

Оптимизация разрешения сцинтилляционных детекторов

Тарасов Владимир Алексеевич

Институт сцинтилляционных материалов НАН Украины, Харьков

$$R^2 = R^2_{\text{сцинт}} + R^2_{\text{трансп}} + R^2_{\text{стат}} + R^2_{\text{шум}}$$

$R^2_{\text{сцинт}}$ - неоднородность сцинтилляционной эффективности по объему,
непропорциональность отклика потерянной энергии

$R^2_{\text{трансп}}$ - неоднородность светособирания с объема сцинтиллятора на фотокатод
неоднородность квантовой эффективности фотокатода
неоднородность эффективности сбора фотоэлектронов на первый диод

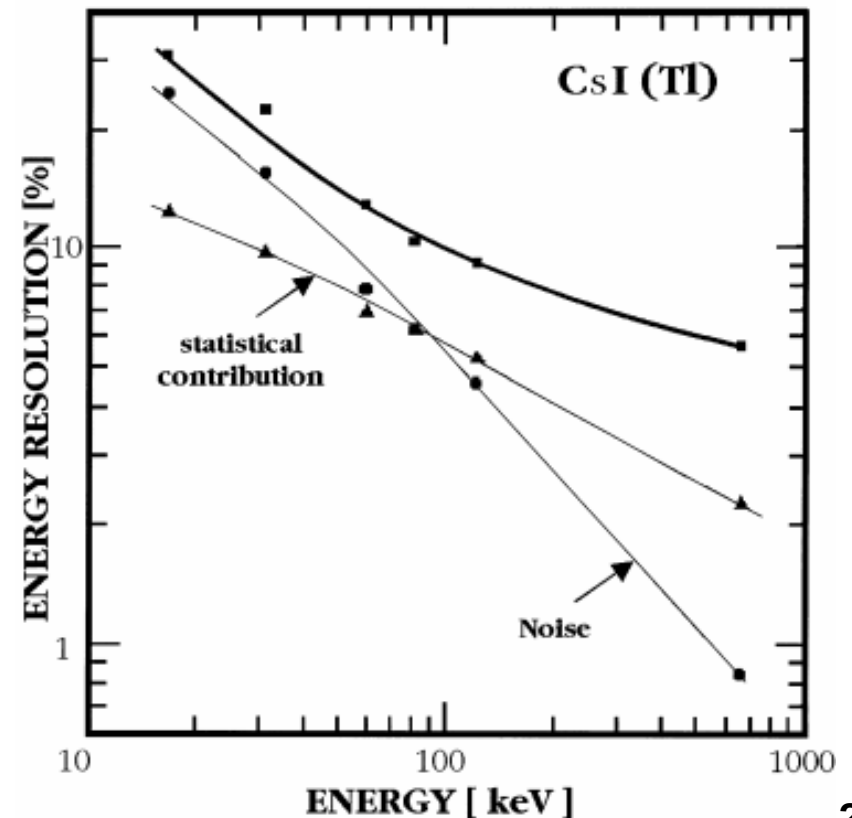
$R^2_{\text{стат}}$ - статистический вклад фотоприемника

для ФЭУ $R^2_{\text{стат}} = 5.56 \cdot (1+k) / N_{\text{phe}}$,
k - вариация усиления ФЭУ,
 N_{phe} - число фотоэлектронов

для ЛФД $R^2_{\text{стат}} = 5.56 \cdot F / N_{e-h}$,
F - фактор выходных шумов,
 N_{e-h} - число электрон-дырочных пар

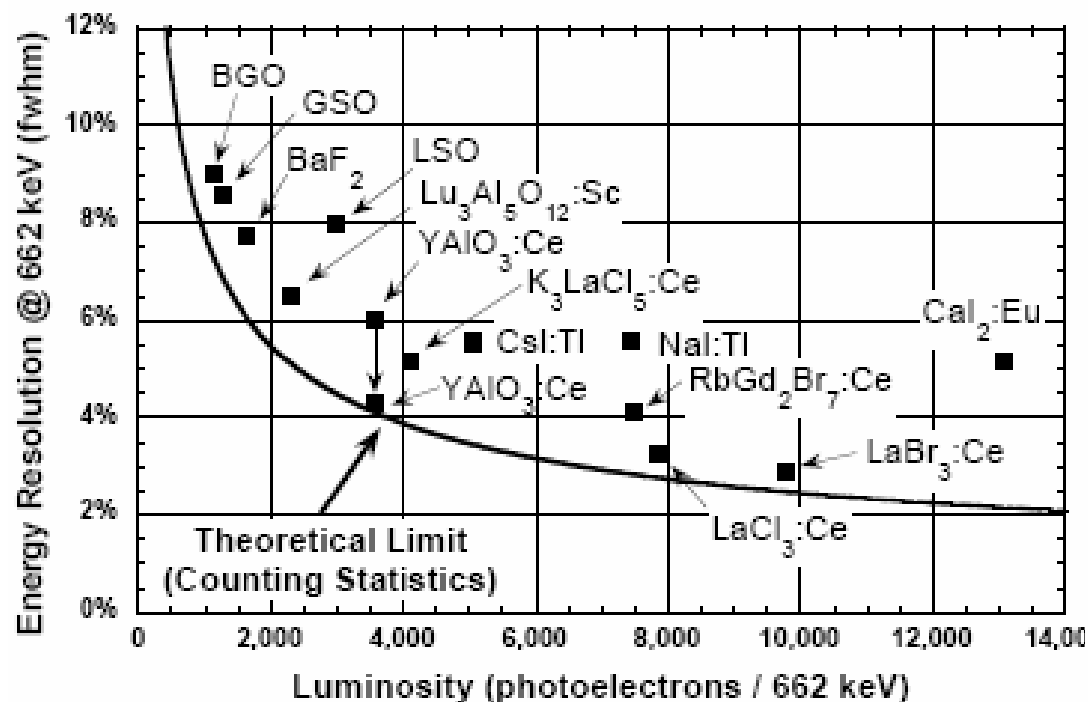
$R^2_{\text{шум}}$ - вклад темновых шумов
фотоприемника (важно для ЛФД)

M.Moszynski et al. NIM A442(2000)

