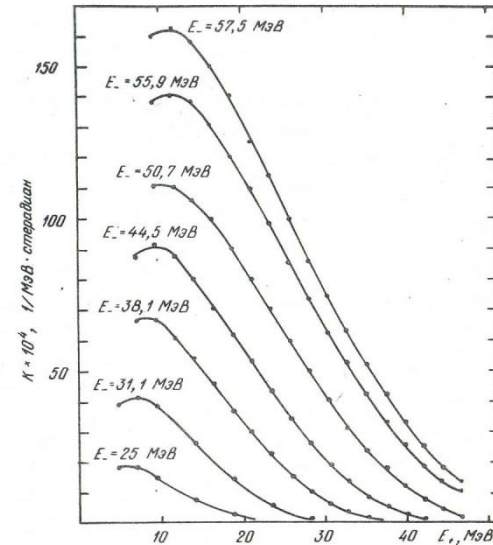


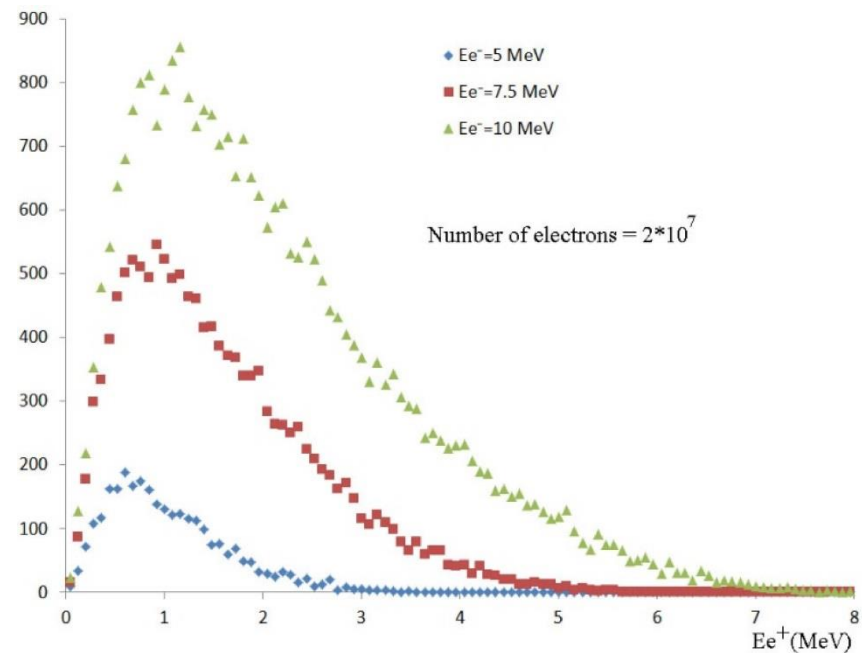
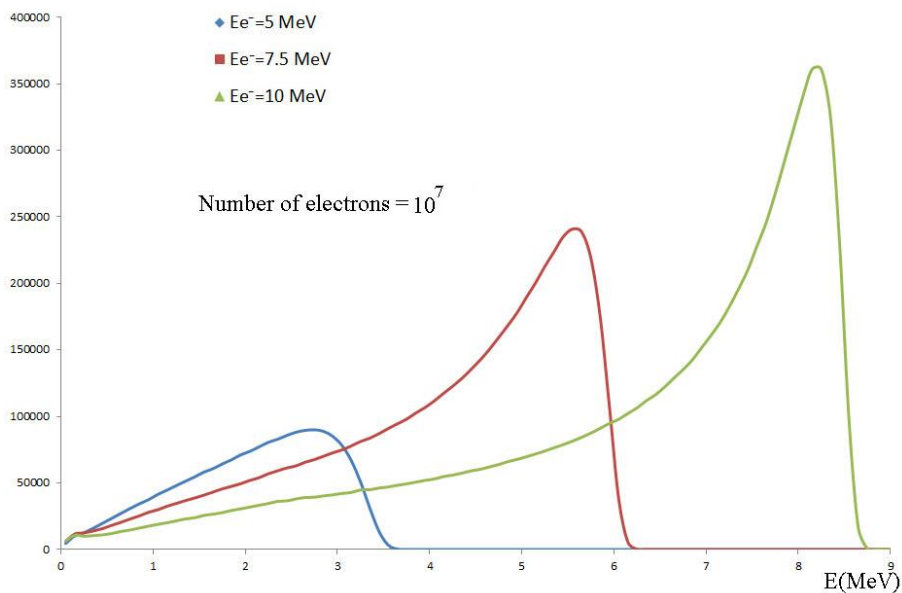
Fig. 4 - RENDEMENT ($e^{-} \rightarrow e^{+}$) PAR BANDE DE 1 MeV DANS $5,4 \times 10^{-3}$ STERADIAN



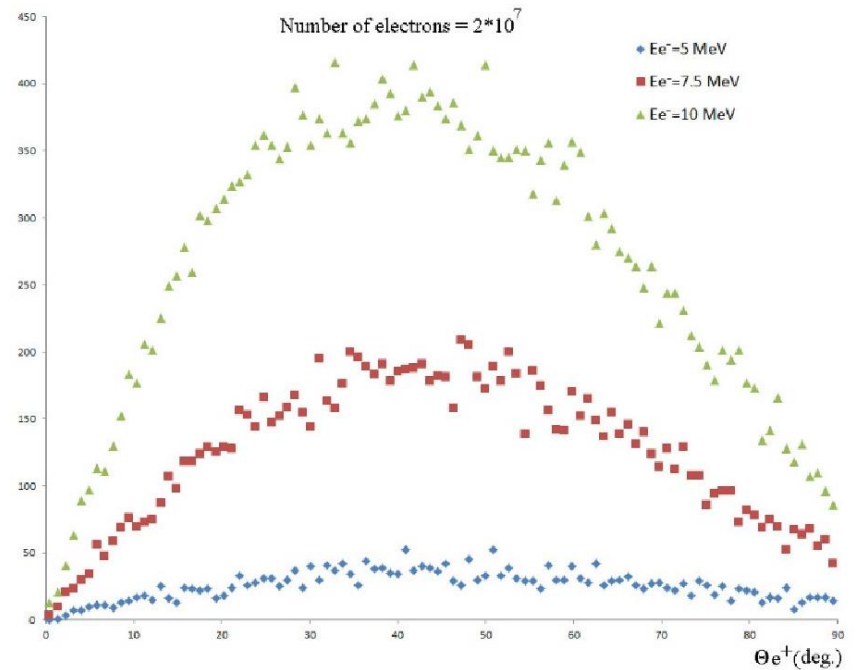
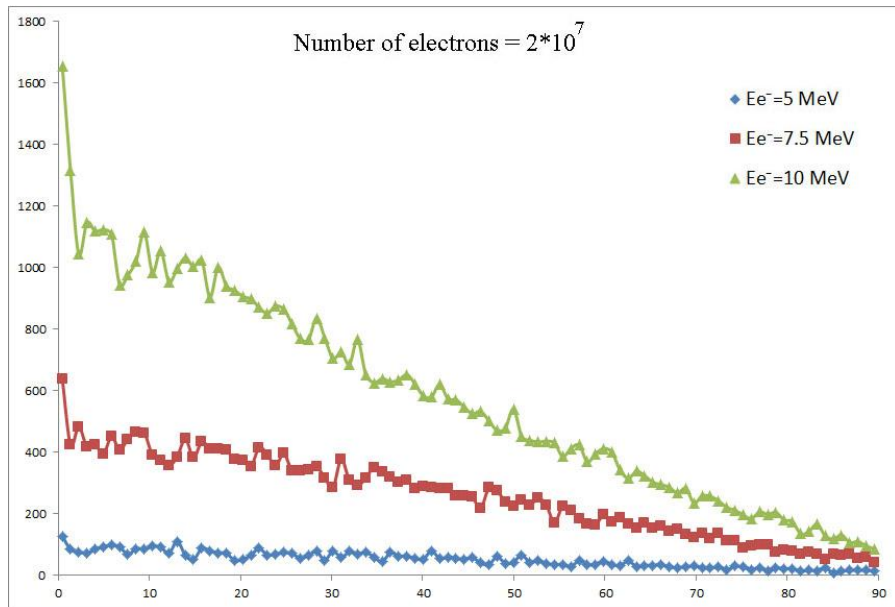
Р и с. 1. Зависимости дифференциального коэффициента конверсии K от энергии позитронов при различных энергиях электронов для танталовой мишени толщиной $T \approx 1,3 X_0$

