

Миниатюрные ускорители заряженных частиц и источники РИ, их применения и перспективы развития

16.04.2021

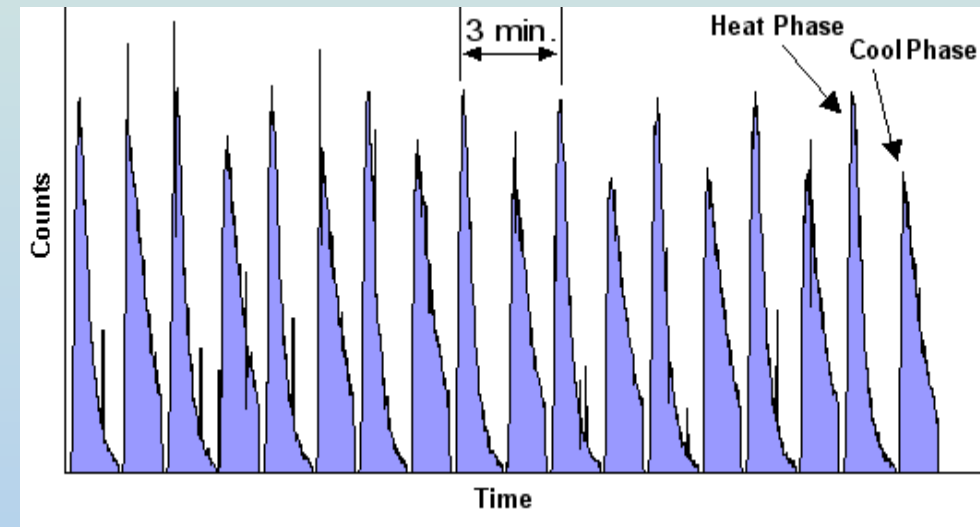
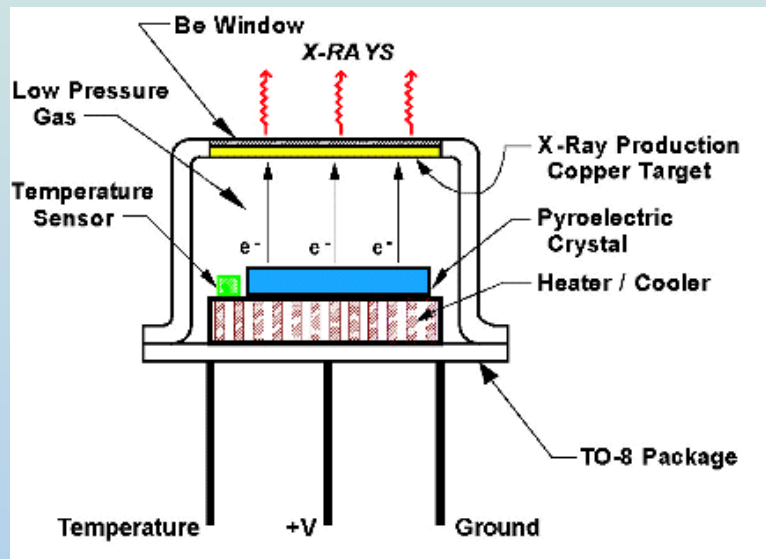
Иващук Олег Орестович

НИУ «БелГУ»

Стандартная схема работы пироисточника

Brownridge, J.D. Pyroelectric x-ray generator / J.D. Brownridge // Nature. – 1992. – Vol. 358. – P. 277-278.

<https://www.amptek.com/internal-products/cool-x-pyroelectric-x-ray-generator>

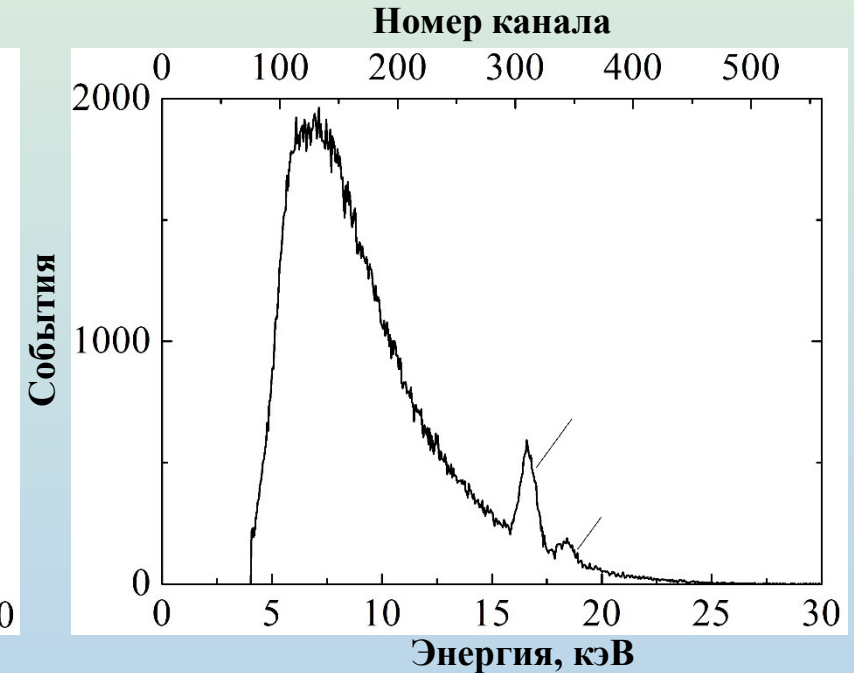
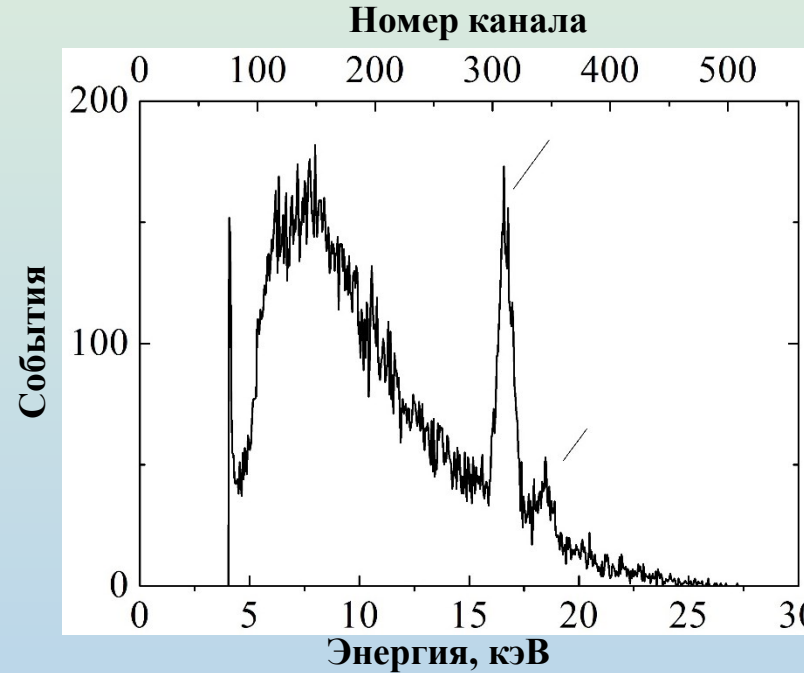
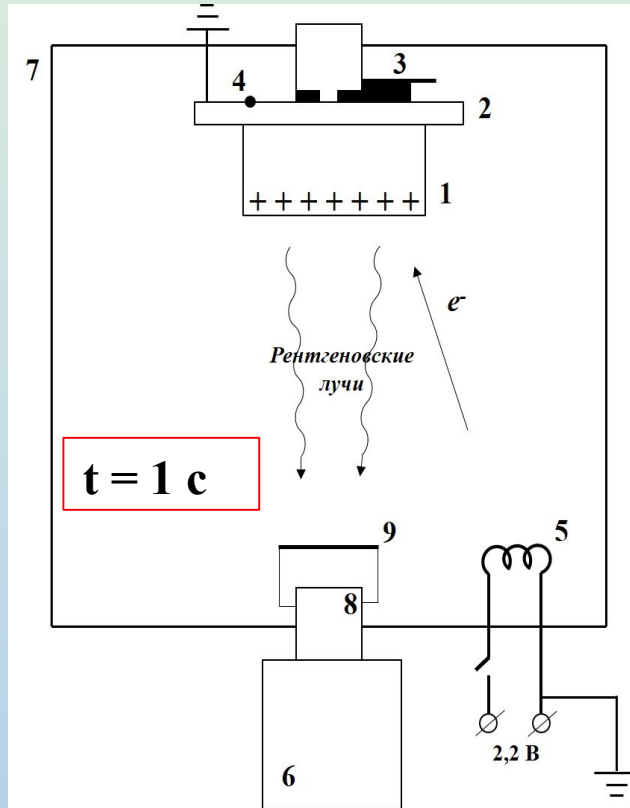