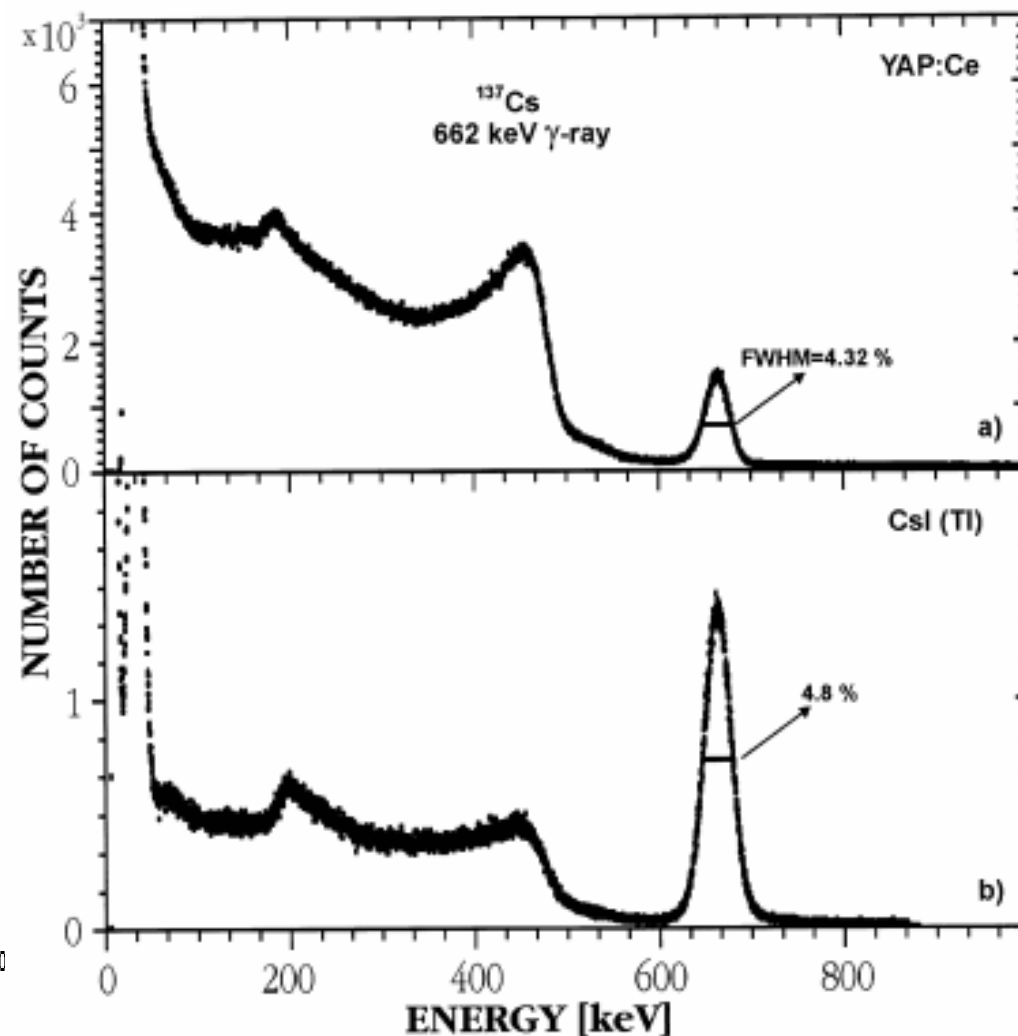


Экспериментальное разрешение
в сравнении с теоретическим
пределом

$$R2_{\text{стат}} = 5.56 \cdot (1+k) / N_{\text{phe}}$$

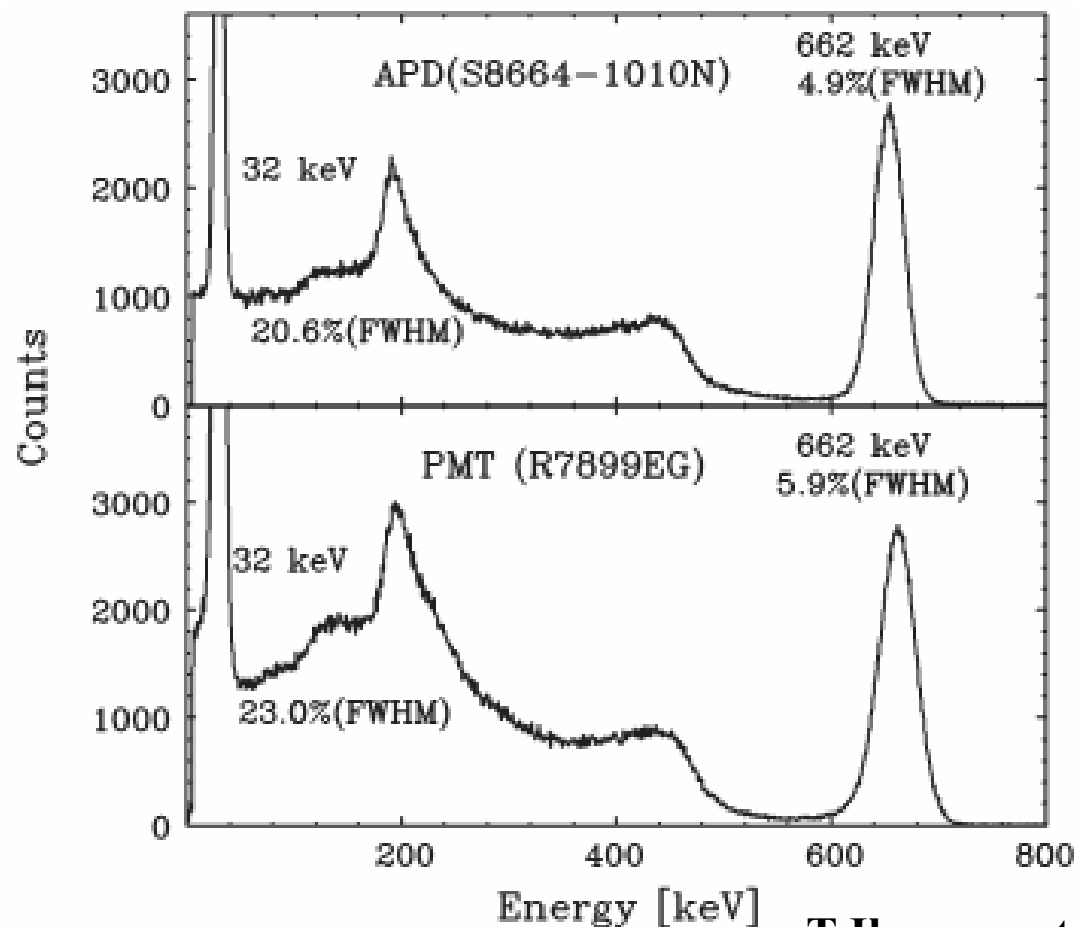
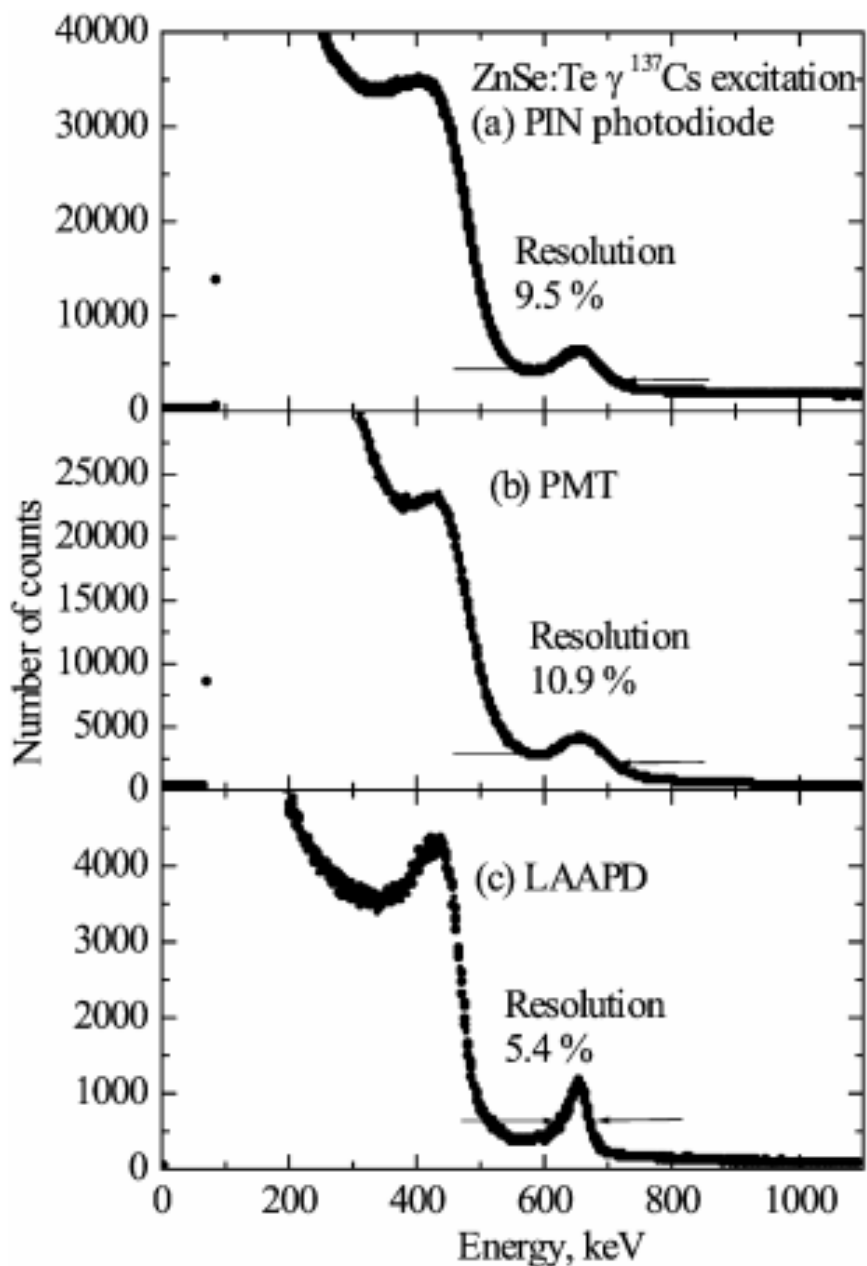


P. Dorenbos NIM A 486 (2002)



M.Moszynski et al. NIM A442(2000)

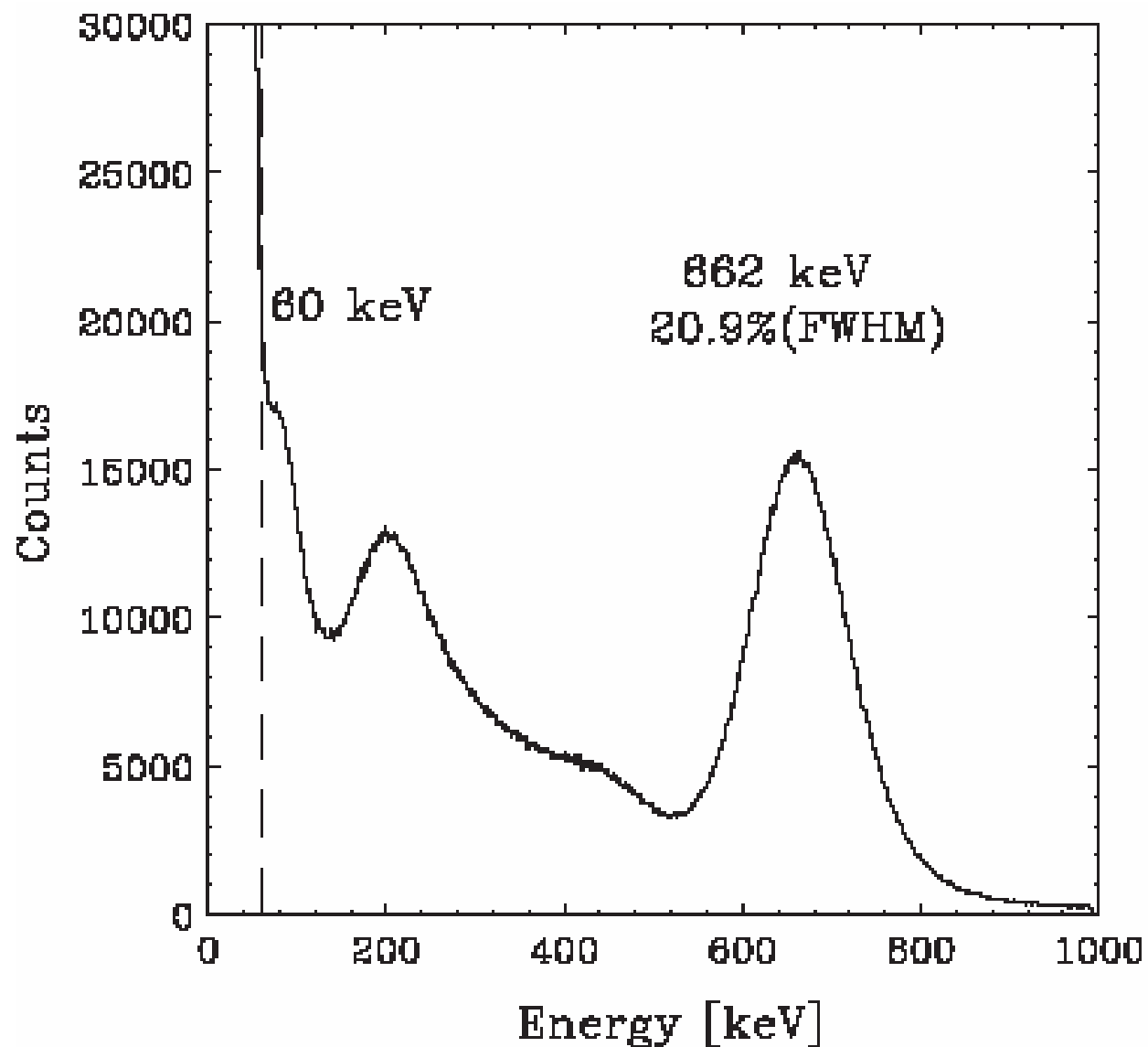
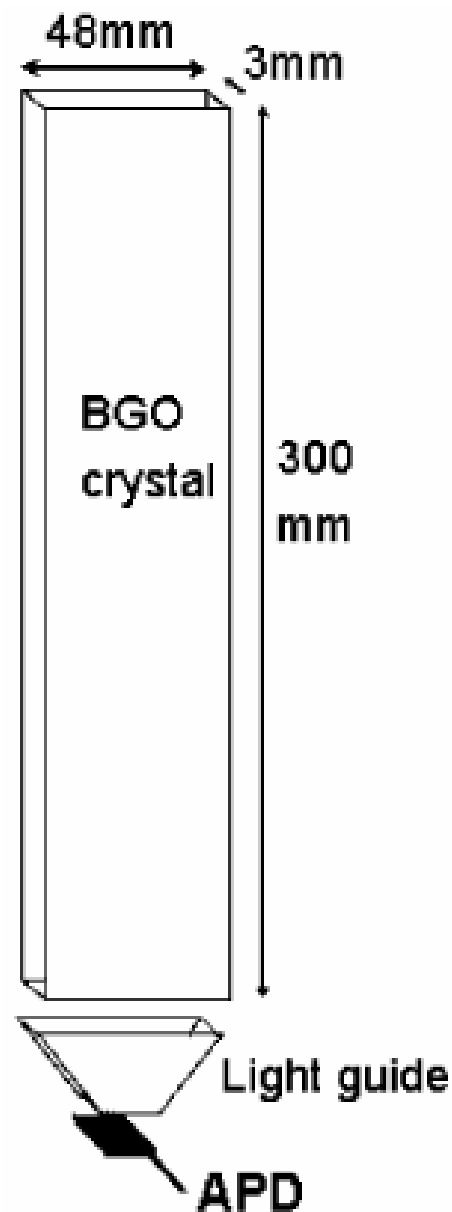
M.Balcerzyk et al. NIM A482(2002)