- Работы на ускорителях по изучению конверсии электронов в позитроны были ранее проведены во Франции в Сакле (M. Bernardiny e.a. Rapport CEA 2212 (1964) и ИЯИ РАН (Л.З.Джилаван, Кр.сообщения ФИАН, 8, 37 (1979)) при энергиях электронов выше 10 МэВ. Слева – спектр позитронов, образующихся при конверсии электронов с энергией 9,3 МэВ. Справа – зависимость коэффициента конверсии от энергии электронов. Других данных при более низких энергиях электронов нет.

Энергетические распределения электронов и позитронов из вольфрамовой мишени толщиной 0.8 мм. Моделирование по программе GEANT-4



Угловые распределения электронов и позитронов
из вольфрамовой мишени толщиной 0.8 мм.
Моделирование по программе GEANT-4

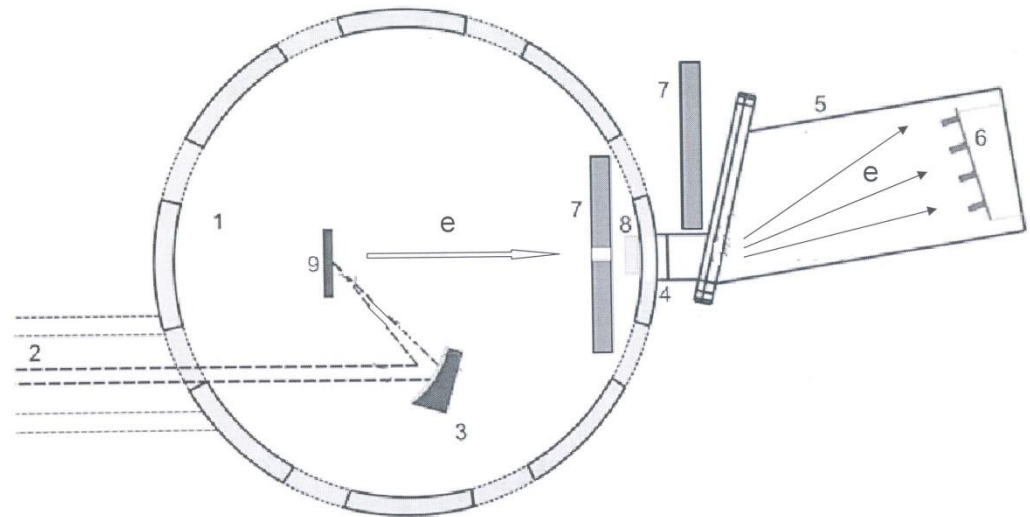


Магнитный спектрометр для детектирования электронов и позитронов в экспериментах на фемтосекундном лазере

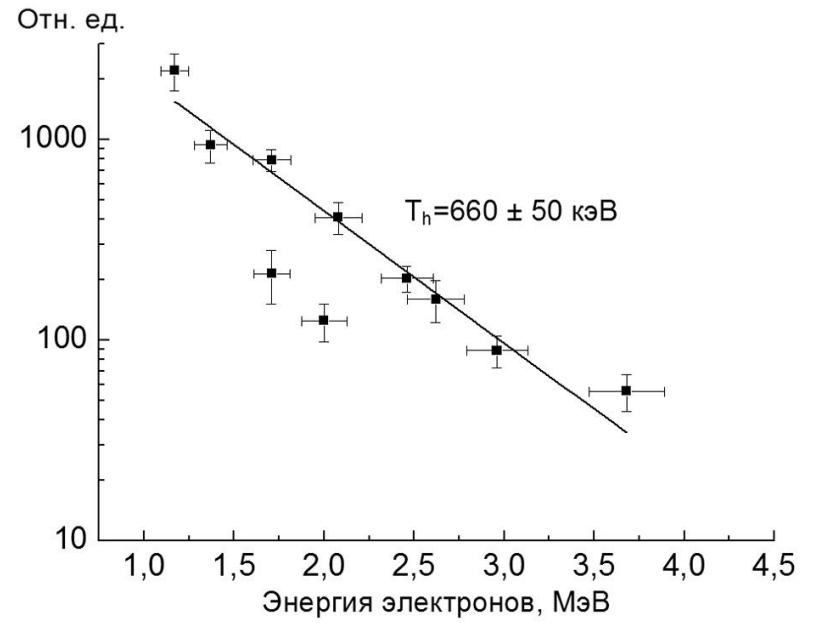
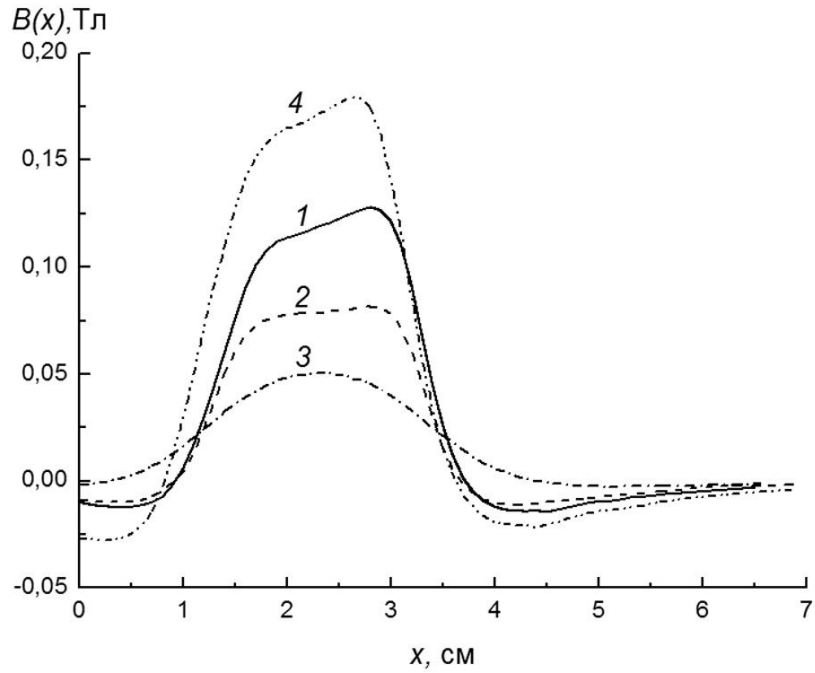
А.В. Русаков, К.А. Иванов, Н.А. Борисов, И.Н. Цымбалов, Д.А. Горлова, А.М. Лапик, А.С. Ларькин,
В.П. Лисин, И.М. Мордвинцев, А.Н. Мушкаренков, В.Г. Недорезов,
А.Л. Полонский, А.Б. Савельев-Трофимов, А.А. Туринге, ПТЭ, 2017, в печати.