Квазинепрерывный режим генерации рентгеновского излучения при пироэлектрическом эффекте

Зависимость выхода рентгеновского излучения при нагреве и охлаждении пироэлектрического кристалла от времени

Импульсный пьезоэлектрический источник

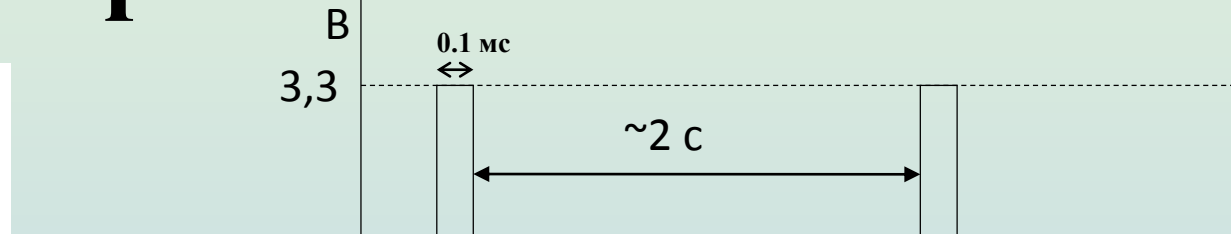
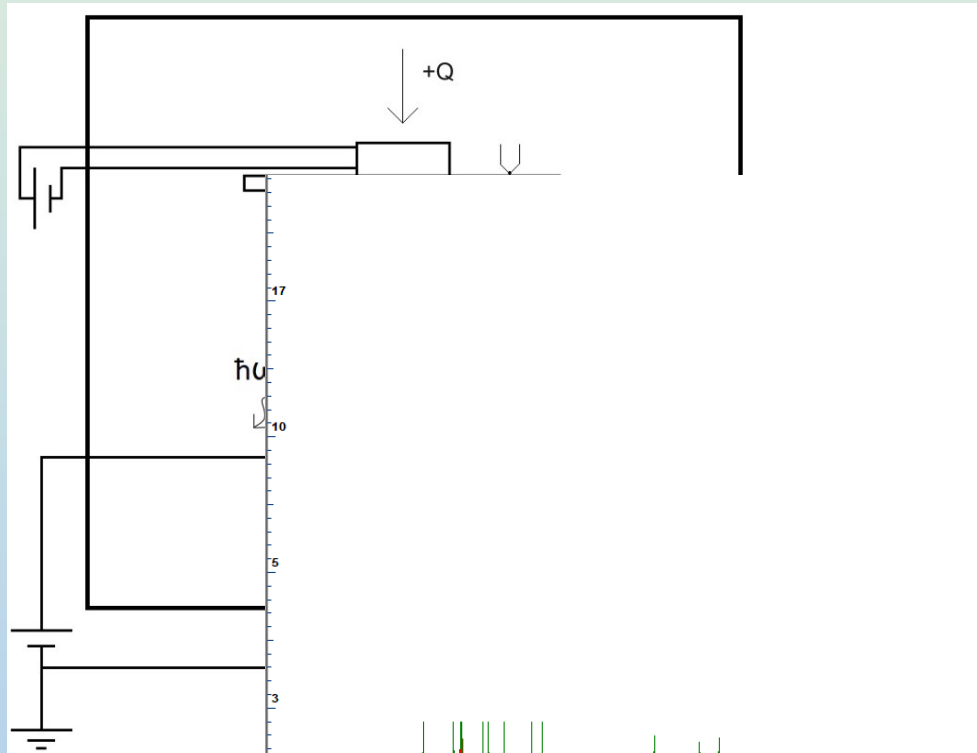
Ivashchuk, O.O. Pyroelectric accelerator and X-ray source in pulsed mode / O.O. Ivashchuk, A.V. Shchagin, A.S. Kubankin, V.Y. Ionidi, A.S. Chepurnov, V.S. Miroshnik, V.I. Volkov and D. A. Lepeshko // JINST. – 2020. – Vol. 15. – P. C02002.



1 – пьезоэлектрический кристалл LiNbO_3 , 2 – алюминиевый тепловой проводник, 3 – кремниевый диод MUR 1560, 4 – термопара к-типа, 5 – нить накала, 6 – полупроводниковый детектор рентгеновского излучения, 7 – вакуумная камера, 8 – входное бериллиевое окно детектора рентгеновского излучения, 9 – майларовая фольга, установленная напротив входного окна детектора

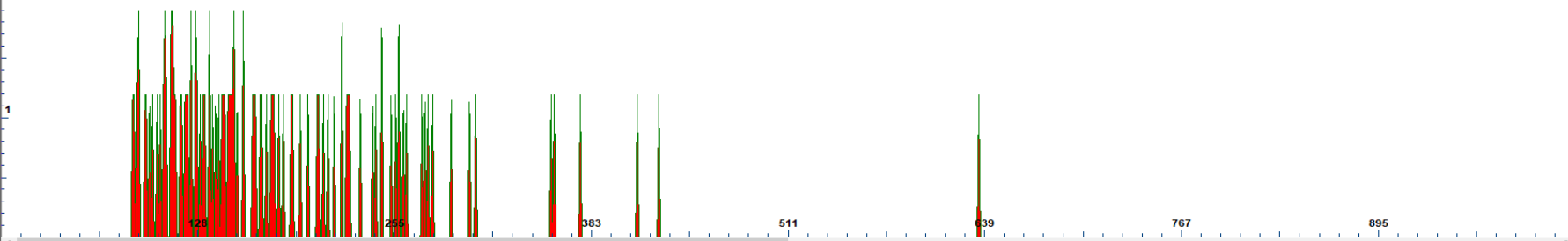
Режимы работы	Интенсивность, N	max энергия, кэВ	Время измерений t, с	N/t
Квазинепрерывный (а)	$3 \cdot 10^4$	30	300	10^2
Импульсный (б)	$3 \cdot 10^5$	30	5	$6 \cdot 10^4$