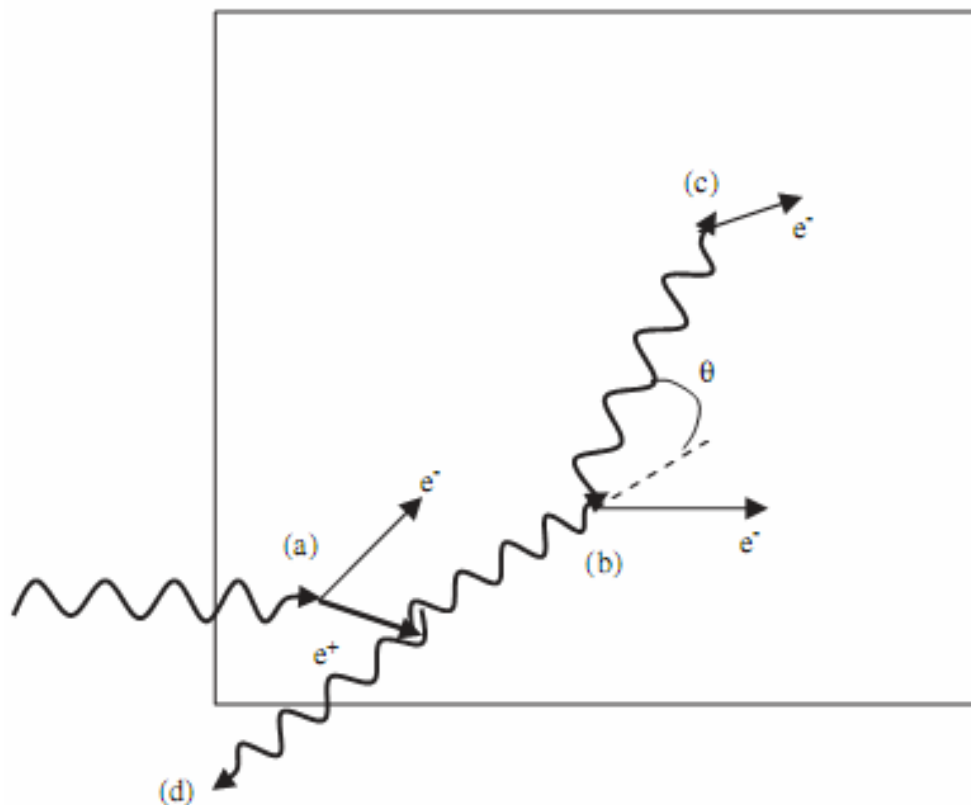
T.Ikagawa et al.
NIM A538(2005)

Сцинтиллятор	Форм	Разрешение, %	
10x10x10мм	мкс	ЛФД	ФЭУ
CsI(Tl)	10	4.9	6.0
BGO	3	8.3	10.4
GSO(Ce)	1	7.8	9.3

T.Ikagawa et al. NIM A538(2005)

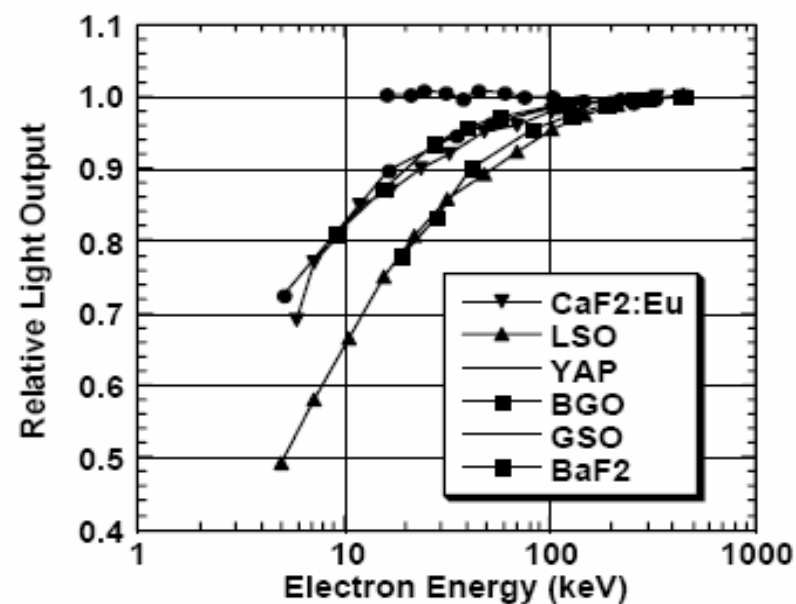
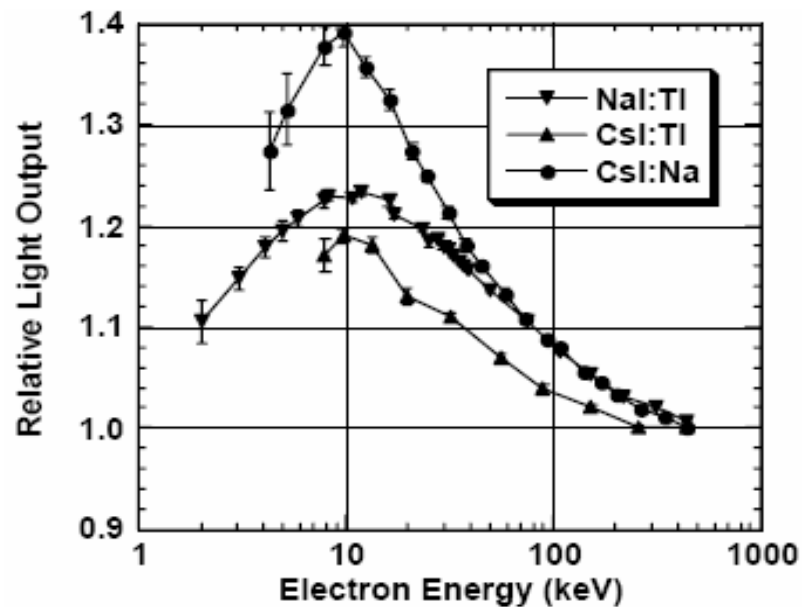


Непропорциональность отклика – важный фактор разрешения

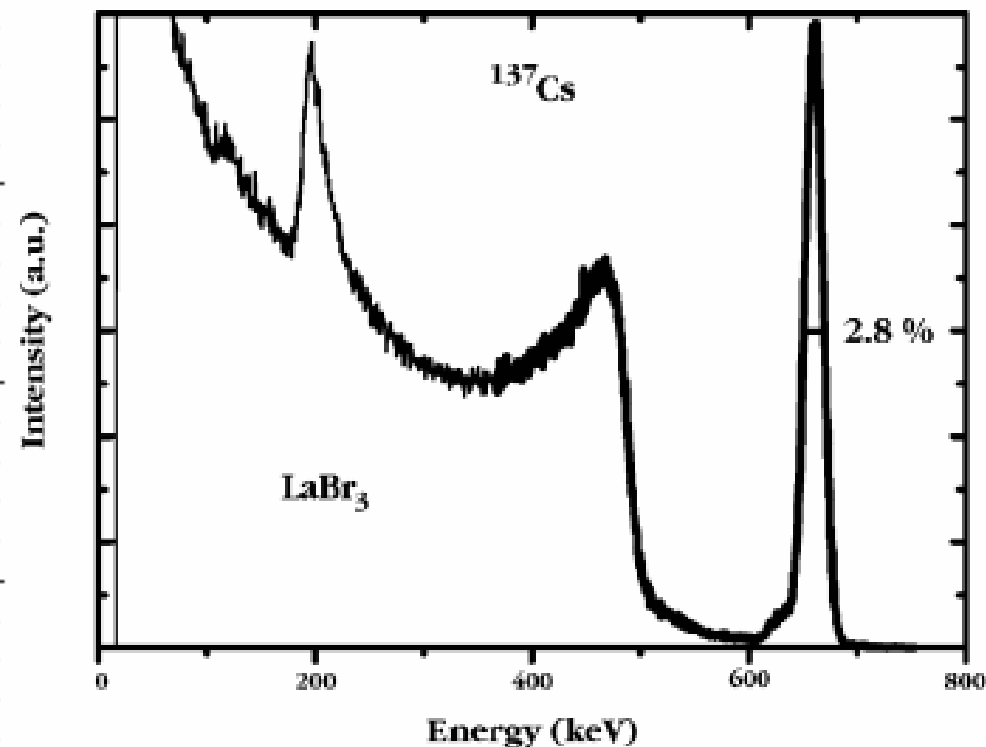
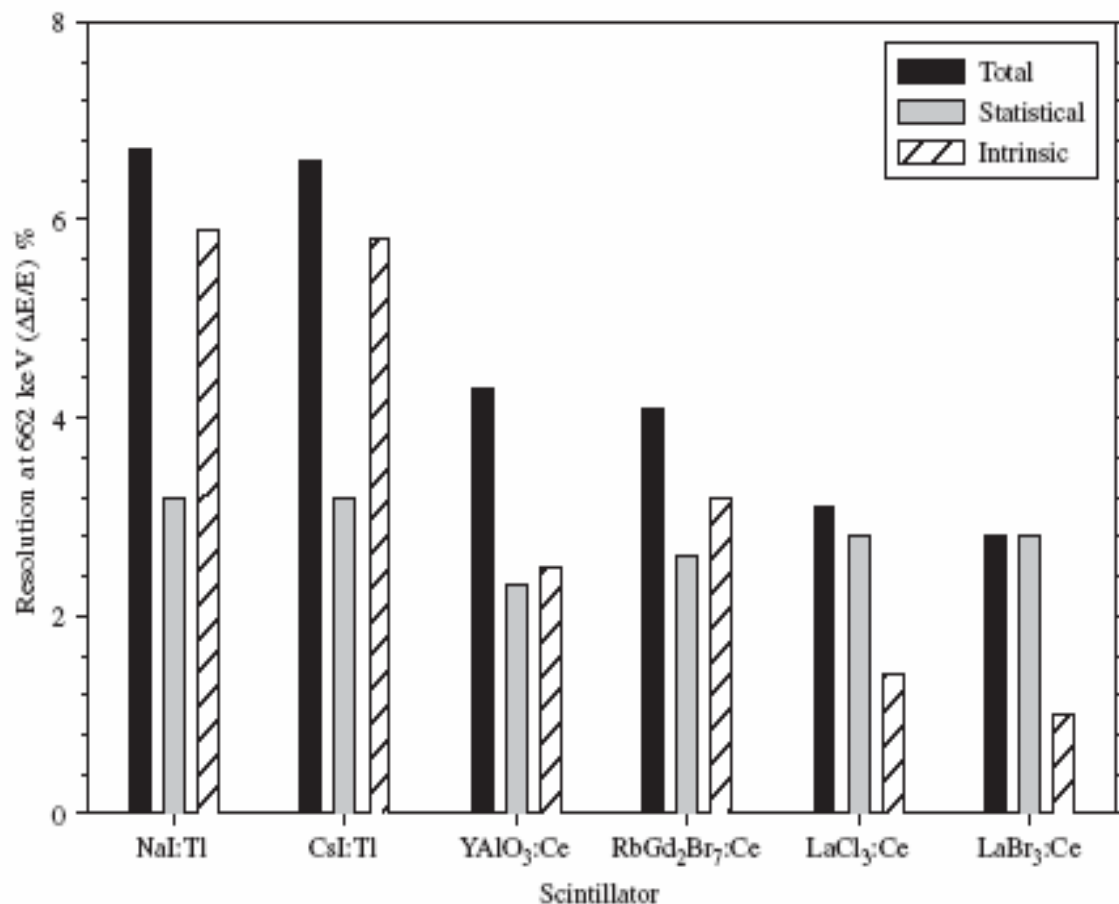