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.

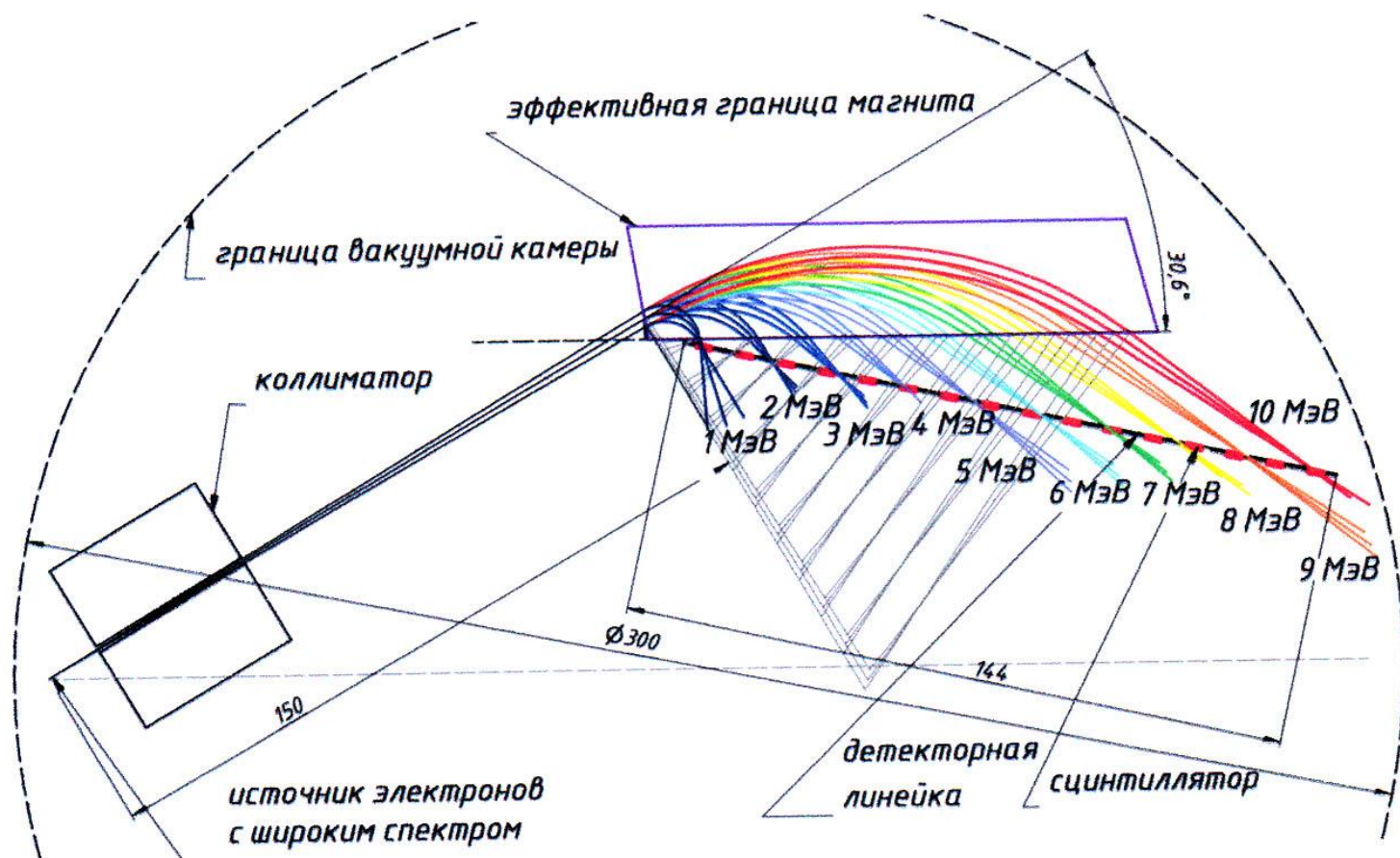


Измеренный спектр электронов



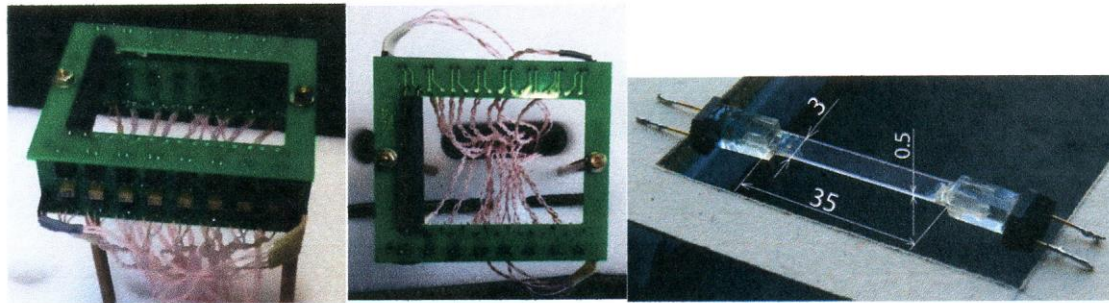
Моделирование магнитной системы (Л.Овчинникова, НИИЯФ МГУ): динамический диапазон: 1 – 10 МэВ

число частиц в импульсе в направлении магнита после коллимации – 10^4 /сек



Детектирующие линейки на основе пластиковых сцинтилляторов и кремниевых ФЭУ

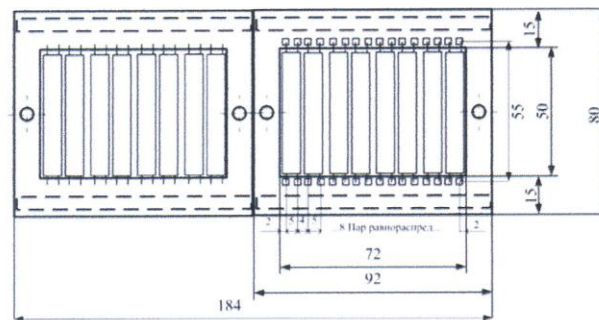
А.Русаков, ИЯИ РАН



(а)

