

Pyroelectric undulator

A.V. Shchagin

Belgorod National Research University, Belgorod, 308015, Russia

Kharkov Institute of Physics and Technology, Kharkov 61108, Ukraine

E-mail: shchagin@kipt.kharkov.ua

The research was supported by a program of the ministry of education and science of The Russian Federation for higher education establishments, project №14.578.21.0192 (RFMEFI57816X0192).

CHANNELING 2018

CHARGED & NEUTRAL PARTICLES CHANNELING PHENOMENA

Ischia - Italy, September 23 - 28, 2018

The idea of undulator was first proposed by V.L. Ginzburgin 1947. First realized y Mots.

The in further, mainly magnetic undulators were developed.

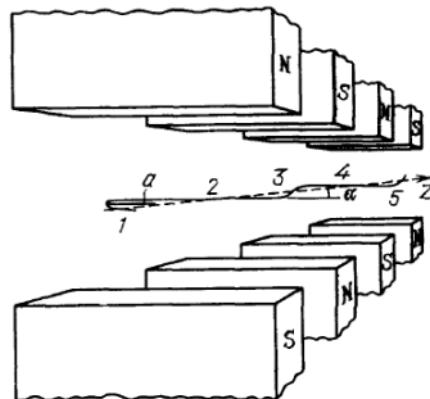
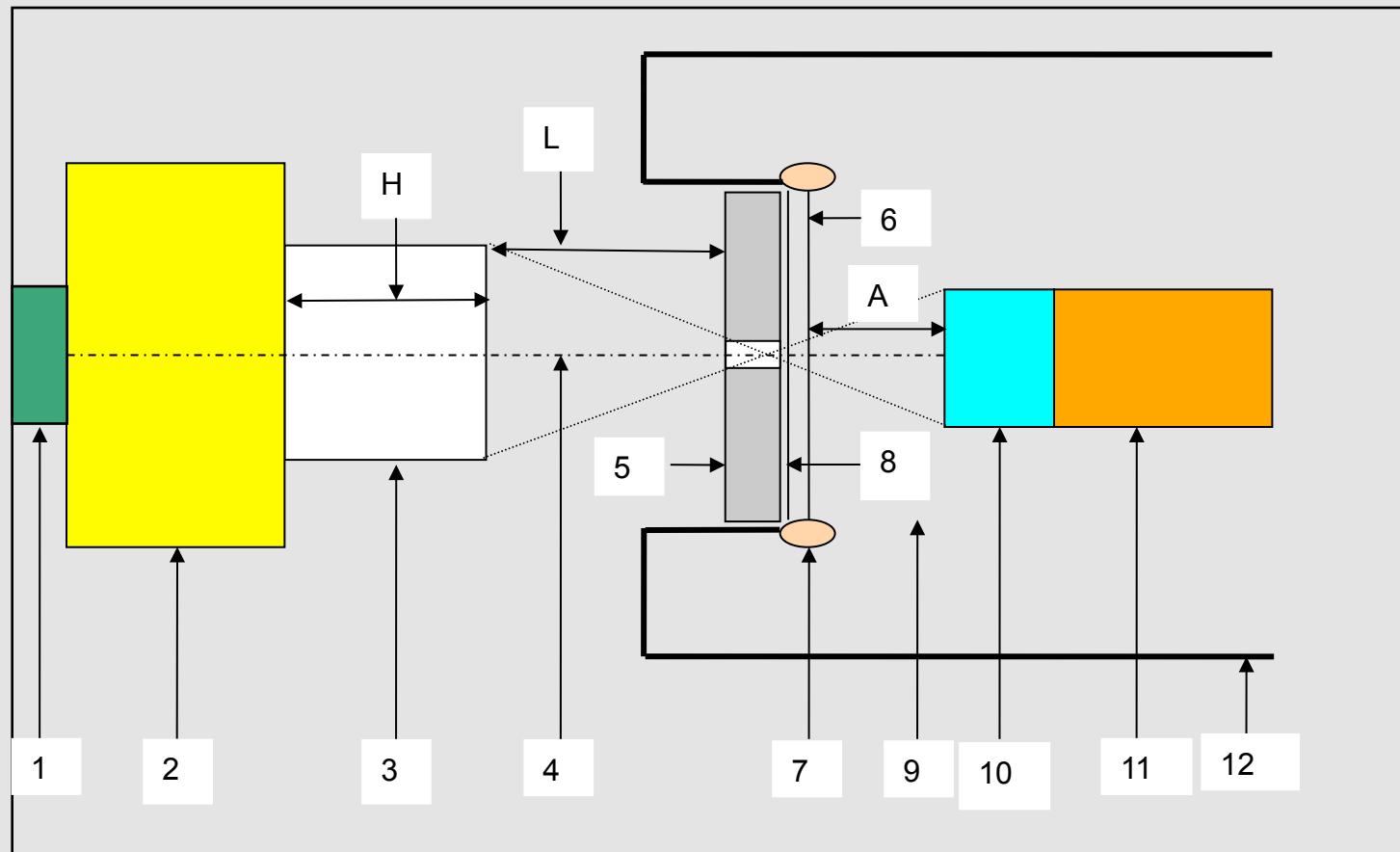