При непропорциональности отклика – суммарный выход света в сцинтилляции зависит от того, какими путями (порциями) теряется энергия

W. Mengesha et al.,
IEEE TransNuclSci NS-45 (1998)



Experimental separation of the **intrinsic resolution** of the crystal and **that of the transfer component is impossible**. Iredale [6] estimated a transfer resolution of 1.4% for NaI(Tl), Birks [31] has postulated a larger value of 4%. M. Moszynski et al., NIM A 484(2002)



C.W.E. van Eijk et al Radiat Meas 33(2001)

where $\bar{N}\bar{p}$ is the number of photoelectrons. For modern scintillation detectors, it is often assumed that **the transfer resolution is negligible** compared to the other components of the energy resolution.

**C. Kuntner, E. Auffray, P. Lecoq,
C. Pizzolotto, M. Schneegans
NIM A 493(2002)**

collection at the first dynode. In the modern scintillation detectors **the transfer component is negligible** compared to the other components of the energy resolution.

**M. Moszynski et al., NIM A 484(2002)
M. Moszynski, NIM A 505(2003)**

In scintillators, **the resolution is governed** mainly by **photoelectron statistics** and **proportionality** of light yield with respect to energy.

**R. Devanathan, L.R. Corrales,
F. Gao, W.J. Weber
NIM A 565(2006)**

$$R^2 = R^2_{\text{сцинт}} + \cancel{R^2_{\text{трансп}}} + R^2_{\text{стат}} + \cancel{R^2_{\text{шум}}}$$

Транспортный фактор и шумы не влияют на формирование разрешения?

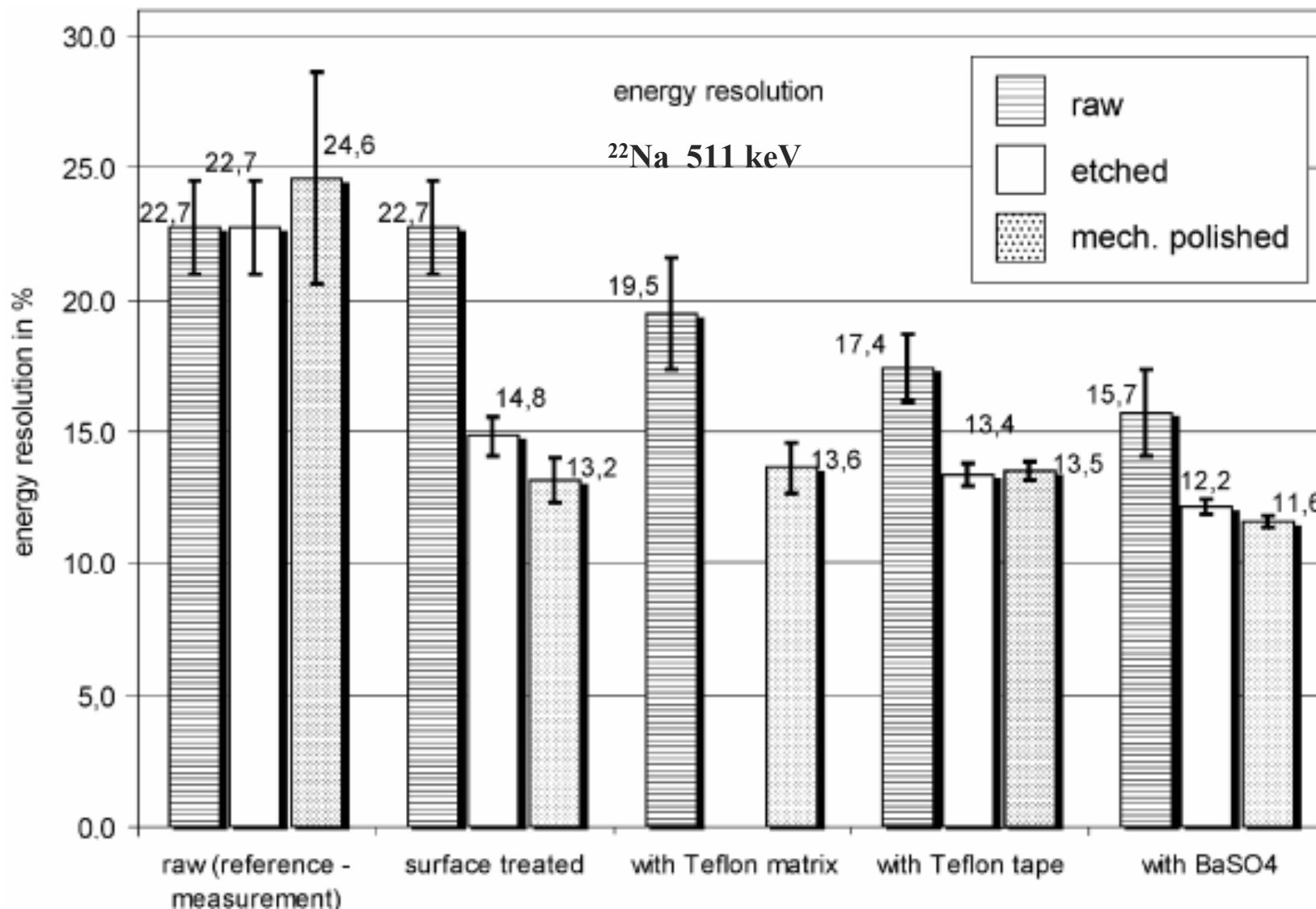
J. S. Huber, W. W. Moses, M. S. Andreaco, M. Loope, C. L. Melcher, R. Nutt, NIM A437(1999)

Высота образца <u>LSO</u> сечением 2x2 мм, мм	10	20	30
Выход света, фотоны	6696±612	5796±432	5328±288

G.M. Onyshchenko et al. NIM A 537 (2005)

Scintillator	Size (mm ³)	Photo-electrons/ MeV	Light collection coefficient (τ)
CsI(Tl)	10 × 10 × 10	2695	0.47
CSI(Tl)	10 × 10 × 5	3970	0.70
CSI(Tl)	10 × 10 × 2	5035	0.88
CWO	10 × 10 × 10	1668	0.44
CWO	10 × 10 × 5	2549	0.67
CWO	10 × 10 × 2	2790	0.73
BGO	10 × 10 × 10	675	0.50
BGO	10 × 10 × 5	785	0.59
BGO	10 × 10 × 2	956	0.71
GSO	10 × 10 × 10	784	0.40
GSO	10 × 10 × 05	1321	0.68
GSO	10 × 10 × 02	1399	0.72

Оптимизация разрешения для LSO 2x2x10мм с различной обработкой и упаковкой



U.Heinrichs et al.
NIM A486(2002)

Отражатель Отражающая
способность
(404nm), %

BaSO4	97.7
0.3мм	
Тефлон	93.0
(лента 0.3мм)	
Тефлон	71.3
(сетка 1.0мм)	

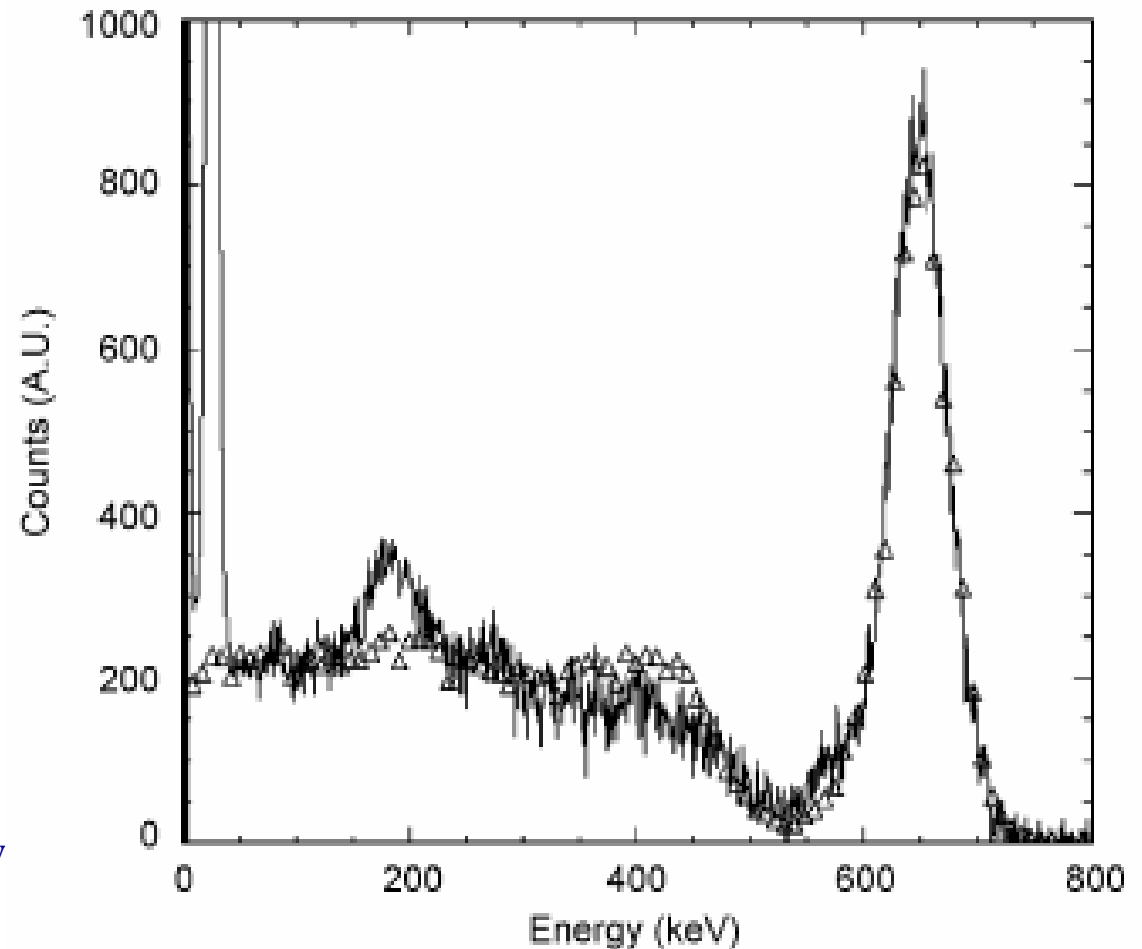
H. Rothfuss et al. NIM A 580 (2007)