«Рамка»

(б)



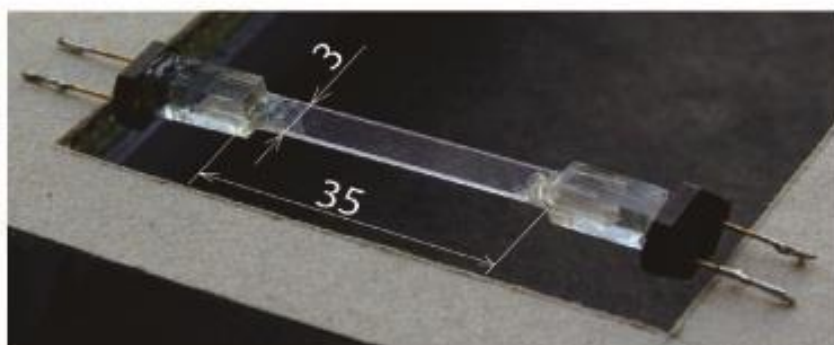


Рис.2. Элемент детектора:

1) кремниевые ФЭУ MicroSC-30035 корпус X13 производства SensL, 2) пластики типа BC-404 производства Vicron Saint Gobain Industrial Ceramics, Inc. 0.5мм

Изготовлено:

- 1) Платы несущие с усилителями по 16 шт. 6 комплектов
- 2) Буферные модули
- 3) Кабели.

Генерация позитронов :

текущие задачи

- поиск рождения e^+e^- пар в вакууме
 - Поиск зеркальной темной материи
 - Источник антивещества
 - Инжекционный комплекс: «фабрика» позитронов ИЯФ, Новосибирск
 - Позитронная спектроскопия и томография
-
- Измерение коэффициентов e^-e^+ конверсии при низких энергиях.
В соответствии с результатами моделирования ожидаемый выход позитронов может составить до 10^6 /s на лазере и 10^9 /s на ускорителе .

Фотоядерные реакции вблизи порога Пигми-резонанс

Radiative strength function and the pygmy dipole resonance in ^{208}Pb and ^{70}Ni
O.I. Achakovskiy, S.P. Kamerdzhiyev, V.I. Tselyaev. JETP Lett., 104(2016) 6, 374.

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

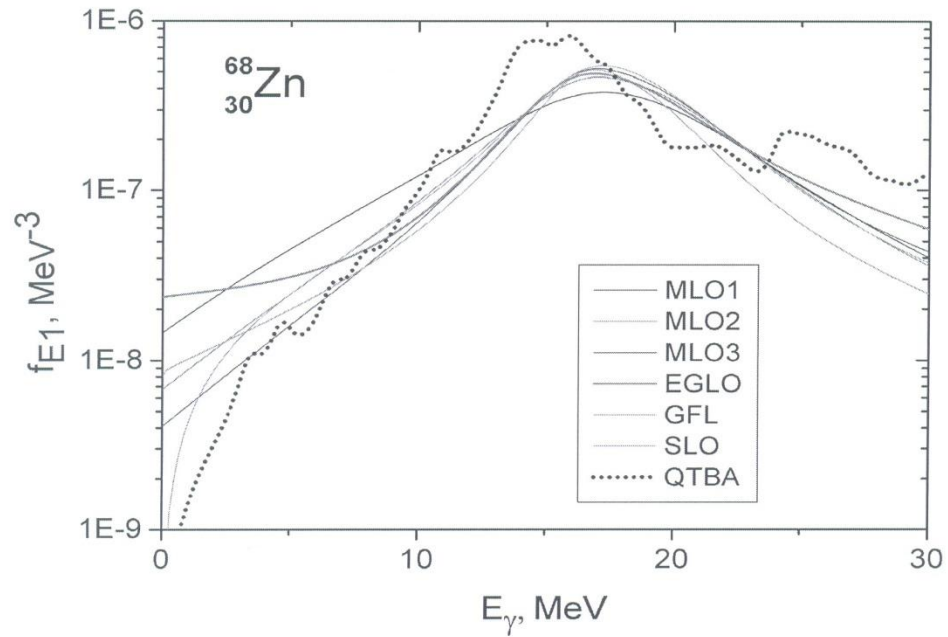
1.Новая (?) физика в области энергий
ПДР:

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

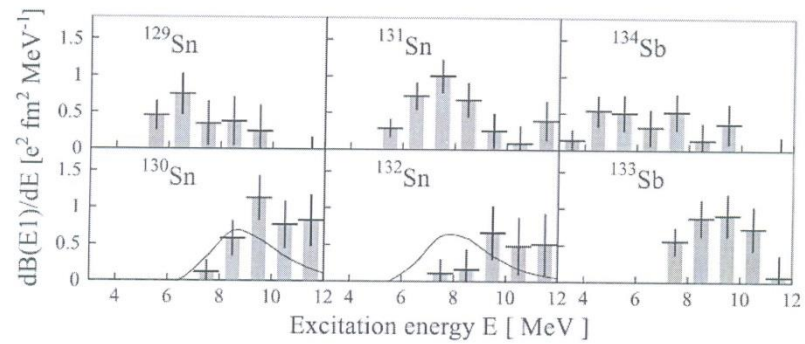
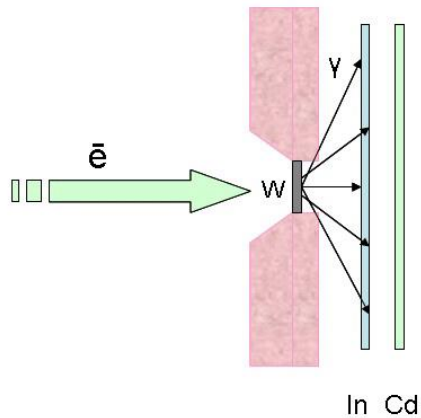


Fig. 18. Pygmy dipole strength distribution $\frac{dB(E1)}{dE}$ obtained for unstable Sn and Sb isotopes [64] with odd-neutron number (upper row) and with even-neutron number (bottom row). The solid lines show results for $^{130,132}\text{Sn}$ from the RQRPA calculation with a particular choice of the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

Фотоядерные реакции вблизи порога Эксперименты на ЛУЭ-8 МэВ ИЯИ РАН

Исследование фотоядерных реакций (γ, γ) и (γ, n) на ядрах W, In, Cd и др.
в области энергий до 7.5 МэВ, ЯФ ,2017 ,в печати.