Рис. 1. Принципиальная схема магнитного ондулятора

Magnetic undulator . Figure from Alferov el al, Physics Uspechi 157.3 (1989): 389-436.

But more recently **pyroelectric sources of strong electric field** appeared.

Experiments with Pyroelectric Generator, Kharkov, 2005



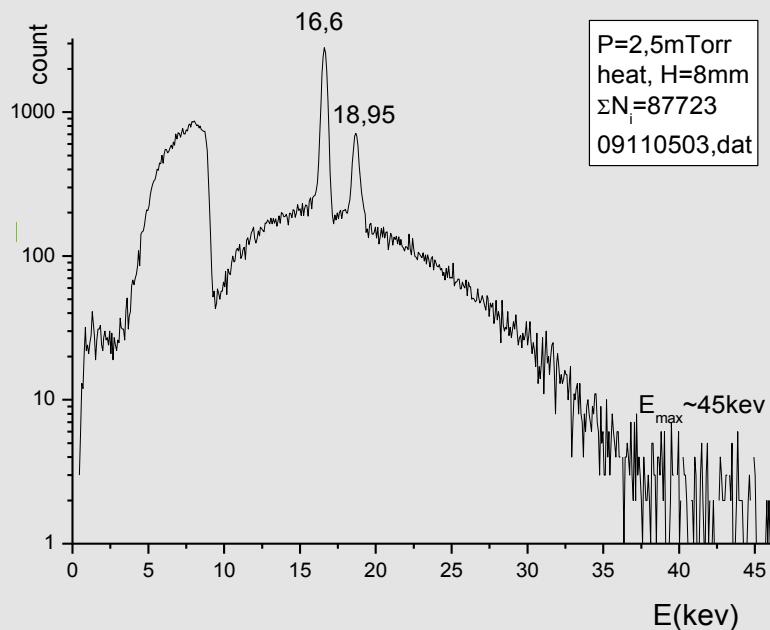
Scheme of the experimental setup with pyroelectric crystal LiNbO₃ (3), Si(Li) X-ray detector (10), 1.0 mm lead collimator (5), 20 mkm Cu foil (8), 20 mkm Be foil (6). L=8mm.

Shchagin A.V.,
shchagin@kipt.kharkov.ua

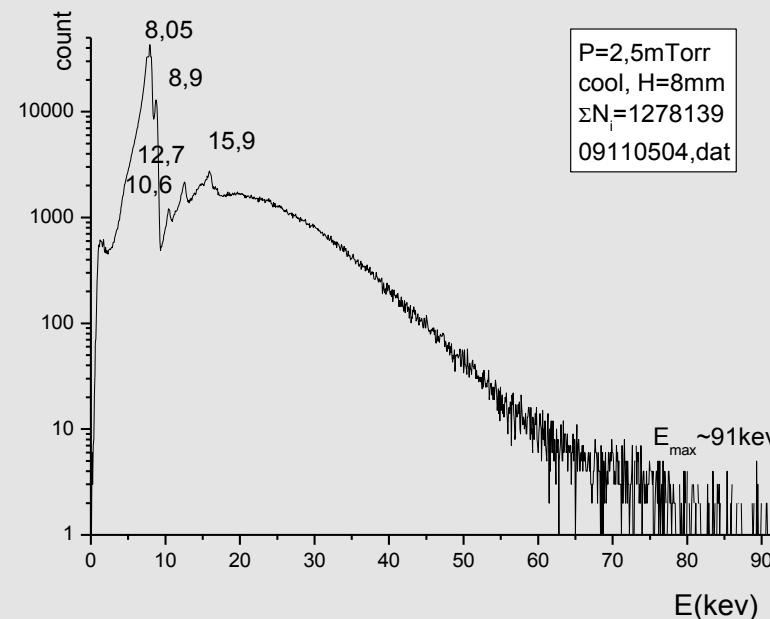
Kharkov Institute of Physics and
Technology