Пути дальнейшего развития направления импульсных пироисточников РИ



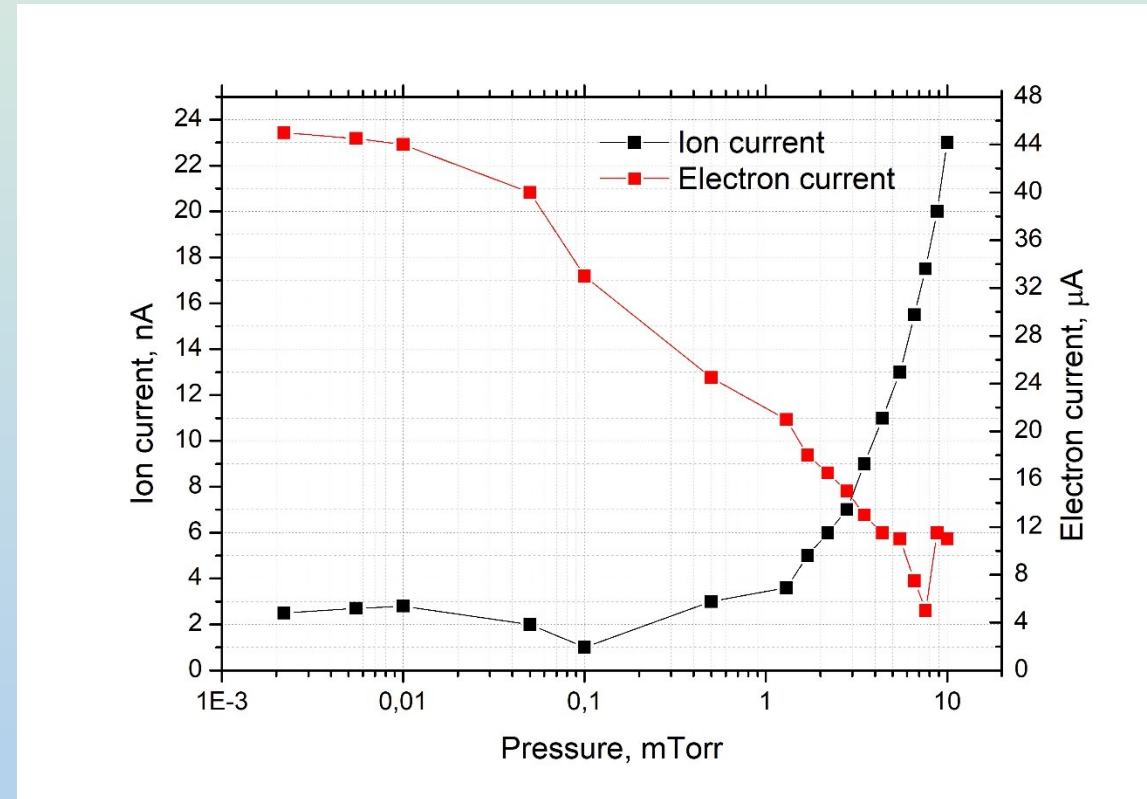
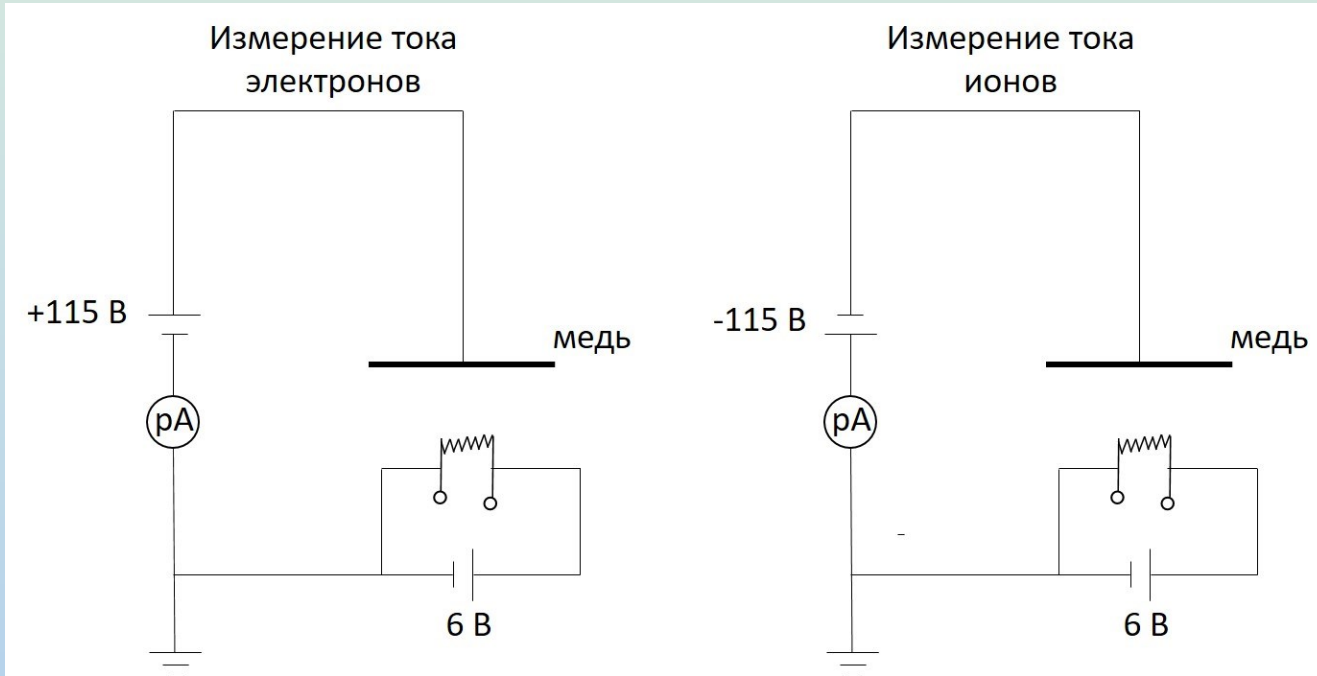
PX5 (s/n	2199)
Tag:	live_data_1
Mode	NORM
Channels	2 048
LLD Thresh	4.00% FS
Fast Thresh	20.56
Peak Time	0.40uS
Gain	20.00x
Gain Delta	
Preset Mode	
Preset	
Accum Time	0.01
Real Time	119.95
Total Count	101
Input Count	757
Input Rate	63 083,33
Dead Time	86.74%
Start:	07/10/2020 15:01:38
Status:	disconnected
Peak Information:	
Centroid (N)	
FWHM (N)	
Net Area	
Uncertainty	
Net Rate	
Gross Area	
Det. Temp	220K
Det. HV	500V

При по
электр
дос



При отрицательной полярности нить накала обеспечивает интенсивную генерацию РИ.