N	Образец	U, Вольт	I, мкА	t_облуч., сек	L от W, см	Диам, см	Толщ, см	Вес, г
1	Cd-1	250	40	1800	1.85	3.2	0.1	2.26
2	Cd-2	220	14	1800	1.85	3.2	0.1	2.32
3	Cd-3	200	35	1800	1.85	3.2	0.1	2.50
4	Cd-4	180	16	2100	1.85	3.2	0.1	2.44

Конверсионная тормозная мишень – W толщиной 0,4 мм

Диаметр пучка на мишени – 8 мм

Длительность импульса – 3 мкс

Частота повторения – 50-100 Гц

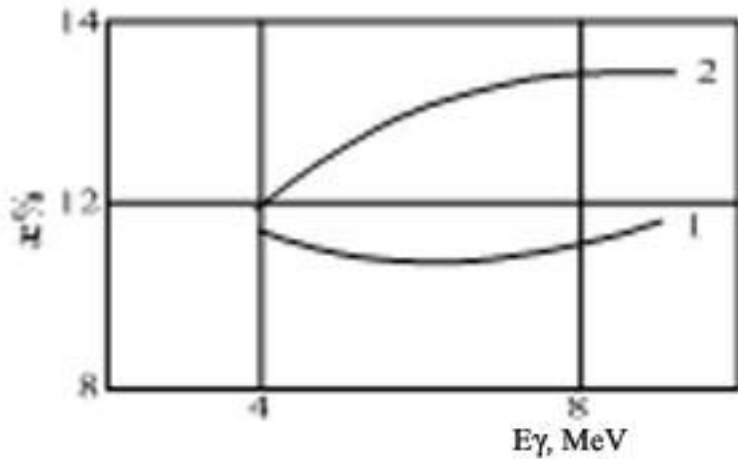
Расчет изомерных отношений для реакций $^{150}\text{In}(\gamma, \gamma')^m$ и $^{180}\text{Hf}(\gamma, \gamma')^m$
 для дипольных (1) и квадрупольных (2) переходов
 Л.З.Джилавян, В.Л.Кауц, В.И.Фурман, А.Ю.Чуприков. ЯФ 51(1990)336-344.

Вероятность радиационного перехода $i \rightarrow f$ на основе модели Ферми газа:

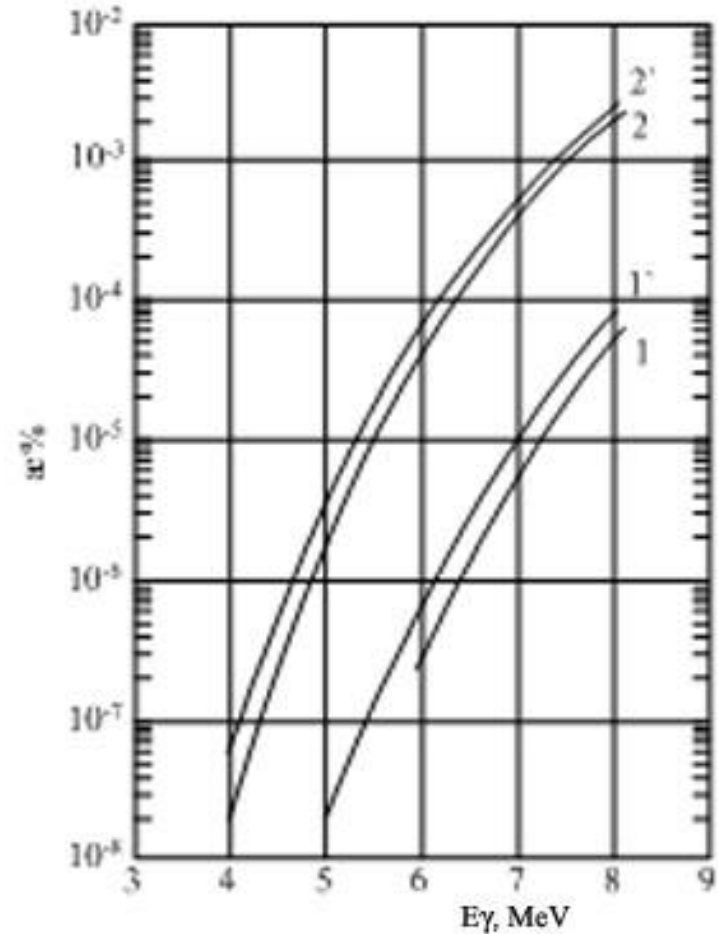
$$dw = (\Gamma_{i \rightarrow f} / \Gamma_{i \text{ tot}}) \cdot \rho\{E_f, J_f, \pi_f\} \cdot dE_f,$$

где $\rho\{E_f, J_f, \pi_f\}$ – плотность состояний f , $\Gamma_{i \rightarrow f}$ и $\Gamma_{i \text{ tot}}$ – парциальная радиационная и полная ширина уровня i .

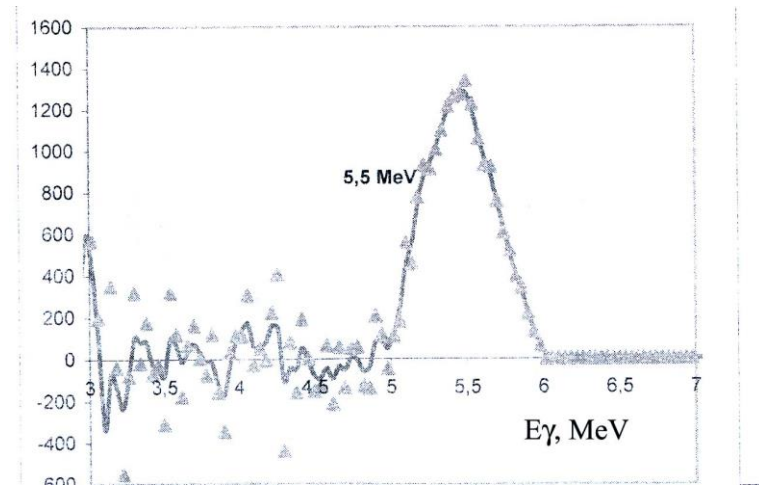
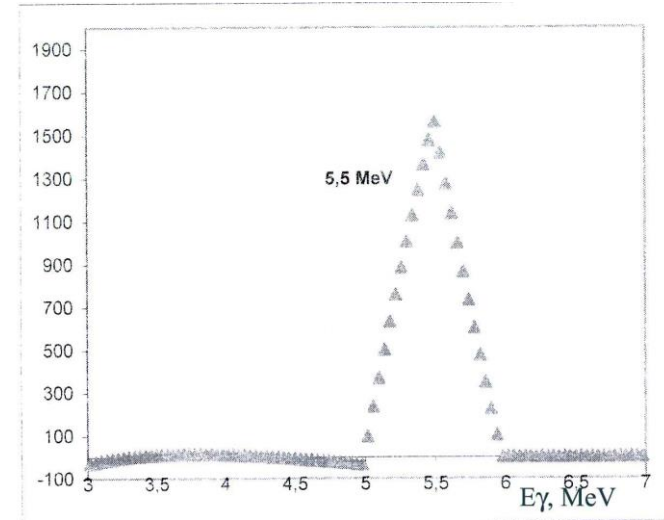
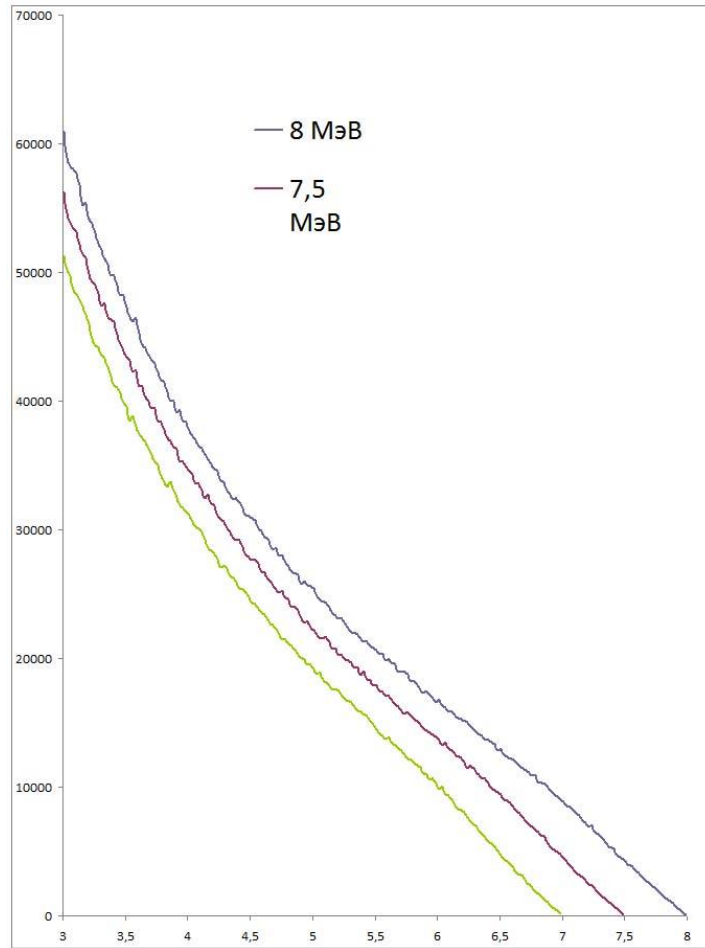
$^{150}\text{In}(\gamma, \gamma')^m$



