

Получение гамма-квантов высоких энергий на накопителе ИКИ НЦФМ с помощью обратно отражённого синхротронного излучения

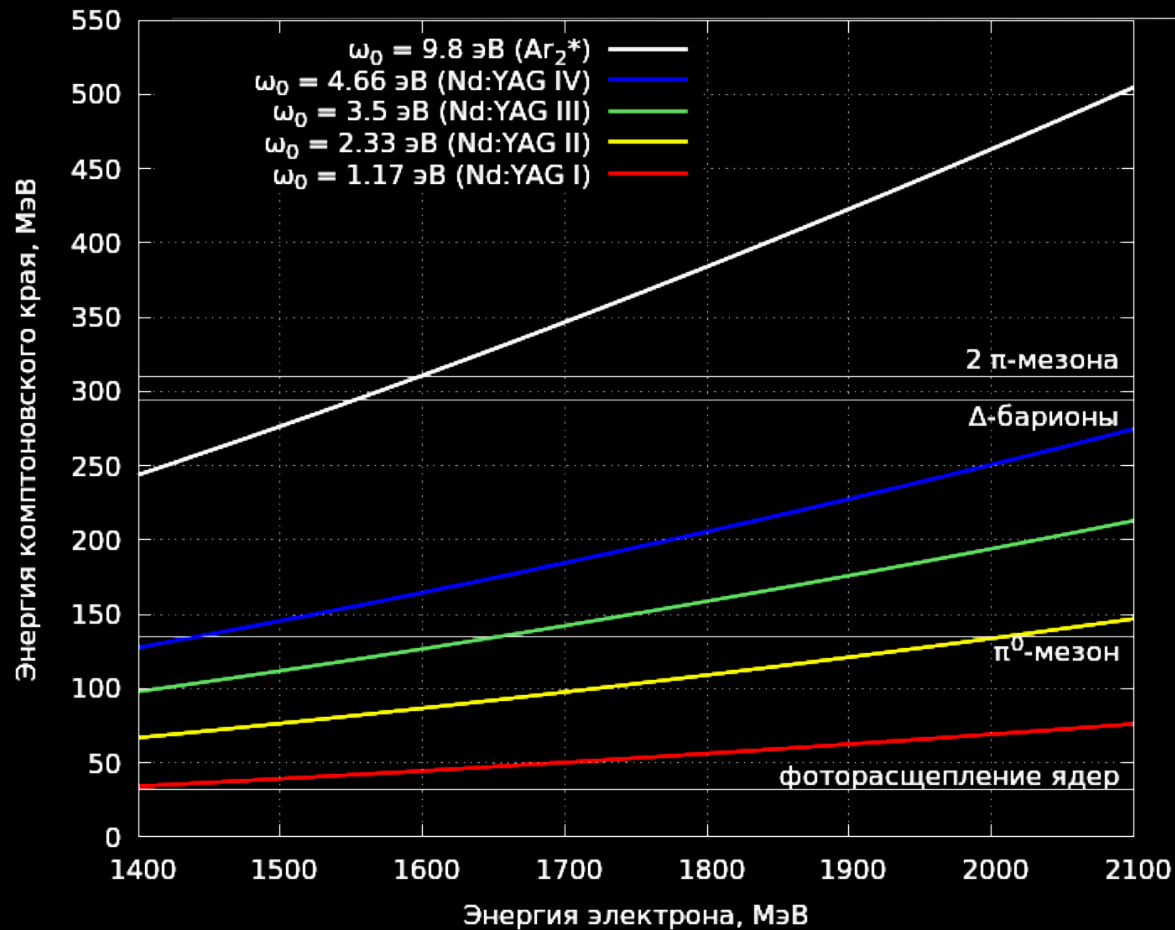
(перспективы адронной фотоники)

Каминский Вячеслав Викторович*,
Никифоров Данила Алексеевич
ИЯФ СО РАН (Новосибирск)

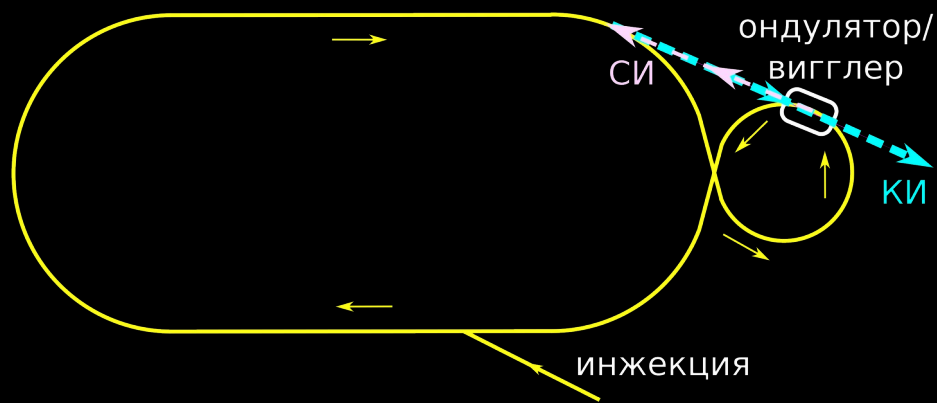
«Высокие энергии» – что это?