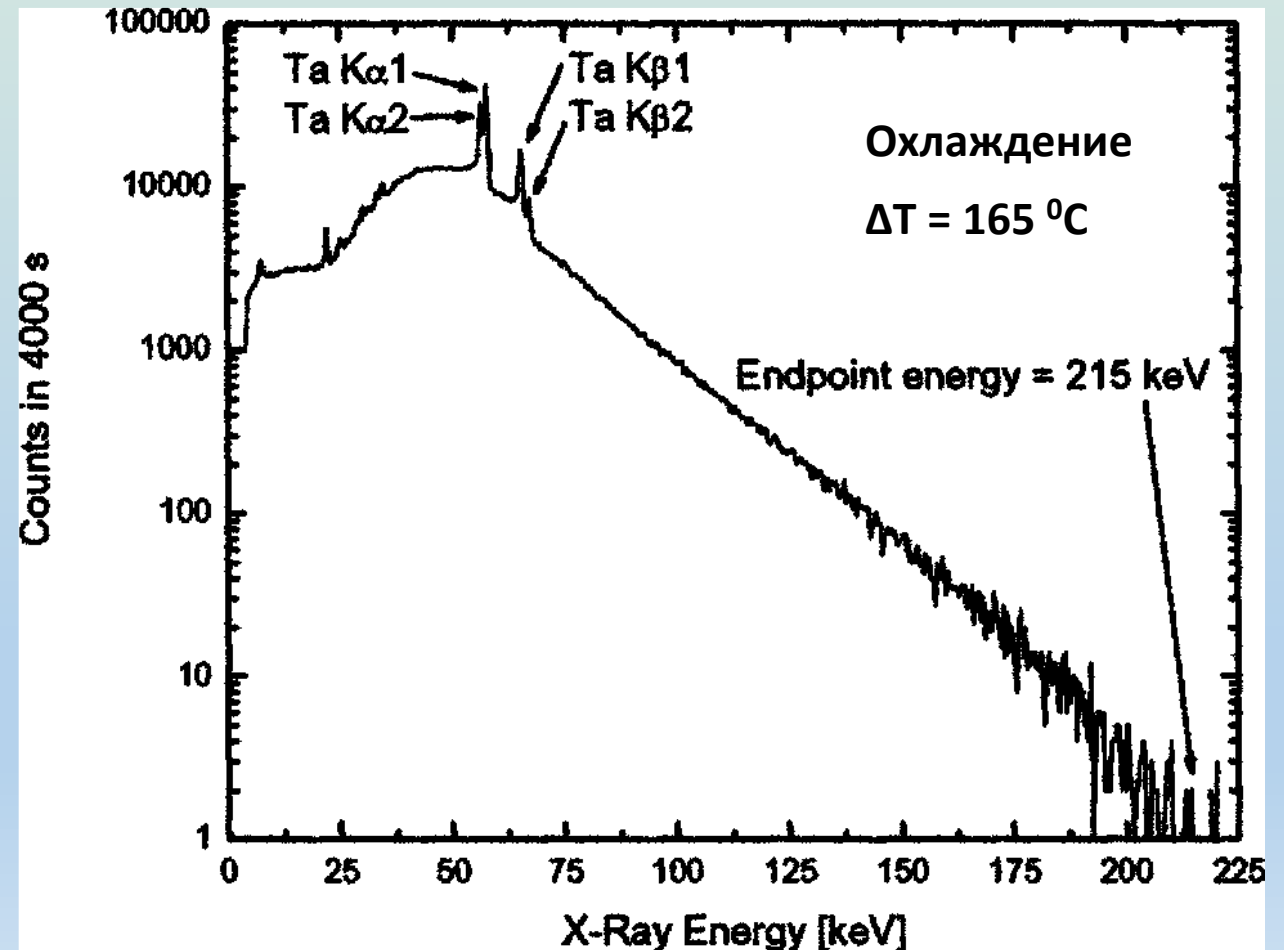
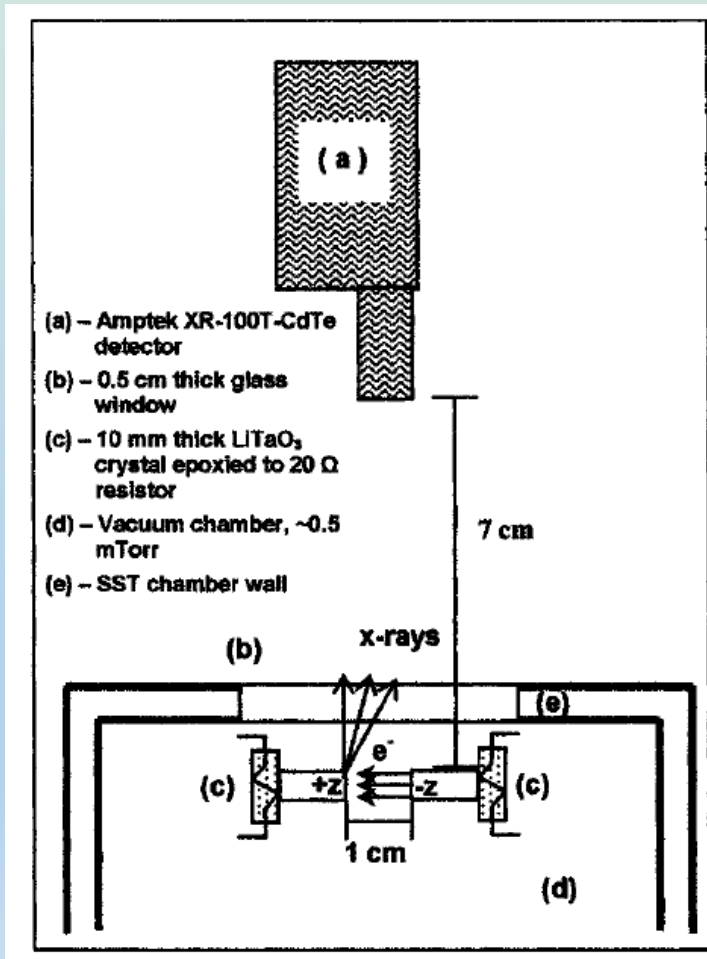
Нить накала генерирует ионы?



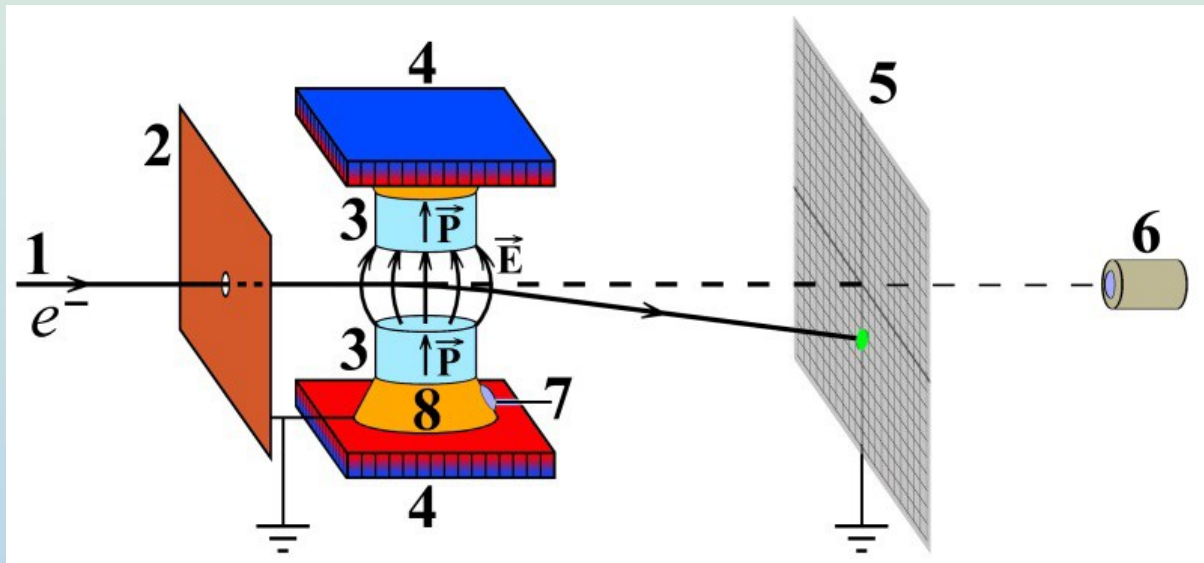
Ток ионов от нити накаливания достигает 24 нА при давлении остаточного газа около 1 мТорр