10x10x10mm³ and a 4x4x20mm³ LSO crystals

In order to evaluate the **separate contribution** of **nonproportionality** and **optical processes** to the final energy resolution, the **simulation was run without non-proportionality effect**. The contribution of non-proportionality can be estimated using the following equation:

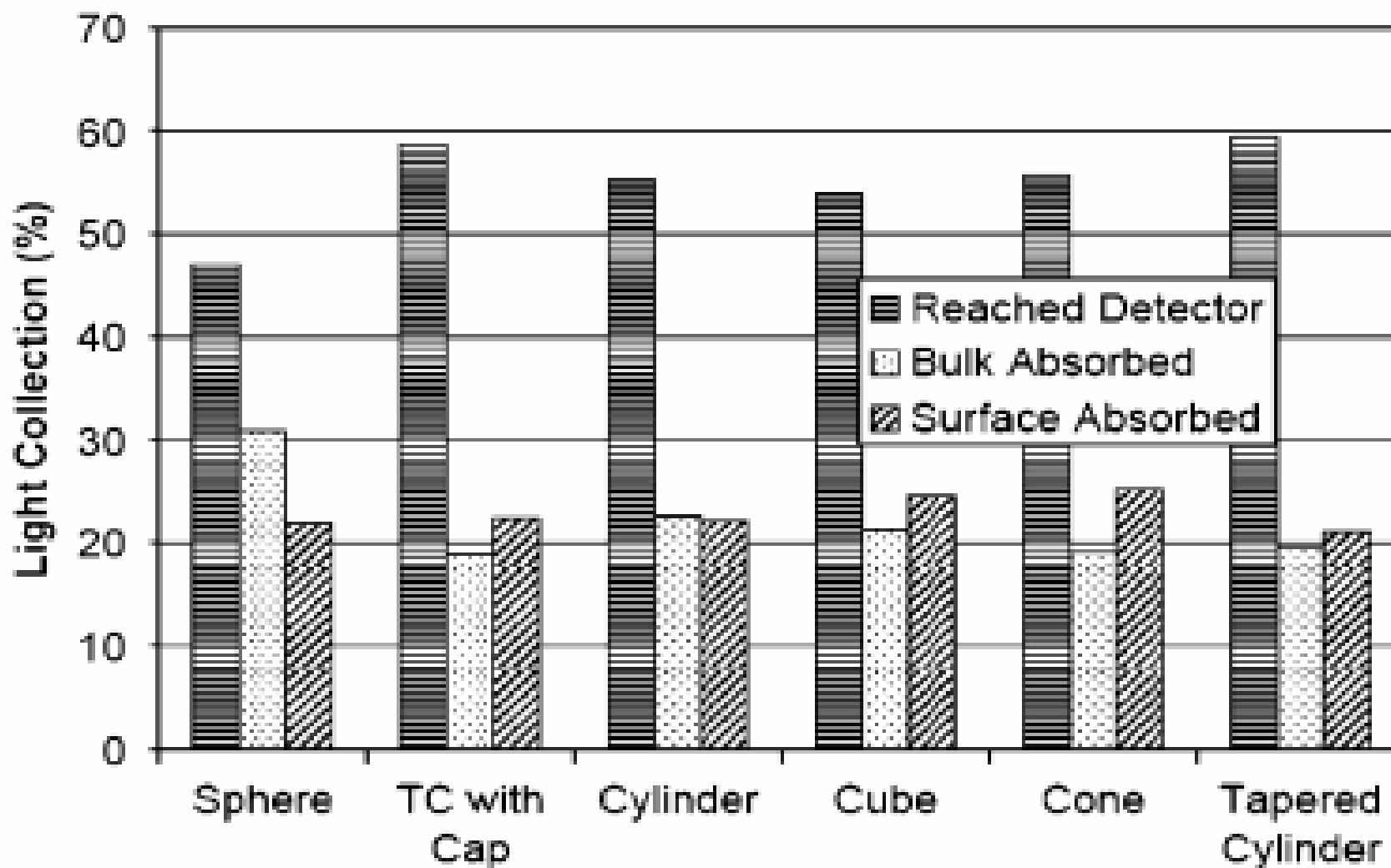
$$E_{NP} = (E^2 - E_{OPTIC}^2)^{1/2}$$

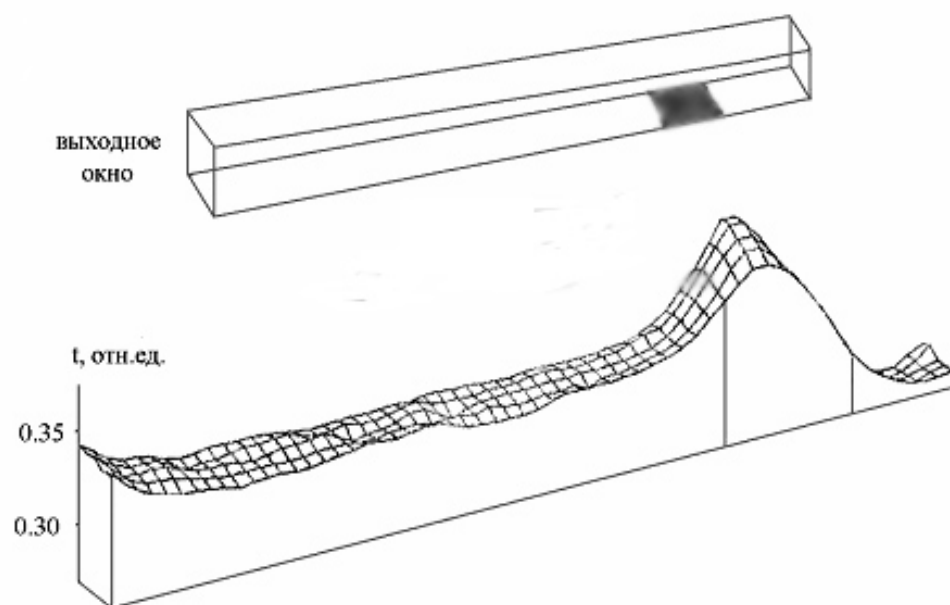
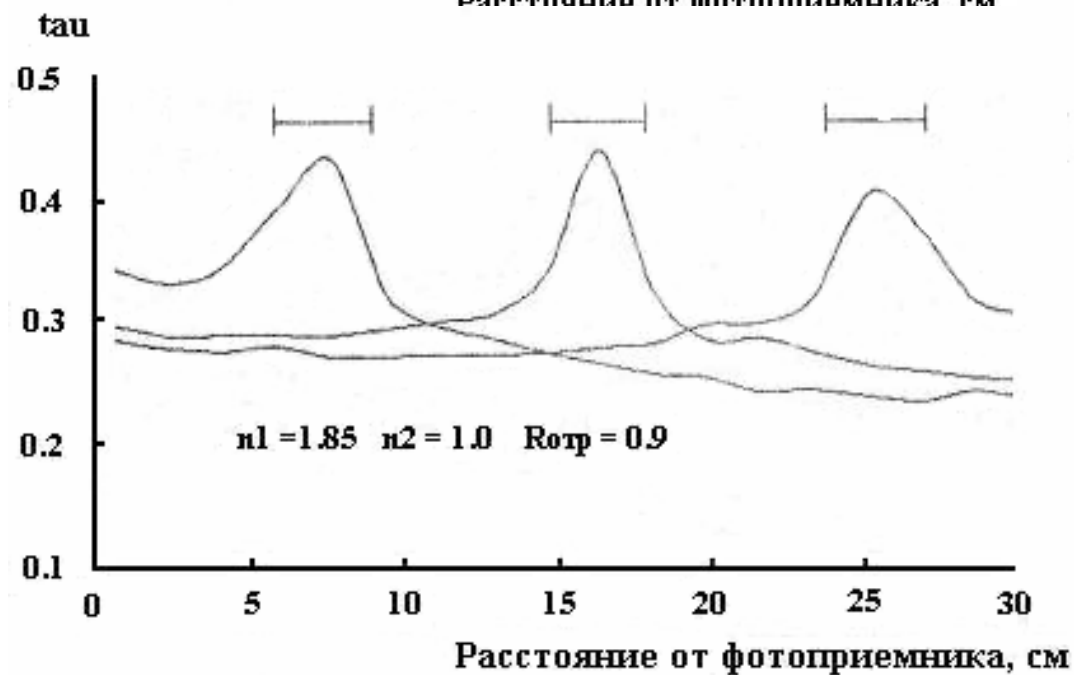
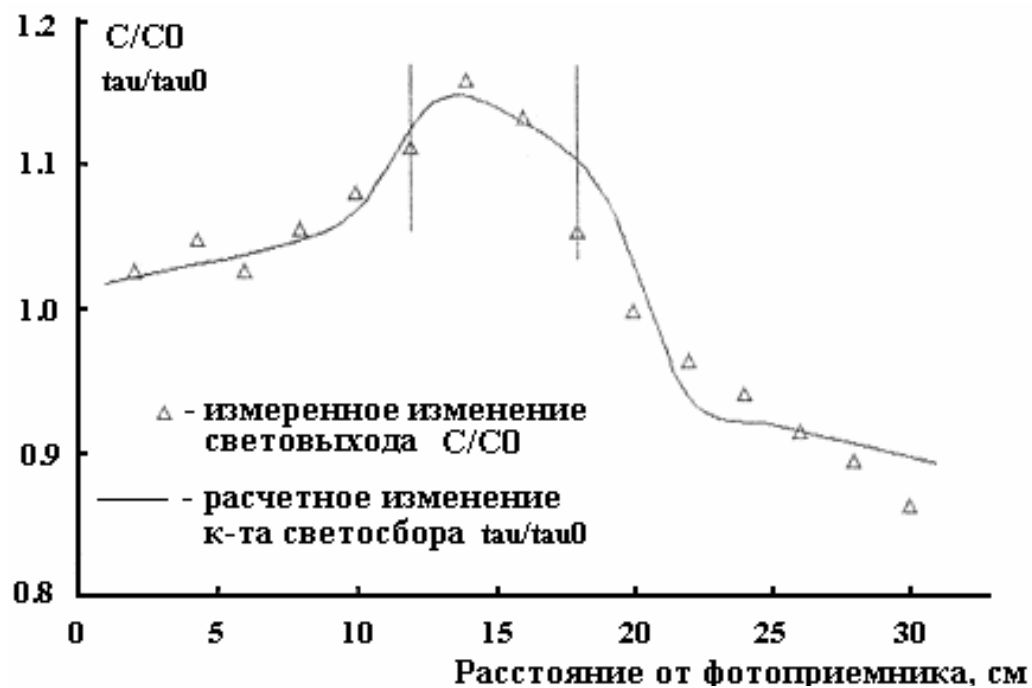
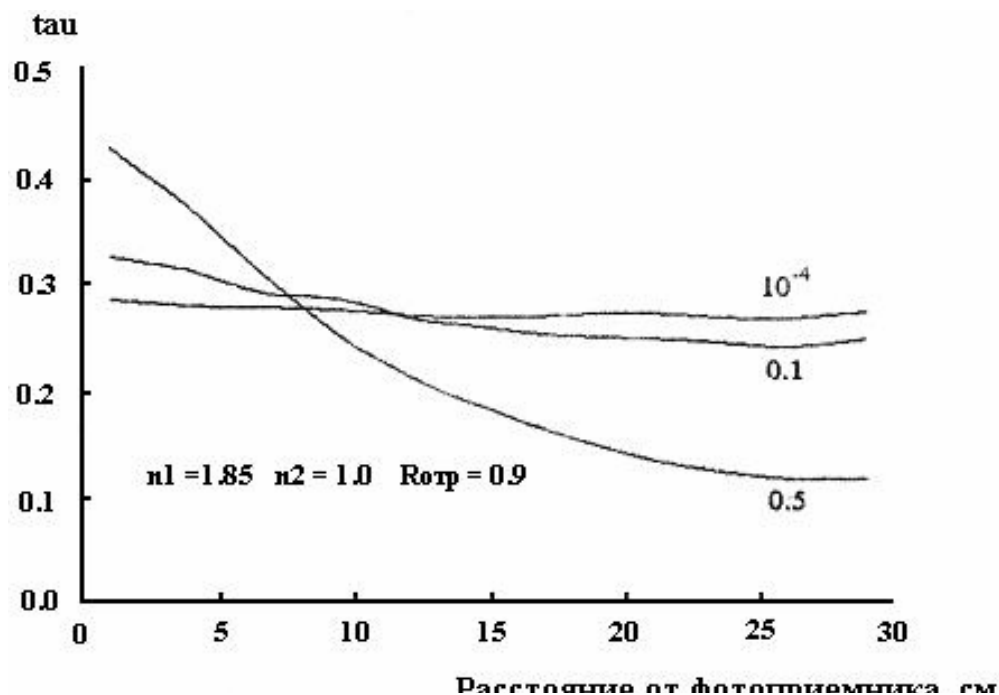
The result of the simulation showed that the **contribution** of the **non-proportionality** to the energy resolution was **5.2%**, while the combined **contribution** of the **remaining processes (mainly optical)** was **9.3%**.