Experiments with Pyroelectric Generator, Kharkov, 2005

Heating



Cooling

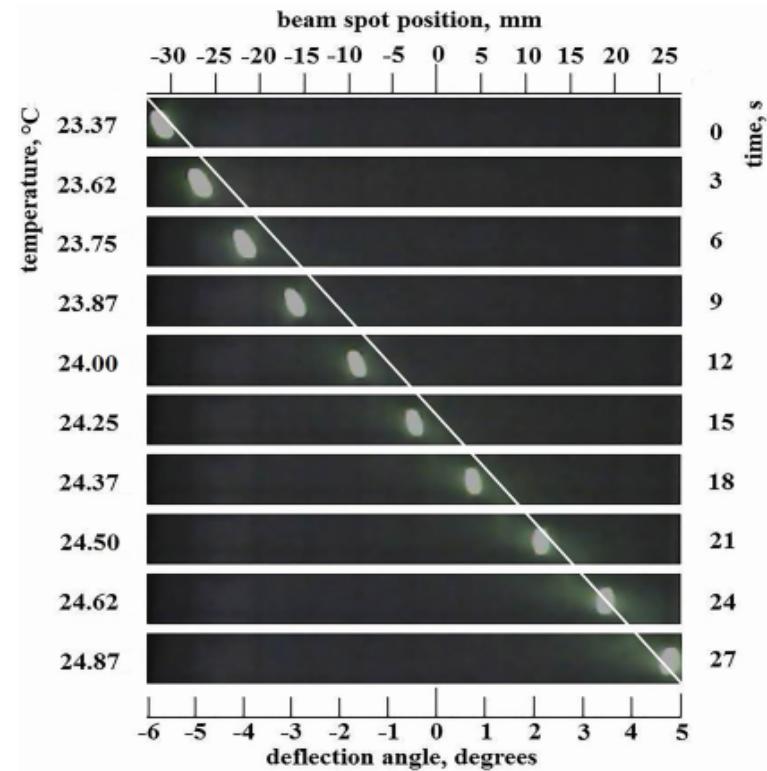
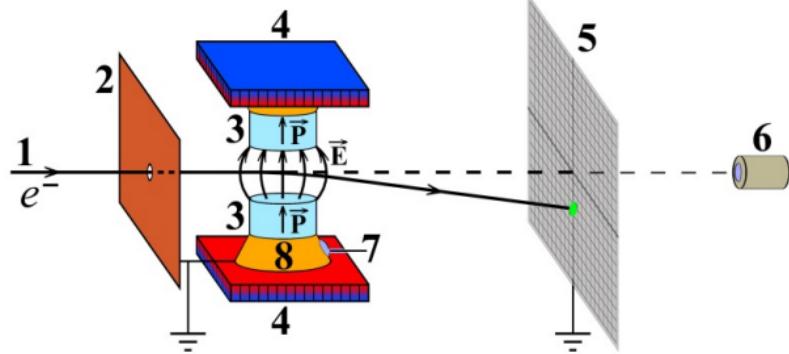


X-ray spectra at heating and cooling -20 – +110 degree. Crystal LiNbO₃, height H=8 mm pressure P=2.5 mTorr

Shchagin A.V.,
shchagin@kipt.kharkov.ua

Kharkov Institute of Physics and
Technology

Application of pyroelectric electric field for deflection of non-relativistic electric beam of 30 keV