Двухкристальная схема пироэлектрического источника

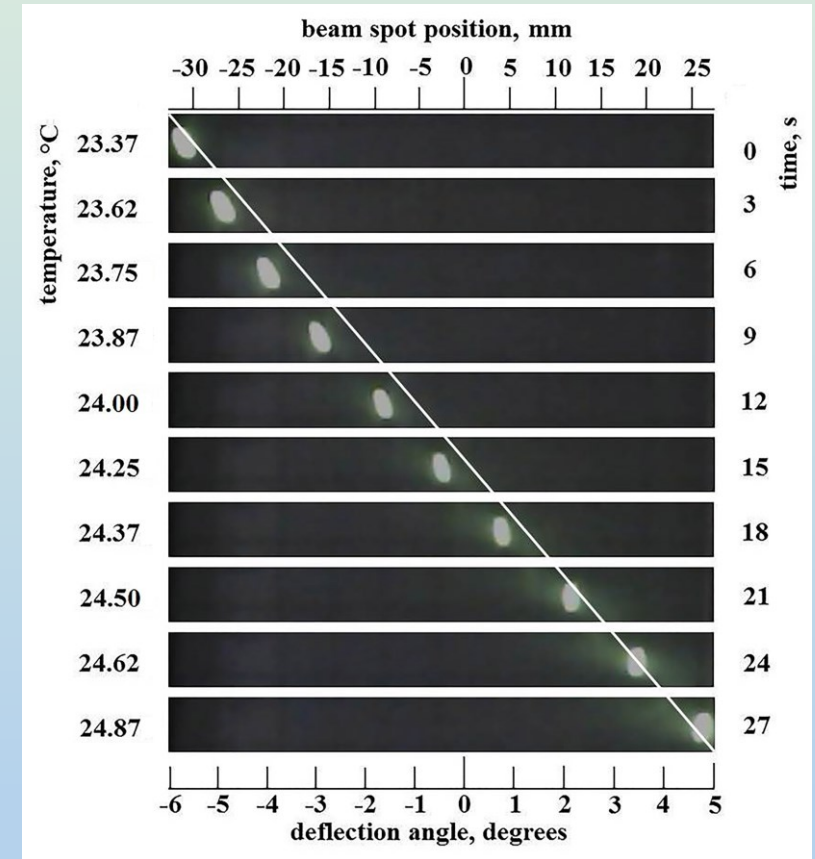
J. A. Geuther and Y. Danon, High-energy X-Ray production with pyroelectric crystal, J. Appl. Phys. 97, 074109 (2005).



Пироэлектрический дефлектор пучка нерелятивистских электронов 30 кэВ

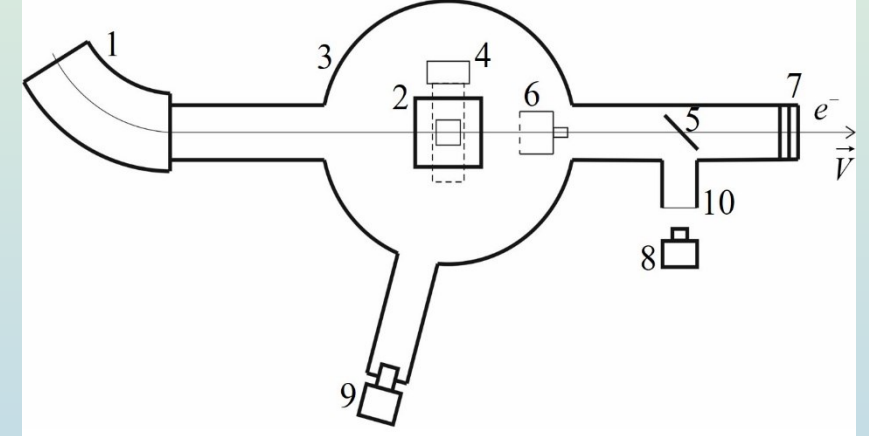
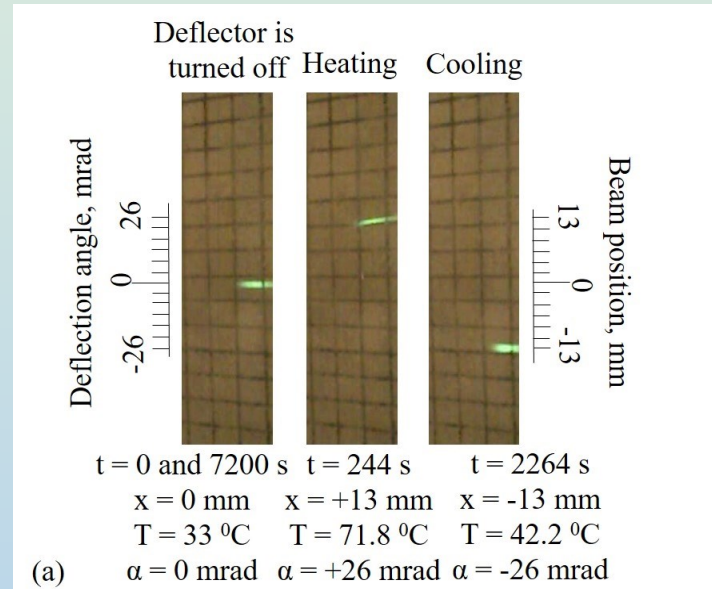
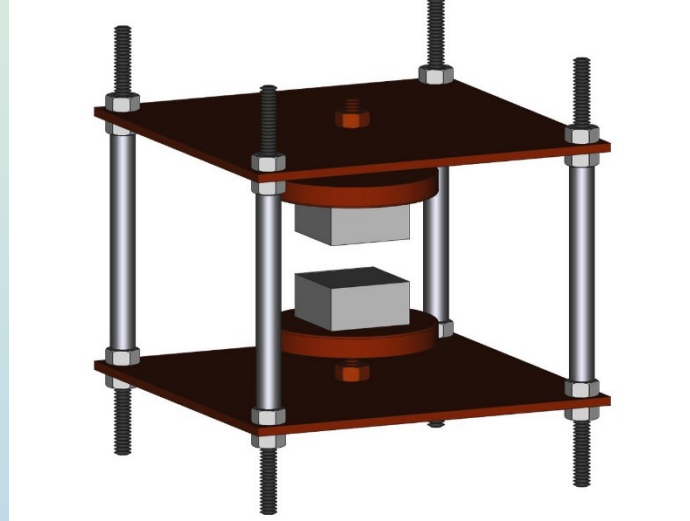


the 30 keV electron beam (1) passes through the diaphragm (2) and the gap between the pyroelectric crystals (3). The position of the beam spot on the transparent screen (5) is observed by the camera (6). Pyroelectric crystals (3) are glued to conical metallic heat-conductors (8) installed on Peltier elements (4). The temperature is controlled by digital DS18B20 type thermometers (7).