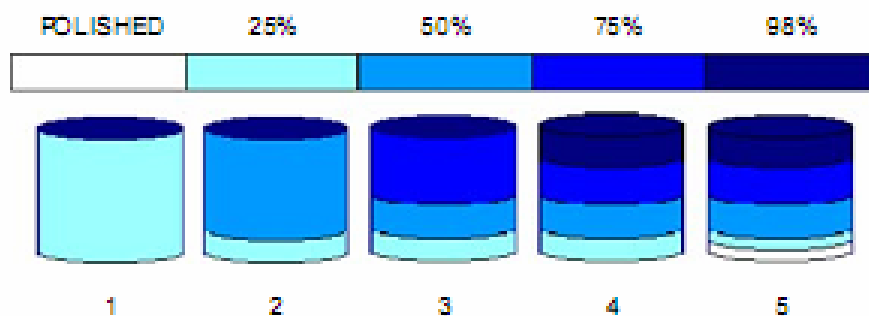
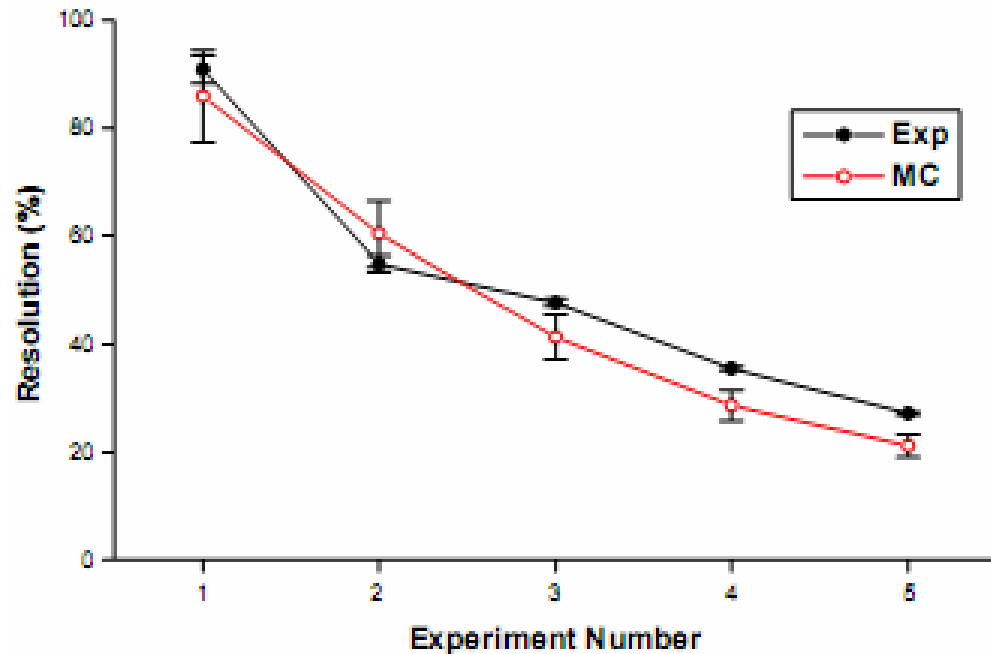
Светособираание в кристаллах ВГО объемом 5 см³ различной формы

G.Hull et al. NIM A585(2008)

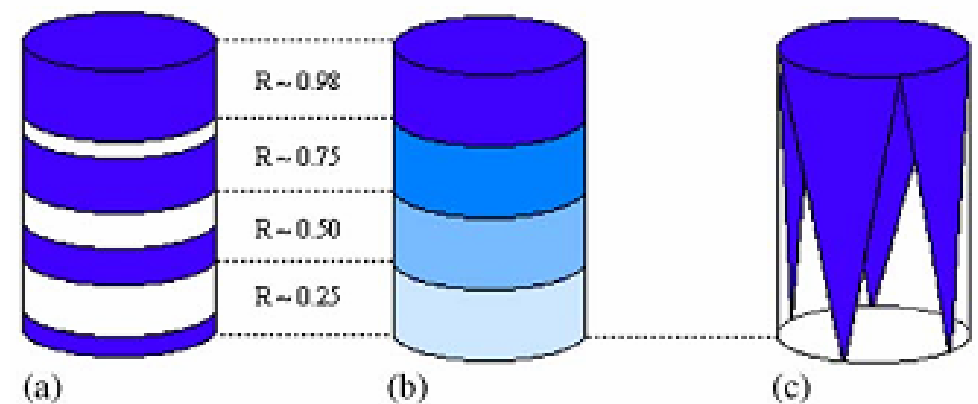
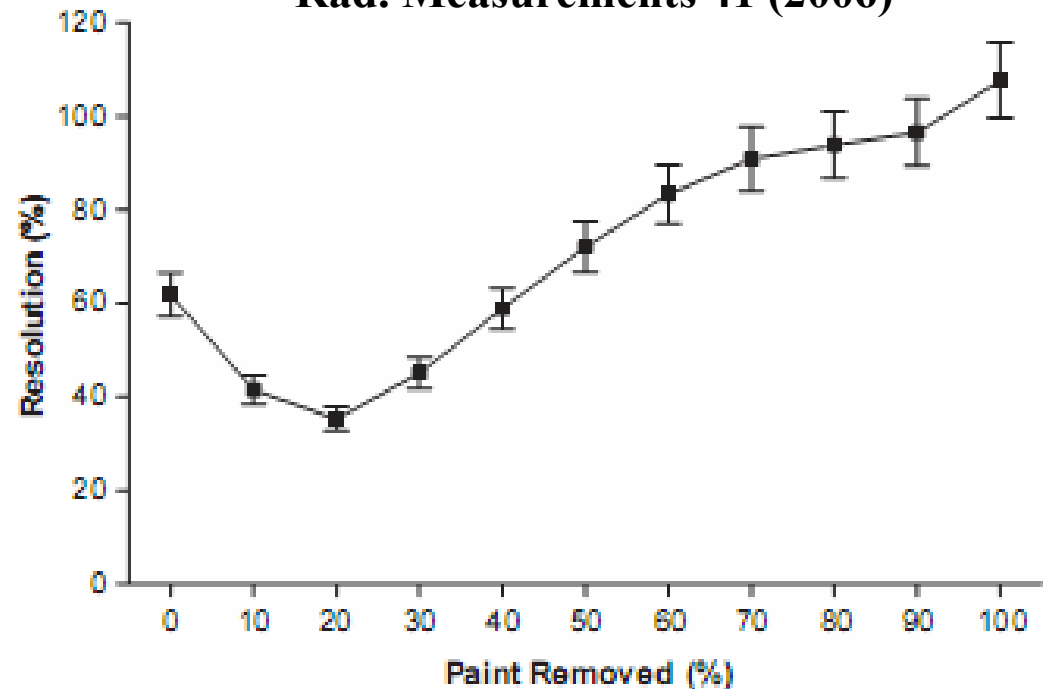