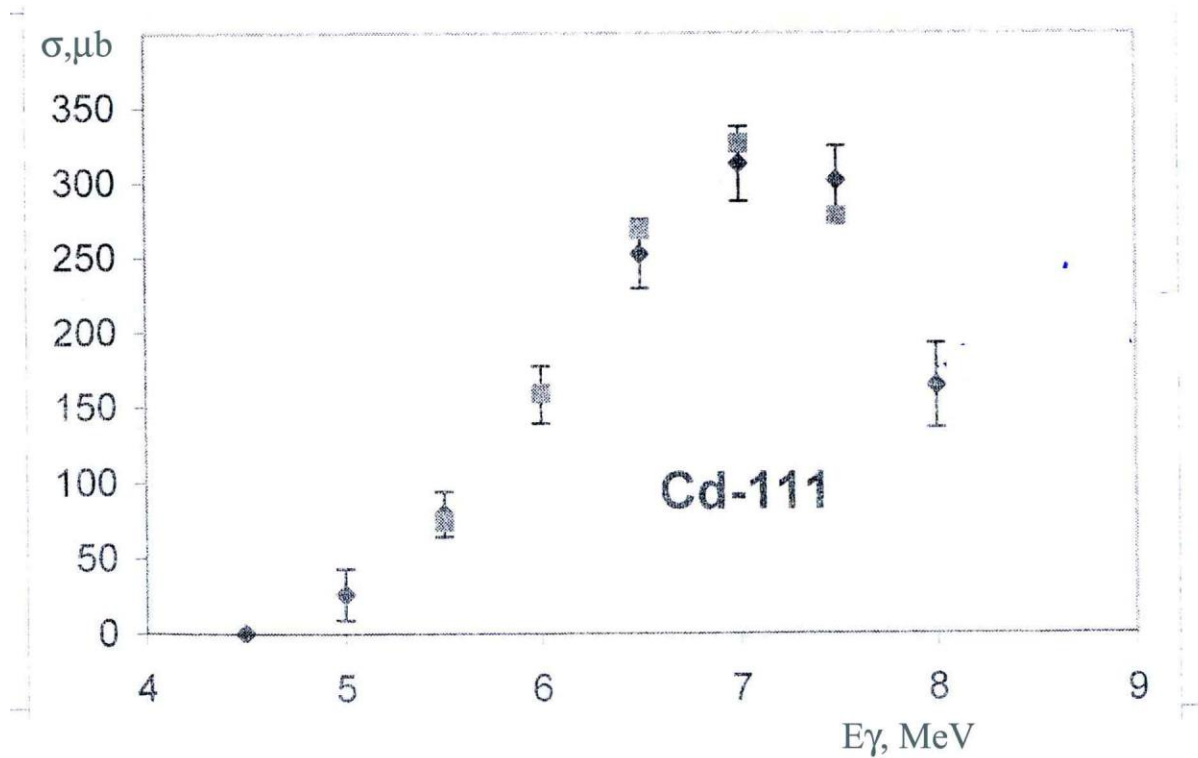
$^{180}\text{Hf}(\gamma, \gamma')^m$



Метод квазимонохроматизации тормозного пучка :
моделирование по GEANT-4 Е. Van Camp e.a. Phys.ReV. C 24 (1981) 2499



Сечение возбуждения изомера ^{111}Cd ,
кружки с ошибками – данные работы Мазура В. [КИЯИ-88-13(1988)],



Элемент	Изомер	Содержание	$T_{1/2}$	E_{γ} , кэВ
Sr	^{87m}Sr	0.07	2,8 час	388
Rh	^{103m}Rh	1.0	56 мин	40
Ag	^{107m}Ag	0.518	44 с	94
Cd	^{111m}Cd	0.128	49 мин	247
In	^{113m}In	0.043	105 мин	392
In	^{115m}In	0.957	4,5 час	335
Ba	^{137m}Ba	0.112	2,6 мин	661
Lu	^{176m}Lu	0.026	3,7 час	89
Hf	^{179m}Hf	0.137	19 с	379
Pt	^{195m}Pt	0.338	4,1 дня	130
Hg	^{199m}Hg	0.168	44 мин	368

Cd-111 1/2+ Cd-111^m 11/2 -

In113 9/2+ In113^m 1/2 -

In-115 9/2+ In115^m 1/2-

$$E_{\gamma}^{\text{eff}} = \frac{\sum \Phi_i(E_e, E_{\gamma}^i) \cdot E_{\gamma}^i}{\sum \Phi_i(E_e, E_{\gamma}^i)}$$

Элемент	S, отсчеты	Эффектив- ность реги- страции	E_{γ}^{eff}	$\sigma(E_{\gamma}^{\text{eff}}),$ мкб	$Y,$ 10^3	$\sigma_q,$ 10^{-19}
¹¹¹ Cd	211914	0.099	5.4	12.8 ± 2	4.53	6.5
¹¹³ In	43400	0.116	5.4	26.7 ± 3	2.44	9.3
¹¹⁵ In	593087	0.076	5.4	24.5 ± 3	73.0	12.8

Изомерные отношения для реакций с возбуждением высокоспиновых изомеров (состояний с большой разницей спинов) чувствительны к вносимому в ядро угловому моменту. Переход в фотопоглощении от E1 к E2 должен приводить к возрастанию изомерного отношения для ядер золота примерно ~10 раз. Для легких ядер данные отсутствуют. Теоретических работ практически нет.