In the experiment 23.37C to 24.87C in 27 s. total beam shift was 57mm. This means that the 30 keV electron beam was deflected by a total angle of = 10.6 degrees

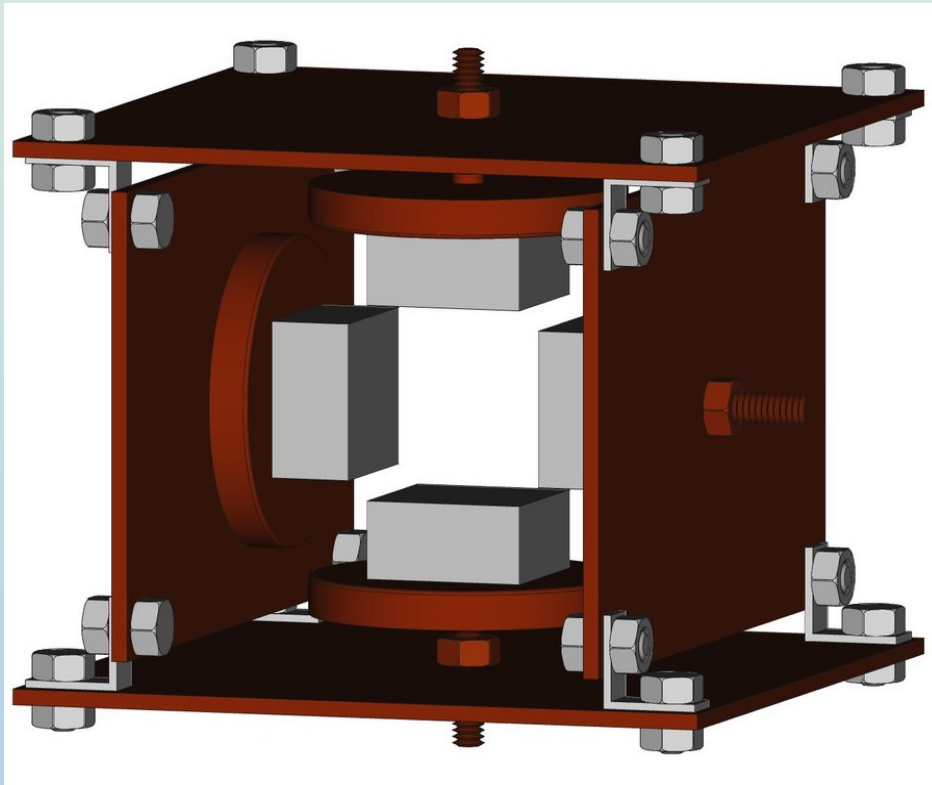
Пироэлектрический дефлектор пучка релятивистских электронов 7 МэВ



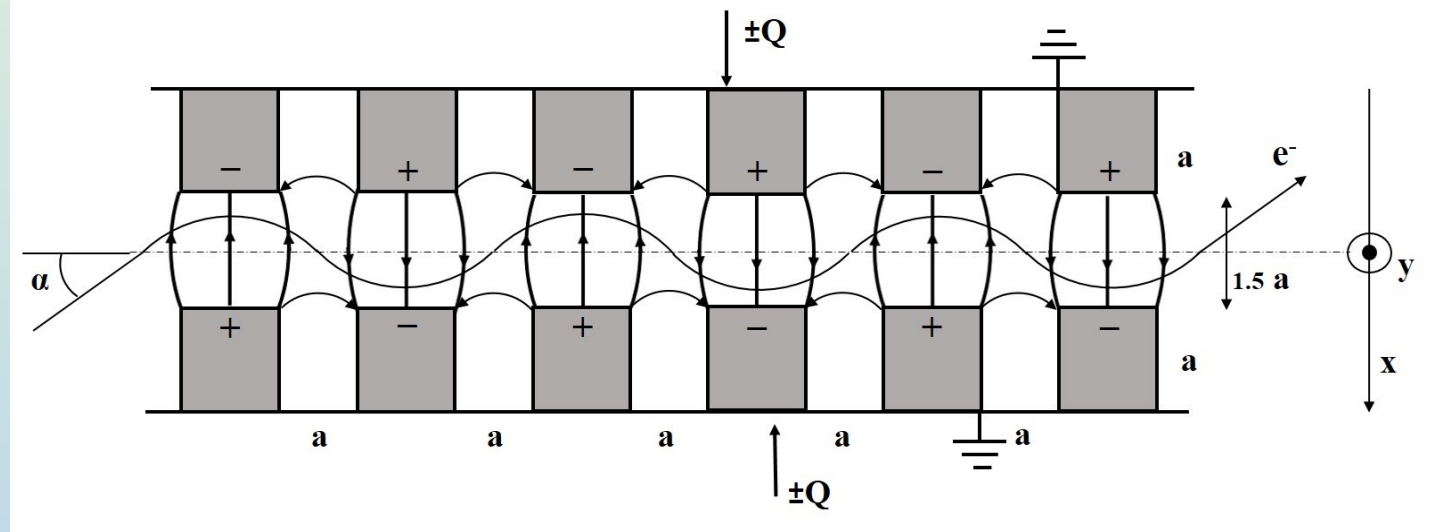
The scheme of the experiment. 1 - Bending magnet, 2 - pyroelectric deflector, 3 - vacuum chamber, 4 - linear translator, 5 - removable scintillation screen, 6 - removable Faraday cup, 7 - proportional chamber, 8 - web camera, 9 - X-ray detector, 10 - glass window.

The experiments on observation of deflection of 7 MeV electron beam for 26 mrad in the transverse electric field with strength of about 100 kV/cm arising at variation of the temperature of a pair of pyroelectric crystals 39 °C in vacuum

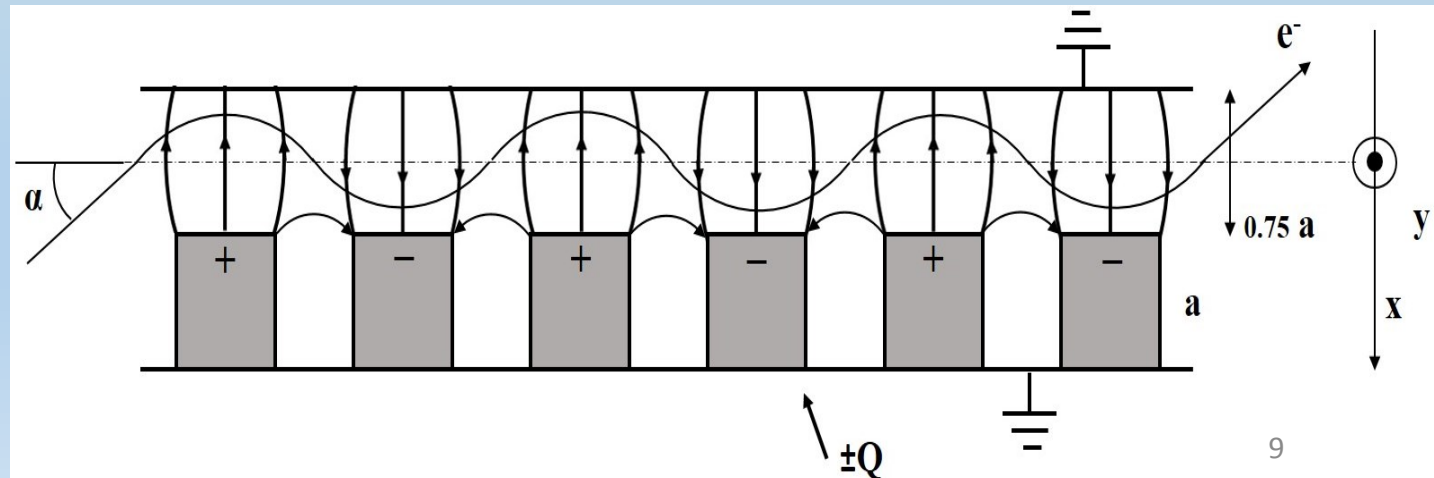
Пути дальнейшего развития направления пироэлектрического дефлектора



ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЛИНЗА

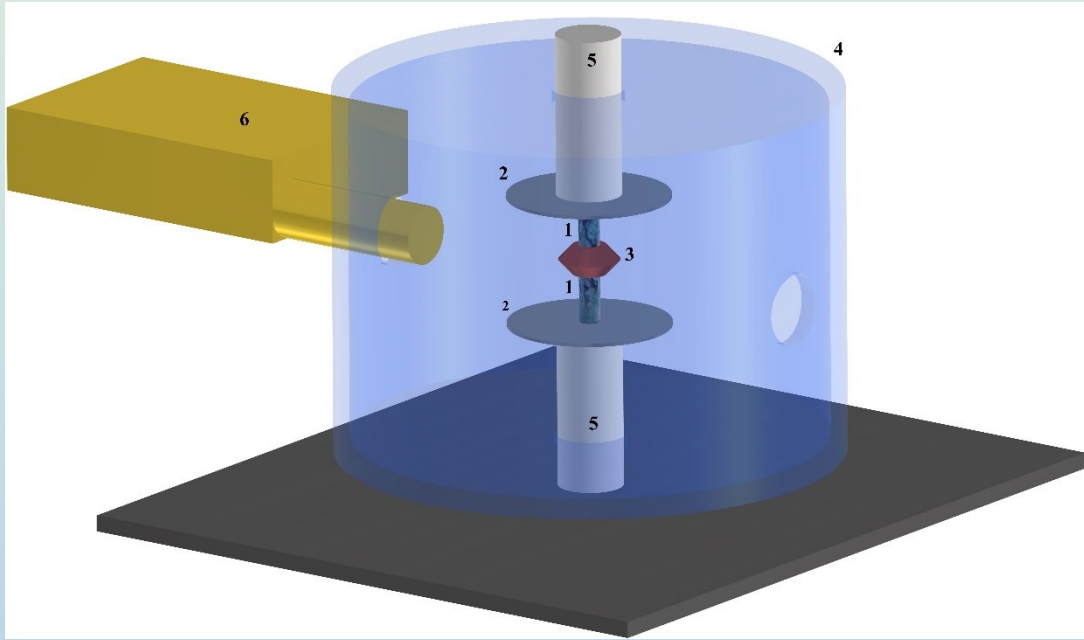


ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ОНДУЛЯТОР

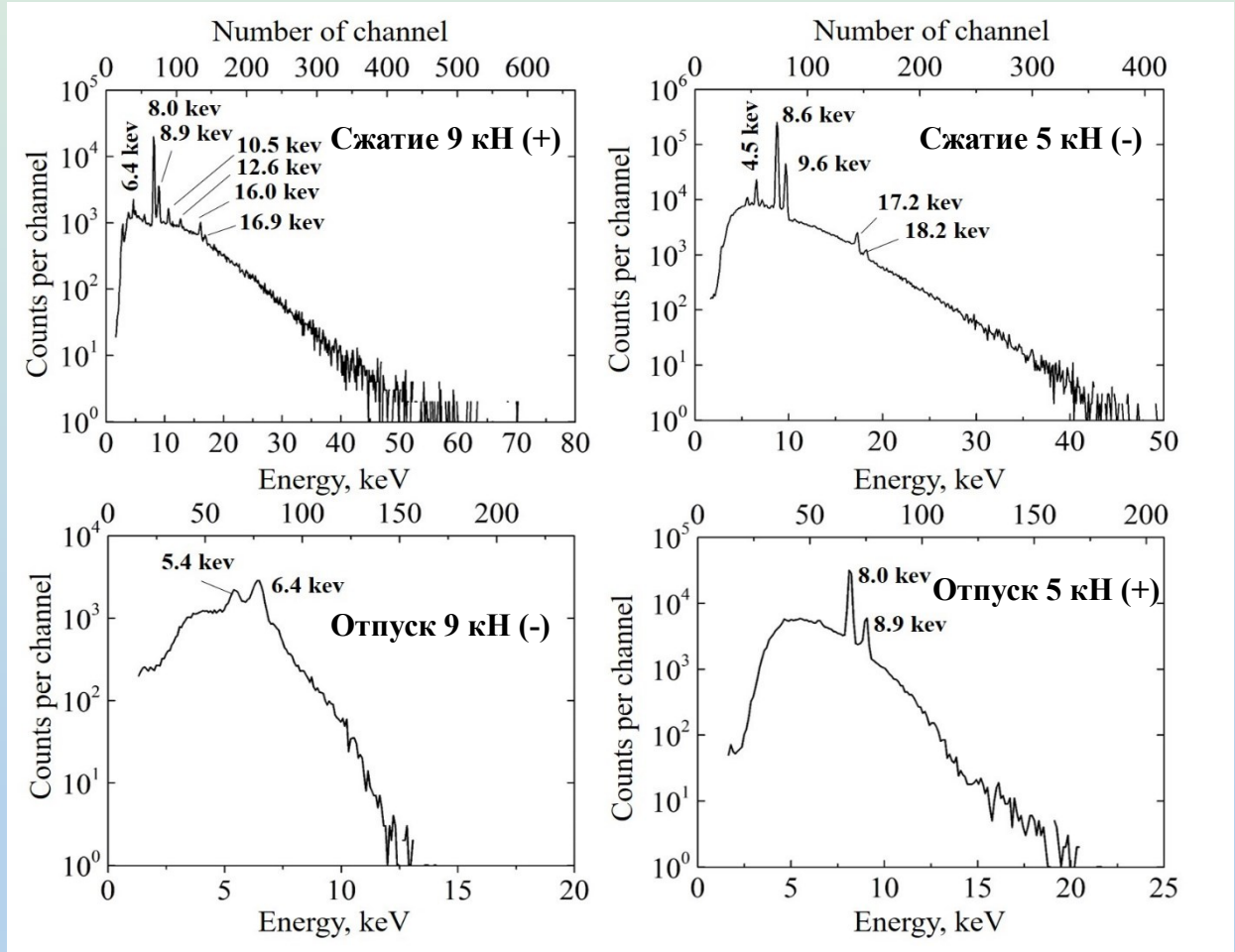


Пьезоэлектрический ускоритель

Ivashchuk, O.O. Piezoelectric Accelerator / O.O. Ivashchuk, A.V. Shchagin and et. al. // Scientific Reports. – 2018. – Vol. 8. – P. 816488.