N. Ghal-Eh et al. NIM A 516 (2004)

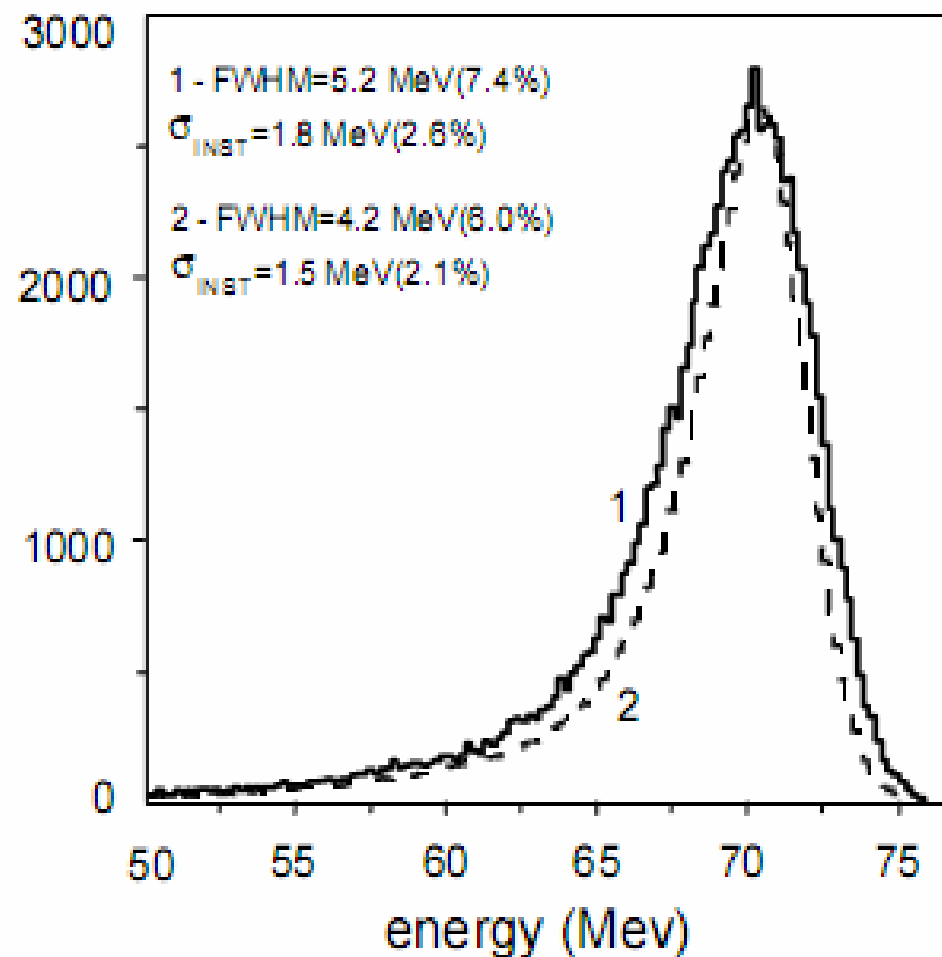
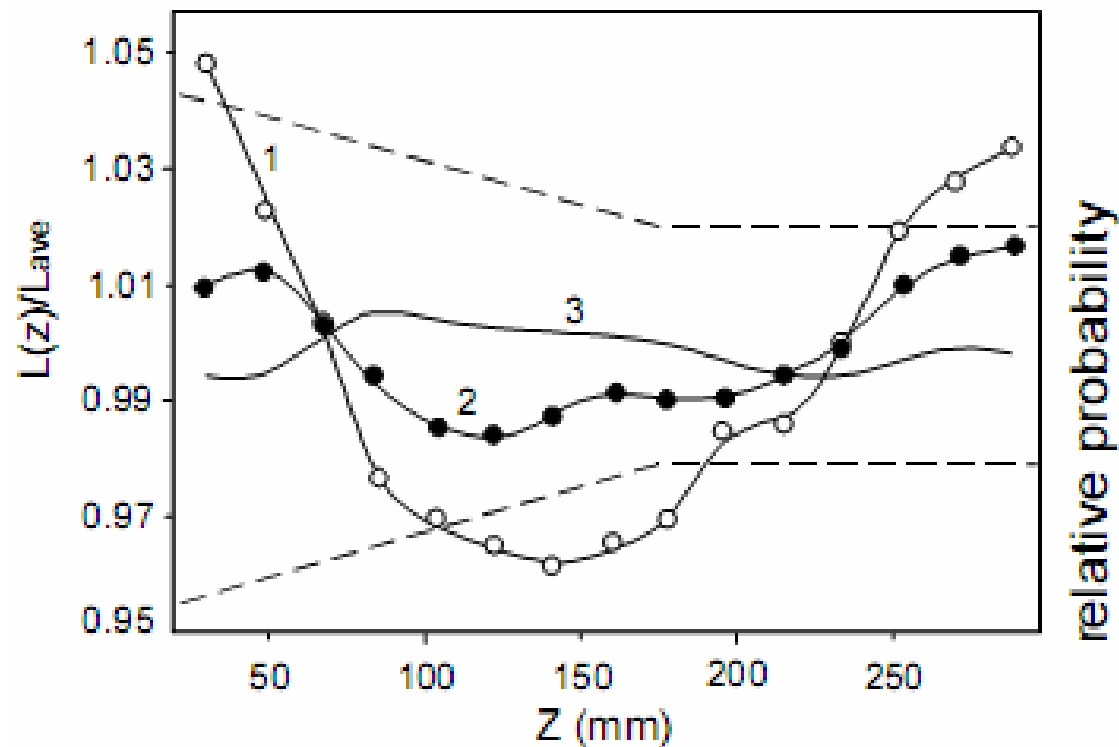


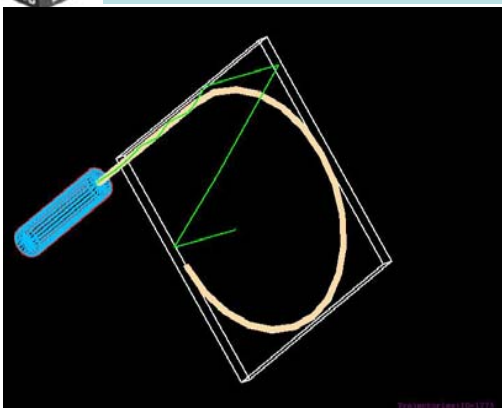
N. Ghal-Eh, R. Koohi-Fayegh
Rad. Measurements 41 (2006)



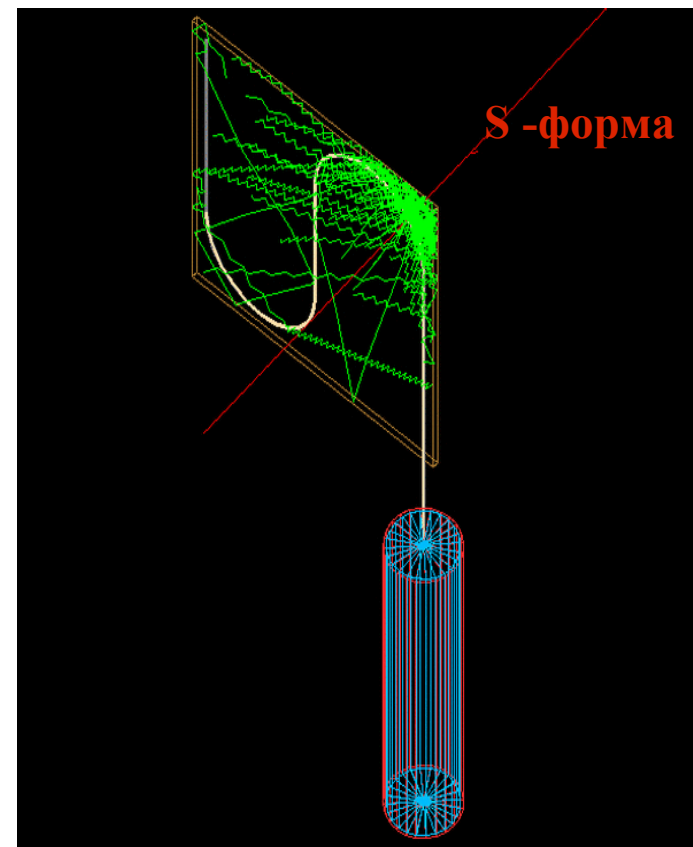
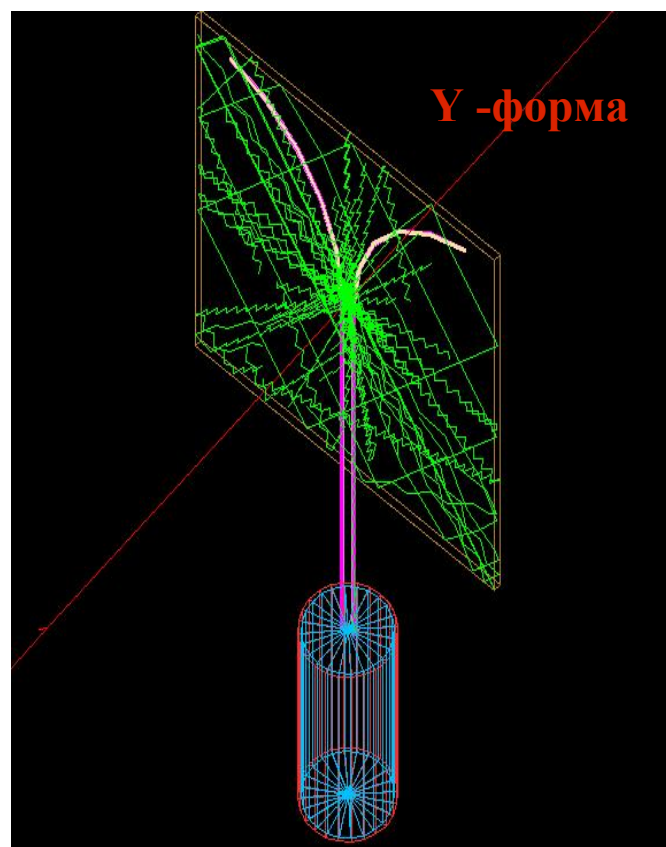
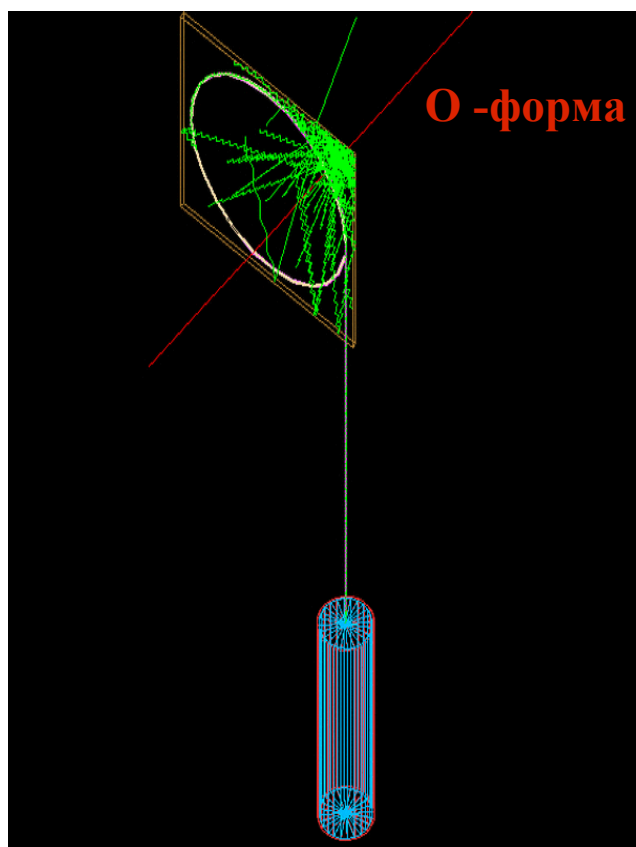
Избирательная обработка, спектросмещающие покрытия
– оптимизация однородности светосбора и разрешения