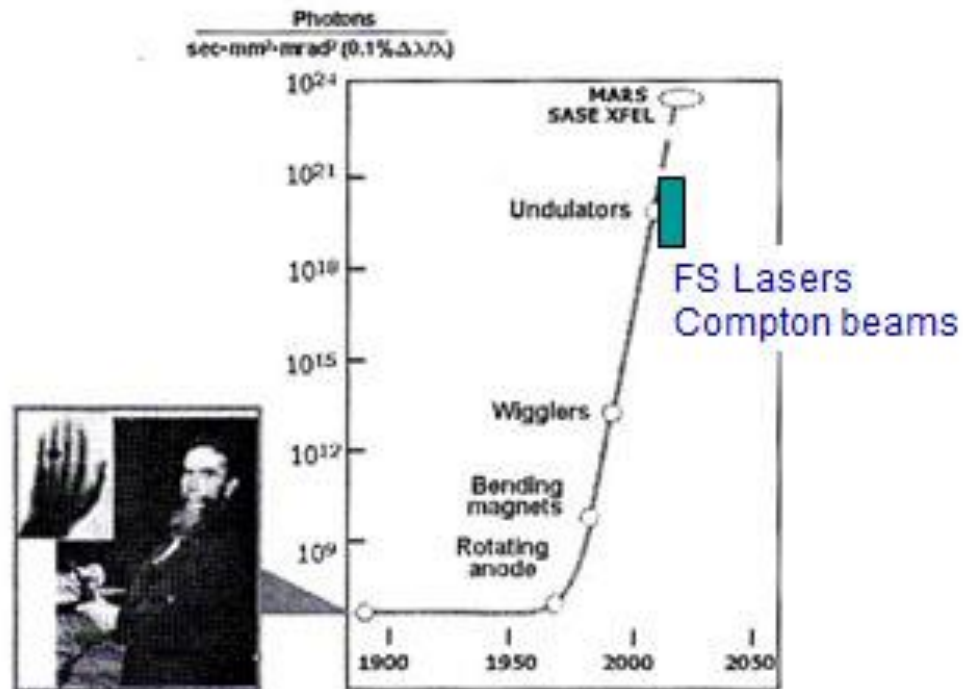
Фотоядерные реакции вблизи порога

Текущие задачи

- Полные сечения фотопоглощения ядер вблизи порога. Пигми – резонансы в (γ, γ) и (γ, n) реакциях.
- Сечения возбуждения высокоспиновых изомеров. Вклад переходов с высокой мультипольностью.
- Запаздывающие нейтроны от ядер – актинидов..

Метод фазового контраста при получении рентгеновских изображений

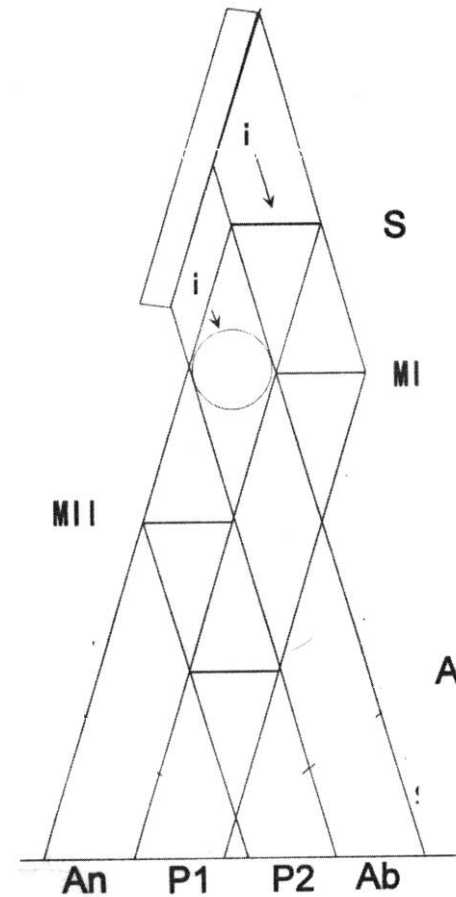
Synchrotron radiation at storage rings Brightness and total intensity



X-Ray imaging: Three color optics

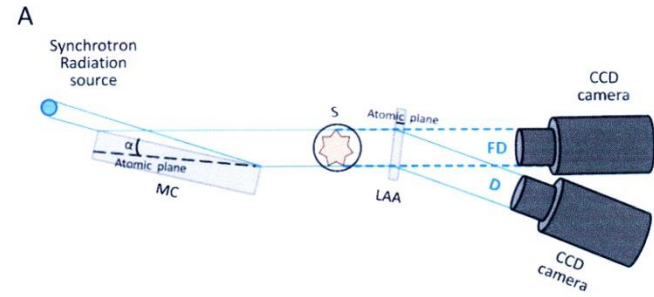
Medical Applications of Synchrotron Radiation / Eds M. Ando, C. Uyama. Tokyo, 1998

- *Simultaneously:*
- *Absorption (Ab)*
- *Refraction (An - “Dark field”)*
- *Phase contrast (P1,P2),*
- *S – splitter*
- *MI, MII – mirrors*



M.Ando e.a. Crystal analyser-based X-ray phase contrast imaging in the dark field: implementation and evaluation using excised tissue specimens

European Radiology (2013) ISSN 0938-7994

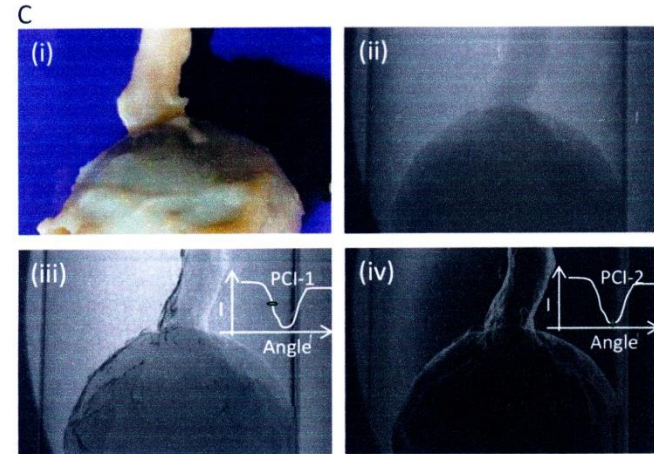
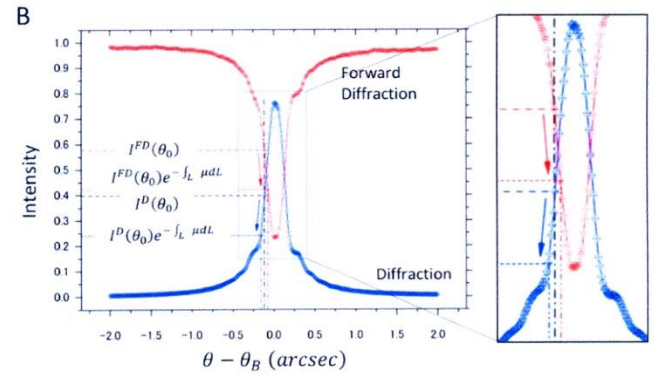


Objectives: the soft tissue discrimination capability of X-ray dark-field imaging (XDFI) using a variety of human tissue specimens.