Пороги рождения на ядрах:

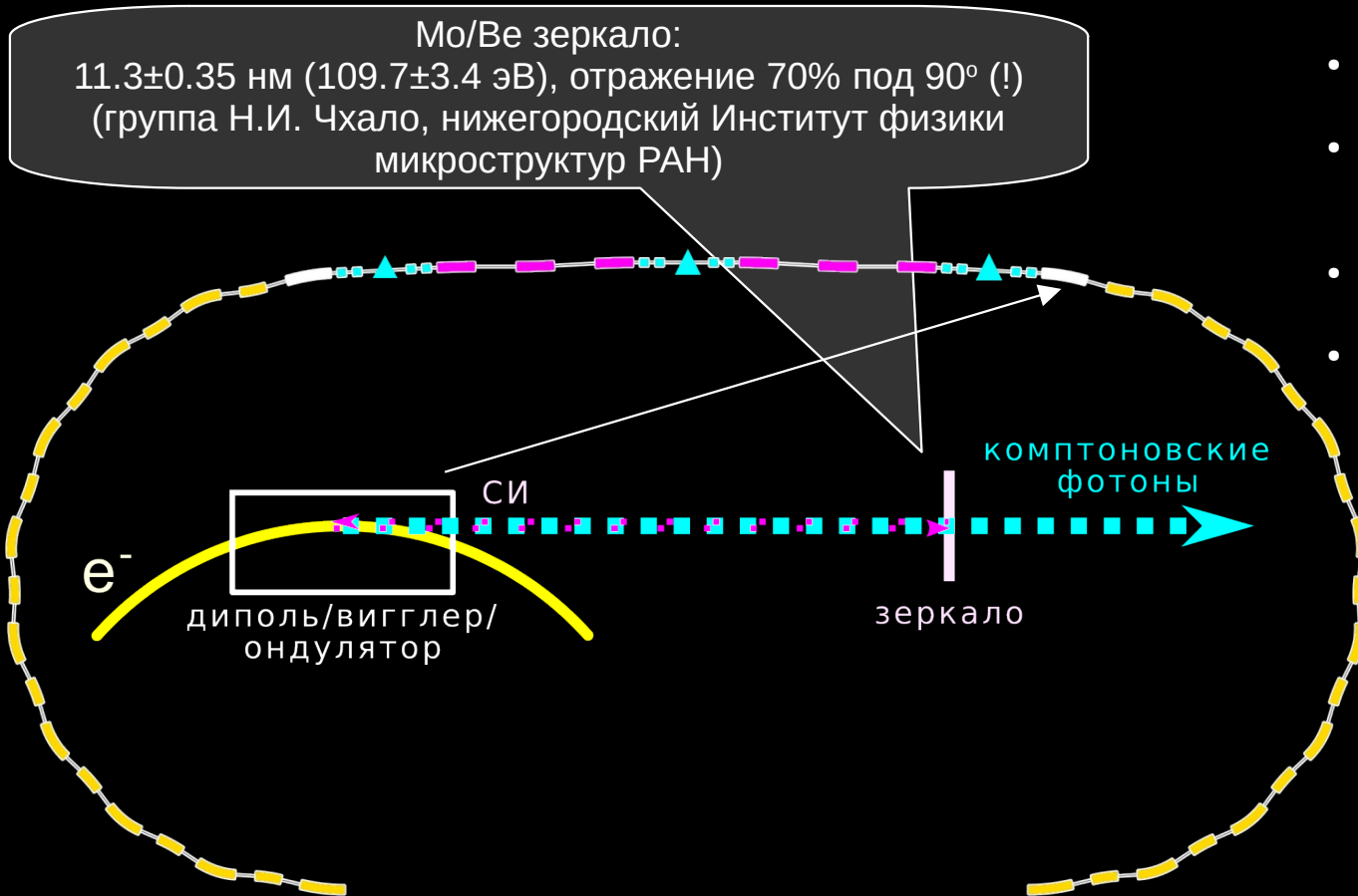
- π^\pm -мезоны: 148 МэВ, 151 МэВ
- два пиона: 308 МэВ, 320 МэВ;
- η -мезоны: 708 МэВ;
- Λ -гипероны и каоны: 911 МэВ, 915 МэВ.
- ...