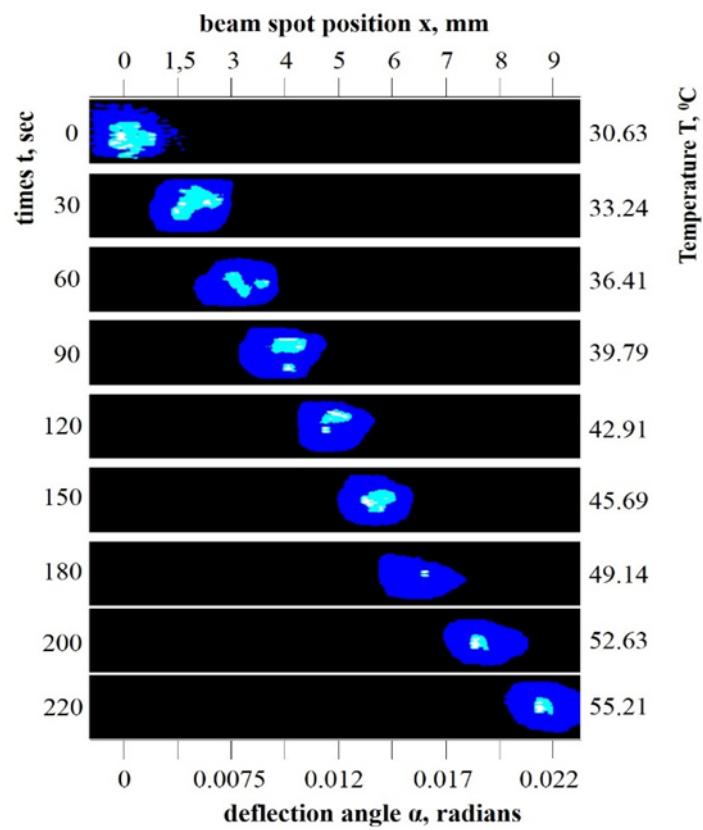
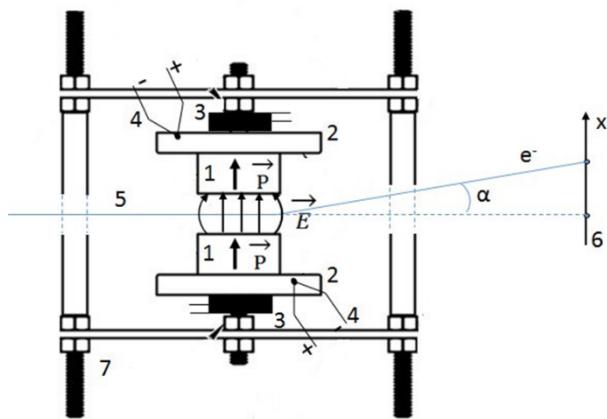
Proof-of-principle experiment in Belgorod:

A.N. Oleinik, A.S. Kubankin, R.M. Nazhmudinov, K.A. Vokhmyanina, A.V. Shchagin and P.V. Karataev Pyroelectric deflector of charged particle beam JINST 11 (2016) P08007.

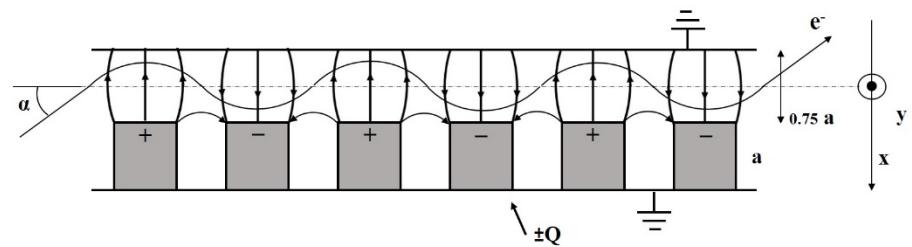
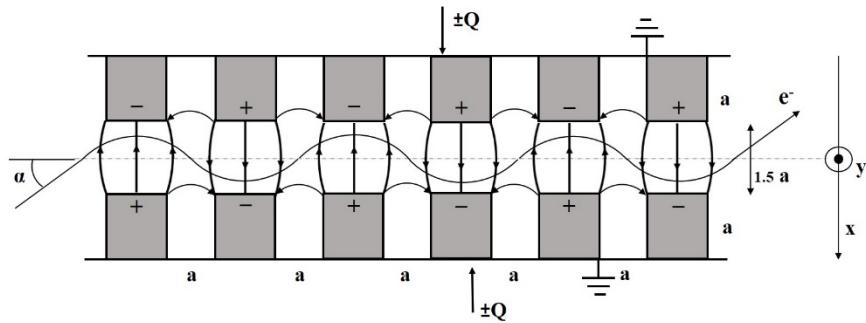
Pyroelectric deflector of relativistic electron beam

O. Ivashchuk, A. Shchagin, A. Kubankin, A. Oleinik, I. Kishchin

Deflection of 7 MeV electron beam



Two schemes of pyroelectric undulators



What is the pyroelectric parameter parameter $\alpha\gamma$?