Methods: The experimental setup for XDFI comprises an X-ray source, an asymmetrically cut Bragg-type monochromator-collimator (MC), a Laue-case angle analyser (LAA) and a CCD camera. The specimen is placed between the MC and the LAA. For the light source, we used the beamline BL14C on a 2.5-GeV storage ring in the KEK Photon Factory, Tsukuba, Japan.

Results: In the eye specimen, phase contrast images from XDFI were able to discriminate soft-tissue structures, such as the iris, separated by aqueous humour on both sides, which have nearly equal absorption. Superiority of XDFI in imaging soft tissue was further demonstrated with a diseased iliac artery containing atherosclerotic plaque and breast samples with benign and malignant tumours. XDFI on breast tumours discriminated between the normal and diseased terminal ductal unit and between invasive and in-situ cancer.

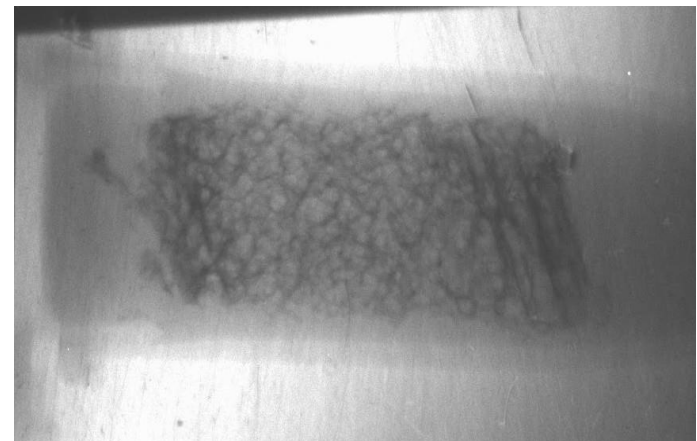
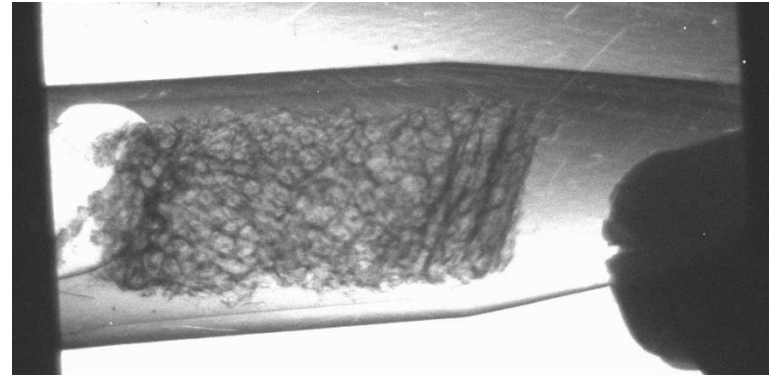
Conclusions: X-ray phase, as detected by XDFI, has superior contrast over absorption for soft tissue processes such as atherosclerotic plaque and breast cancer



K.M.Podurets, D.K.Pogorelyi, A.A.Manushkin, V.G.Nedorezov, V.A.Somenkov, S.A.Shchetinkin, N.K.Kononov and A.P.Kuvarina, Experiments on Refraction Imaging of Biological Objects at the Kurchatov Synchrotron Radiation Source,

Crystallography Reports Vol. 49, Suppl. 1, 2004 p.50-54) .

- Угловое отклонение пучка на
- границе воздух—объект в
- приближении геометрической
- оптики :
- $$\delta\alpha = (1 - n) \cdot \text{ctg}\alpha$$
-
- Изменение коэффициента
- преломления на границе
- органической ткани с воздухом:
- $$(1 - n) = 1.5 \cdot 10^{-6} \lambda^2$$



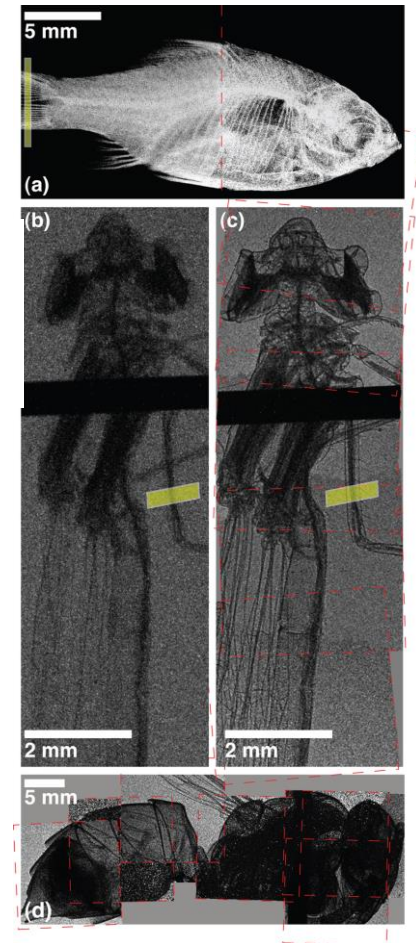
X-ray phase contrast imaging of biological specimens with femtosecond pulses of betatron radiation from a compact laser plasma wakefield (кильватер) accelerator

S. Kneip, C. McGuffey, F. Dollar, M. S. Bloom, V. Chvykov et al.

Appl. Phys. Lett. 99, 093701 (2011)

- X-ray absorption contrast image of
- a - an orange tetra fish
- b- a damselfly
- [u=2,79 m]
- x-ray phase contrast image of
- c- a damselfly
- d - a yellow jacket.
- [u = 0,44 m] $L_{\text{trans}} - 10 \mu\text{m}$
- Images are taken with betatron radiation from a laser wakefield accelerator. The spectrum is synchrotron like with $E_{\text{crit}} \sim 10 \text{ keV}$.
- The phase contrast images are taken in a single shot 30 fs exposure.

$$L_{\text{trans}} = \frac{\lambda u}{2\pi w_{x,y}},$$



Заключение

- Ядерная фотоника – новое научное направление или традиционные фотоядерные исследования при низких энергиях вблизи порога ?
Метод обратного комптоновского рассеяния на накопителях электронов с длинноволновыми лазерами.
Фазовый контраст рентгеновских изображений. Прикладные задачи.
- Есть ли преимущества новых методов, основанных на использовании фемтосекундных лазеров, по сравнению с традиционными ускорительными экспериментами ?
Энергия пучка, монохроматичность, интенсивность, эмиттанс, скважность, стабильность, стоимость.
Высокий темп ускорения, мобильность и компактность.
- Новые гамма - источники созданы как на традиционных ускорителях, так и фемтосекундных лазерах. Они позволяют решить ряд прикладных задач, включая проблему ядерного нераспространения.