Синхротронное излучение как источник фотонов

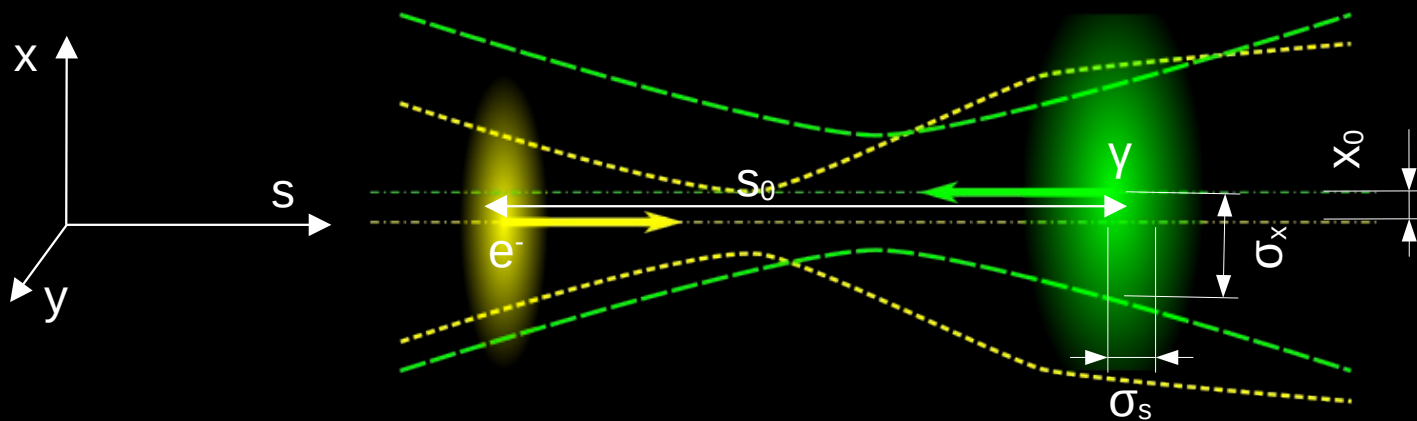


Синхротронное излучение как источник фотонов



- Энергия электронов 0.4...2 ГэВ
- Комptonовский край 160... 1541 МэВ
- Ток 100 мА, 90 сгустков
- Доворотный магнит 0,667 Тл (2 ГэВ)

Как рассчитывать поток?



- Число событий в единицу времени в самом общем случае (лобовая встреча):

$$\dot{N} = 2 \sigma_C(E, \lambda) f \int_{-\infty}^{\infty} \rho_e(x, y, s - s_0) \rho_\gamma(x, y, s + s_0) dx dy ds ds_0$$

кинематический фактор Мёллера

сечение

частота пересечений

орбита

Гауссовы пучки (за неимением лучшего)

число частиц в пучке

$$\rho = \frac{N}{\sqrt{(2\pi)^3 \sigma_x(s) \sigma_y(s) \sigma_s}} \exp\left(-\frac{(x - x_0(s))^2}{2\sigma_x^2(s)} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2(s)} - \frac{(s \pm s_0)^2}{2\sigma_s^2}\right)$$

Как рассчитывать поток?

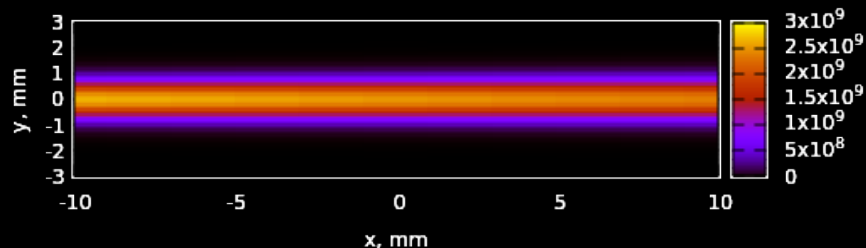
- Для гауссовых пучков

$$\dot{N} = \frac{2 \sigma_c(E, \lambda) N_y N_e f}{\sqrt{(2\pi)^3} \sqrt{\sigma_{ys}^2 + \sigma_{es}^2}} \times \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\exp\left(\frac{-x_0^2(s)}{2[\sigma_{yx}^2(s) + \sigma_{ex}^2(s)]} - \frac{2s^2}{\sigma_{ys}^2(s) + \sigma_{es}^2(s)}\right)}{\sqrt{\sigma_{yx}^2(s) + \sigma_{ex}^2(s)} \sqrt{\sigma_{yy}^2(s) + \sigma_{ey}^2(s)}} ds$$