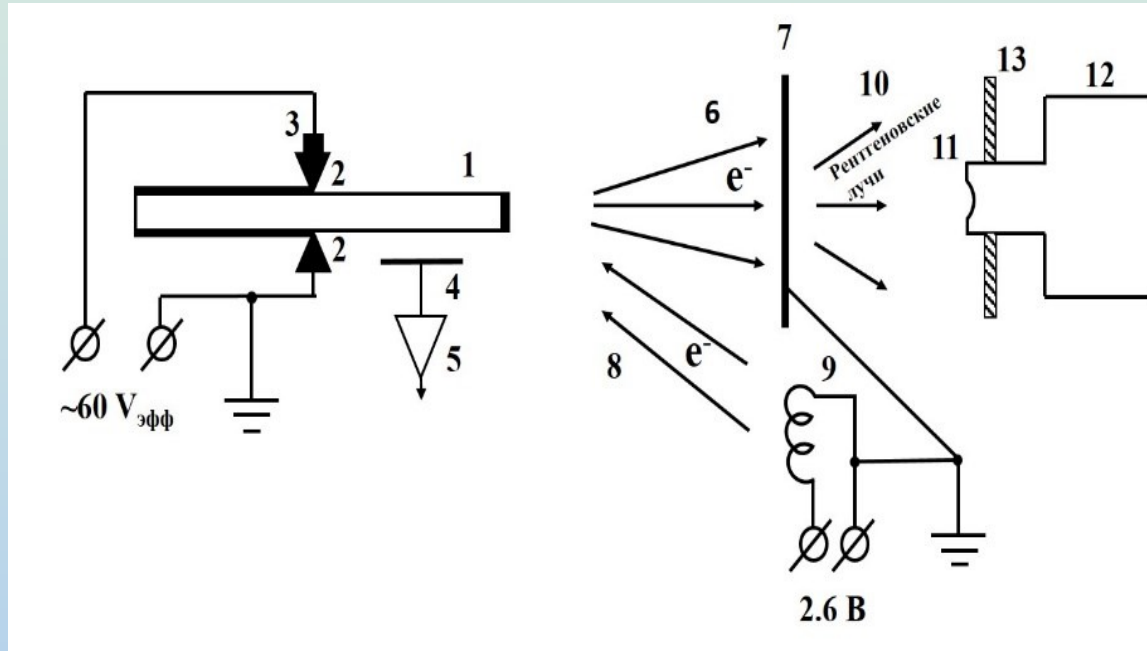


1 – пьезоэлектрические образцы, 2 – цинковые заземленные пластины, 3 – высоковольтный медный центральный электрод, 4 – вакуумная камера, 5 – бойки деформационной машины, 6 – детектор РИ

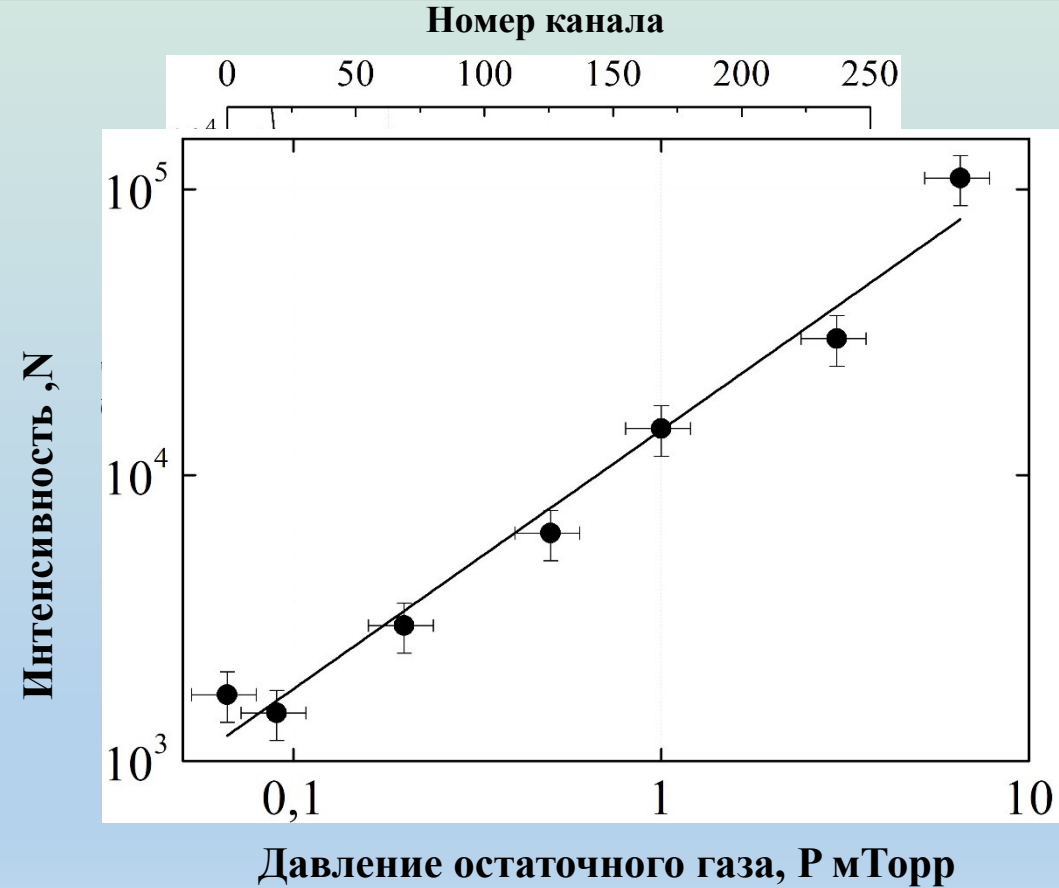


Пьезотрансформатор как источник РИ и ускоритель электронов

Ivashchuk, O.O. Ceramic Piezoelectric Transformer in Vacuum for Acceleration of Electrons and Production of X-Rays / O.O. Ivashchuk, A.V. Shchagin, V.S. Miroshnik, V.I. Volkov and A.S. Kubankin // Materials. – 2018. – Vol. 11. – P. 1188.



1 – пьезокерамический трансформатор, 2 – контакты крепления, 3 – термопара, 4 – датчик поля, 5 – усилитель, 6 – электроны, 7 – Ti мишень, 8 – электроны от нити накала 9, 10 – рентгеновское излучение от мишени, 11 – входное Ве окно полупроводникового детектора 12, 13 – вакуумный фланец



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые экспериментально обнаружен импульсный режим работы пироэлектрического ускорителя. Такой источник может генерировать интенсивное рентгеновское излучения за доли секунды. Были предложены новые способы управления величиной потока и временем генерации рентгеновского излучения в пироэлектрическом источнике с помощью дополнительного сеточного электрода.
2. Была обнаружена генерация положительных ионов в случае возникновения отрицательного заряда на свободной поверхности пироэлектрического кристалла в пироэлектрическом ускорителе в триодной конфигурации. Данный факт свидетельствует о том, что импульсная генерация рентгеновского излучения в пироэлектрическом ускорителе может наблюдаться как при нагреве так и при его охлаждении.
3. Разработан и испытан пироэлектрический дефлектор на релятивистском пучке электронов с энергией 30 кэВ и на нерелятивистском пучке электронов с энергией 7 МэВ. Результаты экспериментальных исследований показали возможность отклонения пучка электронов на угол порядка $1,5^\circ$. Данный прибор может использовать в будущем в ускорительной технике для управления траекторией и формой пучка электронов.
4. Впервые обнаружена генерация рентгеновского излучения вследствие пьезоэлектрического эффекта в вакууме.
5. Обнаружена линейная зависимость выхода рентгеновского излучения от давления остаточного газа в вакуумной камере при работе пьезоэлектрического трансформатора

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!