Deflection angle in a single pyroelectric deflector

Let us estimate the deflection angle α of the particle moving through a single pyroelectric at conditions $\alpha \ll 1$, the path l of the particle in the transverse electric field is much less than the curvature radius $l \ll R$ and neglecting the edge effects. This situation is similar to the motion of the charged particle parallel to the plates inside of a capacitor. The deflection angle can be found from (1)

$$\alpha = \frac{l}{R} = \frac{lqE}{\epsilon\beta^2} = \frac{lqEmc^2}{\epsilon\beta^2 mc^2} = \frac{lqE}{\beta^2 mc^2} \gamma^{-1}.$$

Obtain the deflection angle in units γ^{-1}

$$\alpha\gamma = \frac{lqE}{\beta^2 mc^2}$$

In the ultra-relativistic case $\beta^2 \rightarrow 1$ and we obtain

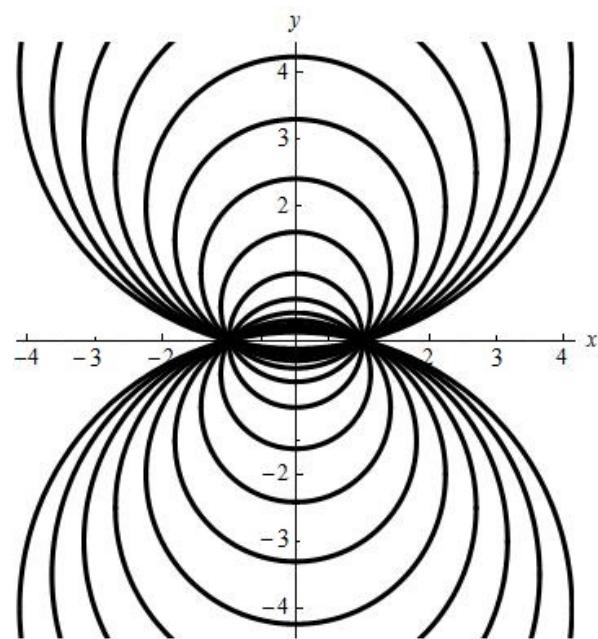
$$\alpha\gamma = \frac{lqE}{mc^2} = \frac{1cm \cdot 10^5 \frac{V}{cm}}{5 \cdot 10^5 eV} = 0.2$$

Note that the deflection angle in units γ^{-1} is independent of the energy of ultrarelativistic particle. For example, the deflection angle $\alpha = 0.2\gamma^{-1}$ at path 1 cm in the transverse electric field $E = 10^5 \frac{V}{cm}$.

- As a result, we obtain undulator parameter $\alpha\gamma = 0.2$
- for undulator with period 4 cm. This is clear dipole radiation.
- For instance, 7 MeV electron beam should provide radiation of frequency 3.3 GHz.

Polarization structure of dipole (undulator) radiation
Calculated by

M.V. Bondarenko, Rhys. Rev. A82, 042723 (2010)



Main feature of pyroelectric undulator

Small weight (< 1 kg)

Small attractive force (a few N only)

Absence of any outer high voltage source

The power supply is due just to cooling and heating of the pyroelectric undulator

Possibility for further miniaturization up to sub-millimeter period size.

Thanks for discussions of pyroelectric undulator to
N. Bondarenko, S. Trofimentko, A. Kubankin, O. Ivashchuk.

Thanks for attention!

- Магнитные ондуляторы имеют значительную массу и большую силу притяжения между магнитными парами. Электрический ондулятор лишен таких недостатков, но требует питания от внешних источников высокого напряжения и высоковольтных вакуумных вводов. Мы предлагаем пироэлектрический ондулятор, в котором поперечное периодическое электрическое поле создается при нагреве или охлаждении пироэлектрических пар, установленных в вакууме. При этом внешнее высоковольтное питание не требуется. Недавно эксперименты по отклонению пучка с помощью пироэлектрического дефлектора, состоящего из одной пары пироэлектрических кристаллов, были выполнены на пучке нерелятивистских электронов с энергией 30 кэВ /1/ и на пучке релятивистских электронов с энергией 7 МэВ /2/. Легкий, компактный пироэлектрический ондулятор может быть собран из таких дефлекторов. Напряженность поперечного электрического поля в таком ондуляторе может быть порядка 100 кВ/см, а период порядка 1 см и менее. Питание такого ондулятора осуществляется путем изменения температуры пироэлектриков, которые установлены в вакууме. Обсуждаются свойства, достоинства и недостатки пироэлектрического ондулятора.
- [1]. A.N. Oleinik, A.S. Kubankin, R.M. Nazhmudivov, K.A. Vokhmyanina, A.V. Shchagin and P.V. Karataev Pyroelectric deflector of charged particle beam. // JINST (2016) 11, P08007.
- [2]. О.О. Иващук, А.С. Кубанкин, А.В. Щагин, И.А. Кицин, А.Н. Олейник Пироэлектрический дефлектор пучка электронов с энергией 7 МэВ // доклад на настоящей конференции