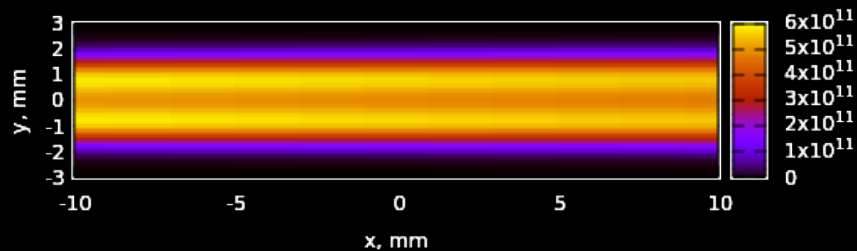
- Приближение: рэлеевская длина намного больше длин сгустков электронов и СИ, огибающие слабо меняются, размеры электронного и фотонного пучков равны.

$$\dot{N} = \frac{\sigma_c(E, \lambda) N_y N_e f}{4 \sqrt{\pi^3} \sigma_s \sigma_{x0} \sigma_{y0}} \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(\frac{-s^4}{16 \sigma_{x0}^2 R^2} - \frac{s^2}{\sigma_s^2}\right) ds$$

- Зеркало диаметром 2 см на 1.7 м от точки встречи.
- Все расчёты СИ в программе СРЕСТРА



0.4 ГэВ, 0.16 Тл, 109.3 эВ > E_{кр} (17 эВ)



2 ГэВ, 1.48 Тл, 109.3 эВ << E_{кр} (3937 эВ)

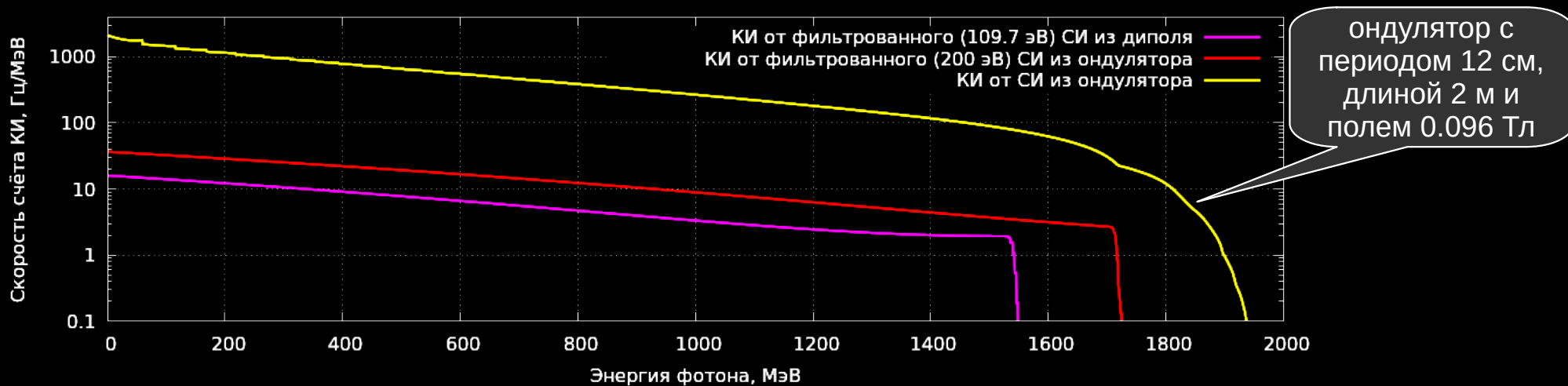
Оценки потока

Энергия e- пучка, МэВ	1200	2000
Разброс энергий	0.005	
Продольный размер пучка, мм	40	
Средняя энергия комптоновского края, МэВ	458.8	1541.4
Поле, Тл	0.37	0.616
Размер пучка x, мкм	622	597
Размер пучка y, мкм	49	38
Размер зеркала	40x10 мм	
Полная мощность СИ, Вт	0.65	4.9
Энергия максимума спектра СИ (и критическая энергия), эВ	100 (352)	500 (1640)
Мощность СИ на 109.3 эВ, мВт	61.8	84.5
Поток комптоновских фотонов, кГц	14	15.3

- Зависимость потока от энергии нелинейная, так как критическая энергия СИ растёт с энергией, доля отражённого СИ падает, также меняется размер пучка
- Можно оптимизировать поток, но не выше сотни кГц.
- Что делать?
 - Увеличить размер зеркала
 - Расширить и сдвинуть в короткие волны полосу отражения
 - Поставить вигглер (длинноволновый и длинный).