L.A. Andryustchenko et al.
NIM A 486 (2002)





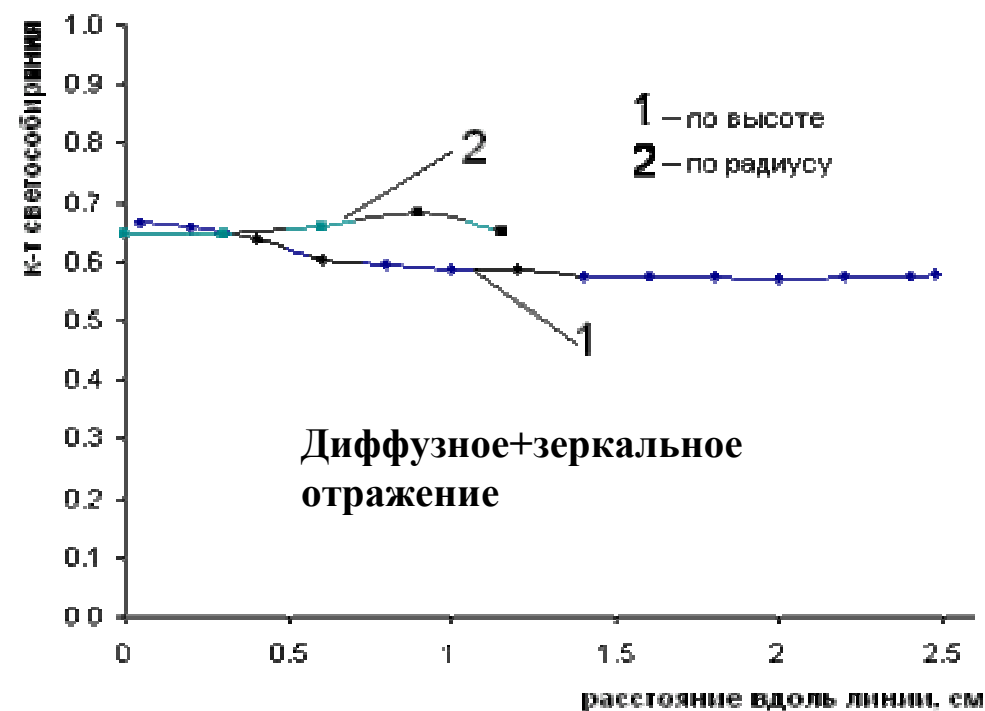
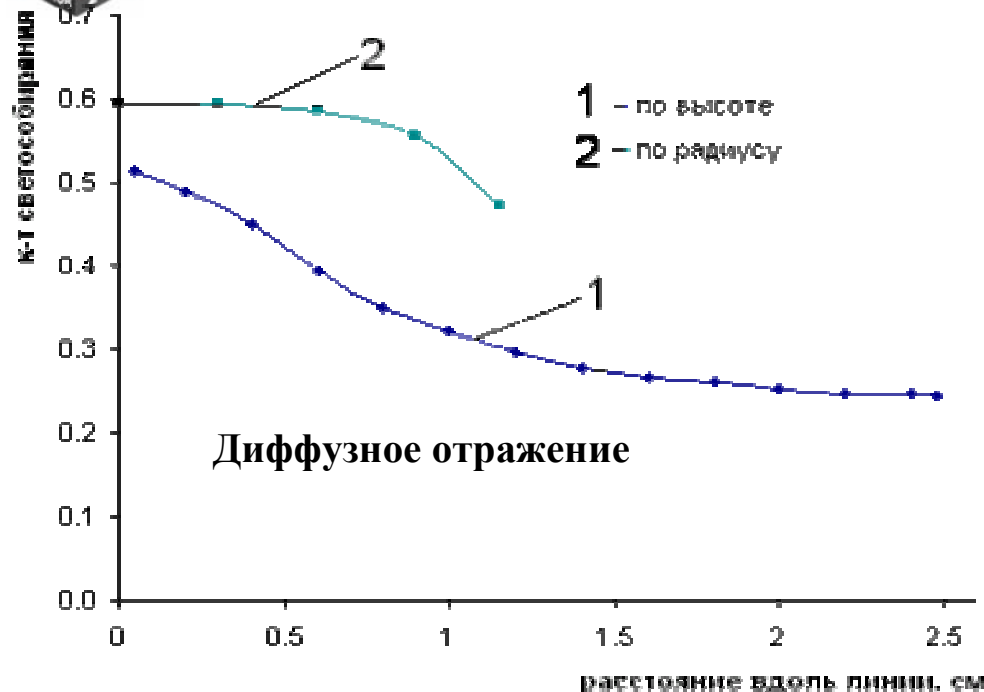
F. Duru, U. Akgun, A.S. Ayan, J. Olson, Y. Onel
University of Iowa,
HCAL Meeting, October, 2005, FermiLab



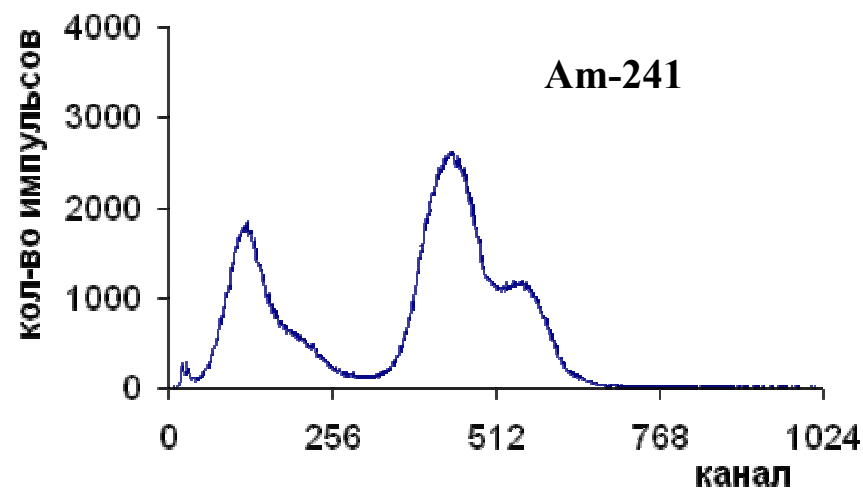
Y-максимальный световой выход (O : S : Y = 1 : 9.9 : **11.4**)

S-наилучшая однородность светосбора Max/Min (O : S : Y = 44 : **5** : 8)

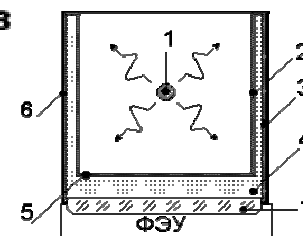
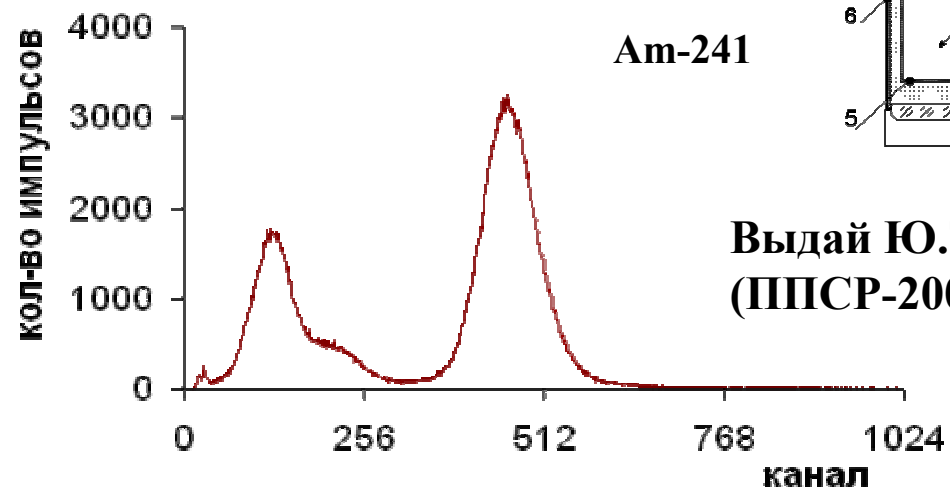
Оптимизация разрешения детектора с колодцем



Амплитудный спектр импульсов



Амплитудный спектр импульсов



Возможности оптимизации разрешения:

- 1) все факторы, определяющие разрешение сцинтилляционных детекторов существенны и поддаются оптимизации
- 2) преобладание определенного фактора, необходимость и возможность его оптимизации проявляются в конкретной задаче регистрации ИИ

Возможные пути оптимизации:

$R^2_{\text{сцинт}}$ - путем подбора материала сцинтиллятора и оптимизации технологии его получения

$R^2_{\text{трансп}}$ - подбор формы и размеров сцинтиллятора, обработка поверхности, подбор отражателя, спектросмещающие световоды и покрытия
уменьшение неоднородность квантовой эффективности фотокатода
уменьшение неоднородность эффективности сбора фотоэлектронов

$R^2_{\text{стат}}$ - применение фотоприемника с высокой квантовой эффективностью, согласование спектров сцинтиллятора и фотоприемника

$R^2_{\text{шум}}$ - подбор фотоприемника и режимов его работы