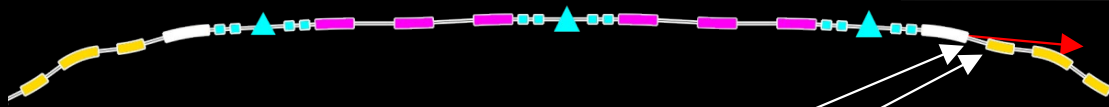
Особенности

- Широкополосное начальное излучение → неустранимое уширение спектра КИ ~3% → коллимирование бесполезно.

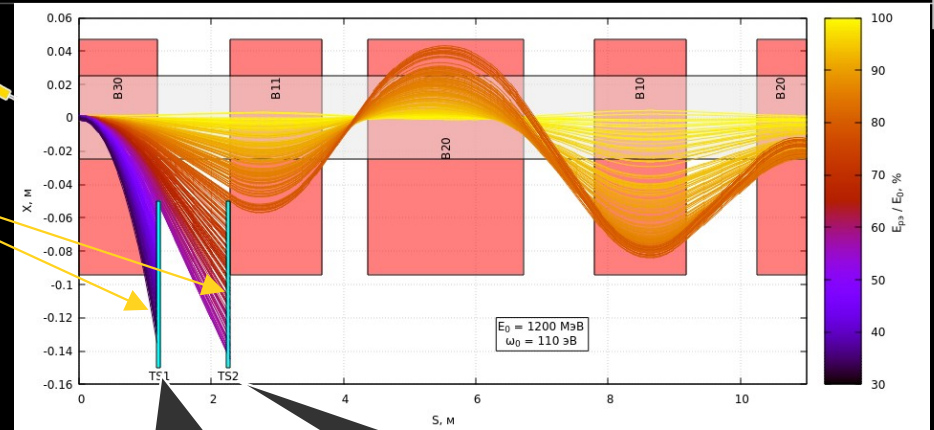


- С повышением энергии края в спектрах снижается доля жёсткого излучения («жёсткость» $4\gamma\omega_0/m$ растёт)
- Спасёт только система мечения.

Особенности

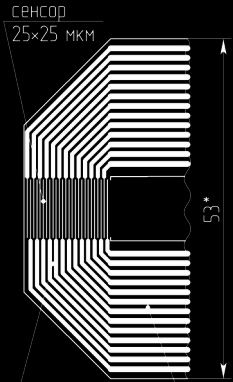


- Система мечения должна состоять из нескольких частей для всего диапазона энергий.
- Энергетическое разрешение системы мечения может быть от 0.2 до 1%.
- У каждого фотона на мишени известна энергия. Почти нет одновременных пар фотонов.
- Для калибровки системы мечения нужен хороший калориметр.
 - Калибровка калориметра по комптоновским краям при разных энергиях электронов и разных лазеров и краю тормозного излучения.
 - Нужно измерение энергии пучка с точностью лучше разрешения калориметра ($\sim 10^{-3}$). Например, по комптоновскому краю от CO_2 лазера с помощью СЧГ детектора
- Практическая оценка потока в полосе $\sim 0.5\%$ энергии пучка: $20 \text{ кГц} * 0.005 = 0.1$ фотона в секунду

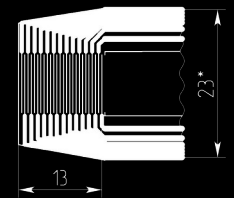


< 58 % E_0

58 ... 77 % E_0



шлейф 50x50 мкм



шлейф 75x75 мкм



вариант компактного координатного детектора для системы мечения

Заключение

- Можно получать высокие энергии фотонов на ИНОК с помощью УФ лазеров:
 - До 300 МэВ, «традиционные» лазеры Nd:YAG/Nd:YLF/Yb:YAG, много фотонов
 - До 460 МэВ, эксимерные лазеры, мало фотонов
- Можно получать высокие энергии фотонов на ИНОК с помощью синхротронного излучения:
 - Единицы-десятки кГц с дipoля, больше с длинных генераторов СИ
 - Больше при оптимизации полосы отражения зеркала относительно критической энергии СИ
 - Коллимировать излучение бесполезно, обязательно использовать систему мечения
 - Есть ли потребители?
 - Адронная фотоника
 - Метрология электромагнитных детекторов
 - Реализация такой технологии интересна сама по себе