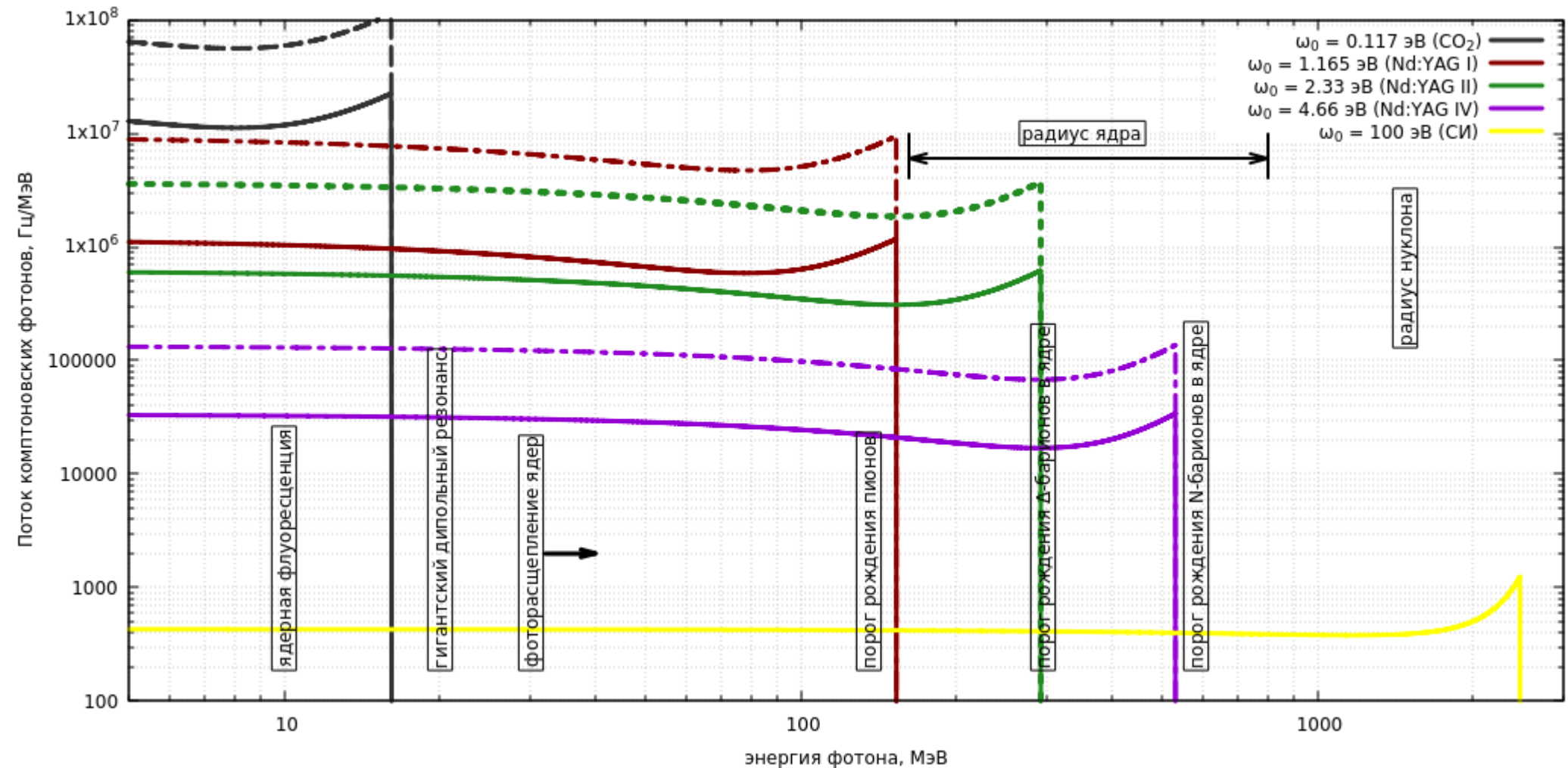


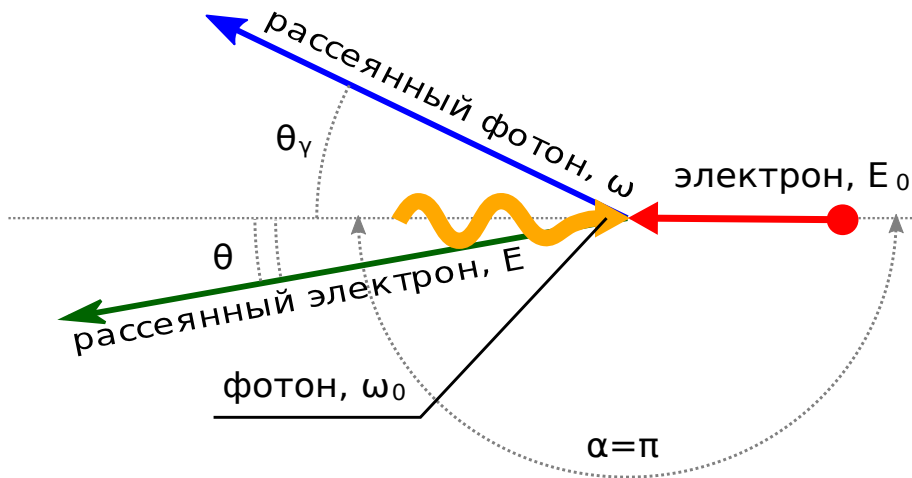
Проект интенсивного источника фотонов с энергией до 2500 МэВ на синхротроне СКИФ



Каминский В.В.

Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН (Новосибирск)

Обратное комптоновское рассеяние



- Максимальная энергия гамма-кванта

$$\omega_{\max} = \frac{E_0 \lambda}{1 + \lambda} \stackrel{\lambda \ll 1, \alpha \approx \pi}{\approx} 4 \gamma^2 \omega_0, \quad \lambda = \frac{4 E_0 \omega_0}{m^2} \sin^2 \alpha / 2$$

- Угол рассеяния гамма-кванта

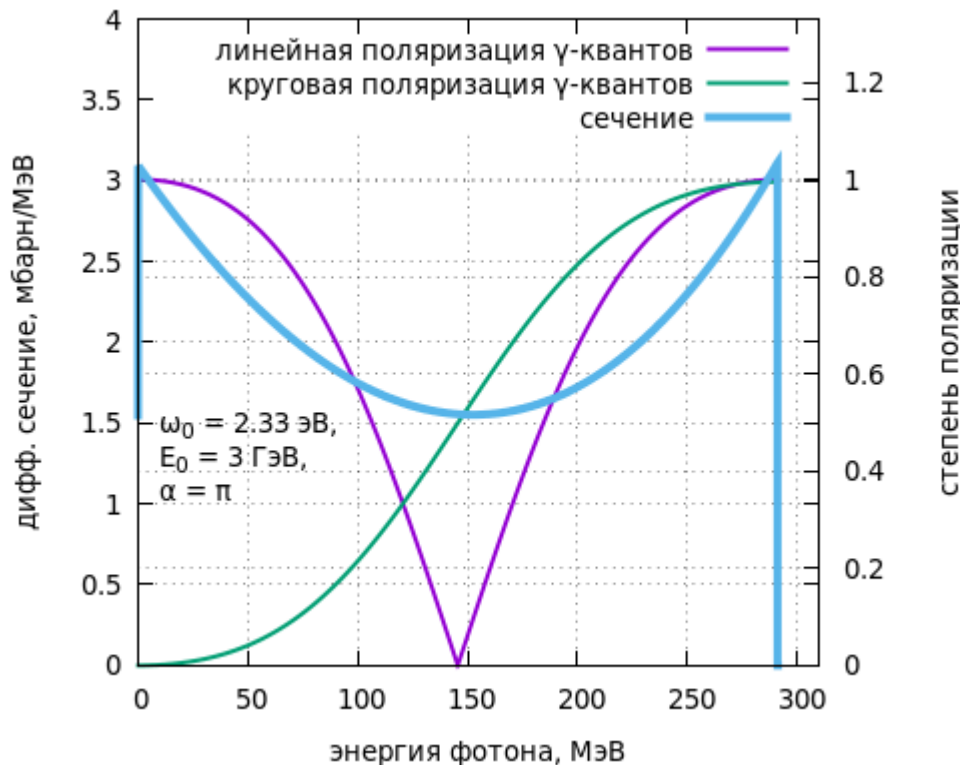
$$\omega(\theta) = \frac{\omega_{\max}}{1 + (\theta / \theta_c)^2}, \quad \theta_c(\omega) = \frac{m_e}{E_0} \sqrt{1 + \frac{4 E_0 \omega}{m^2}}$$

- Энергия электрона отдачи

$$E = E_0 - \omega, \quad E_{\min} = \frac{E_0}{1 + \lambda}$$

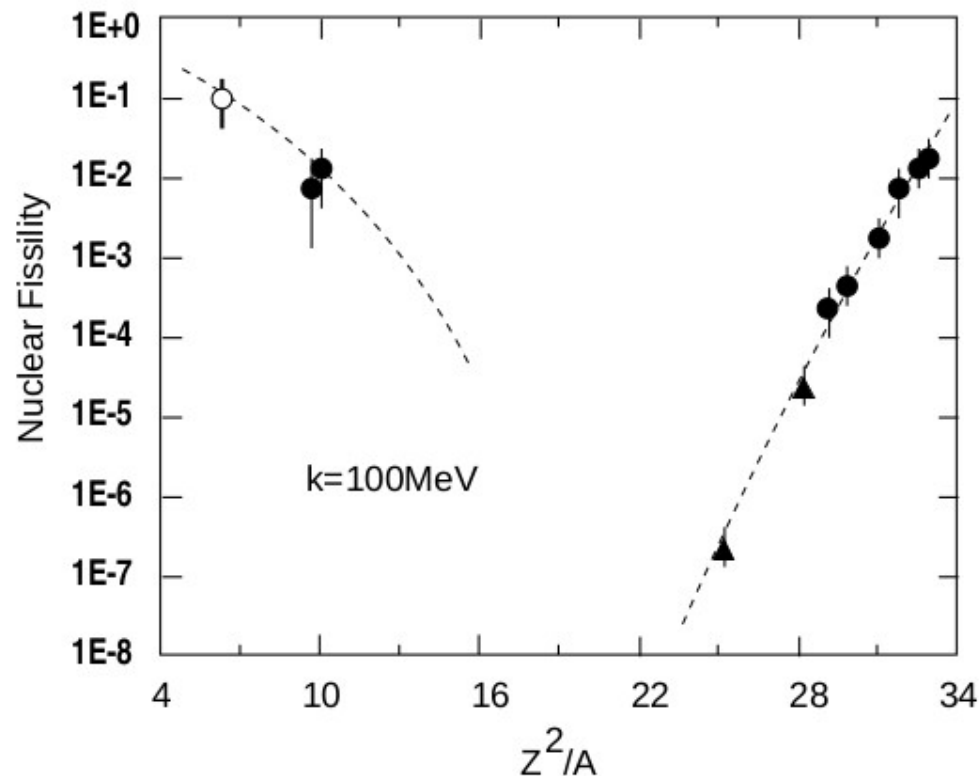
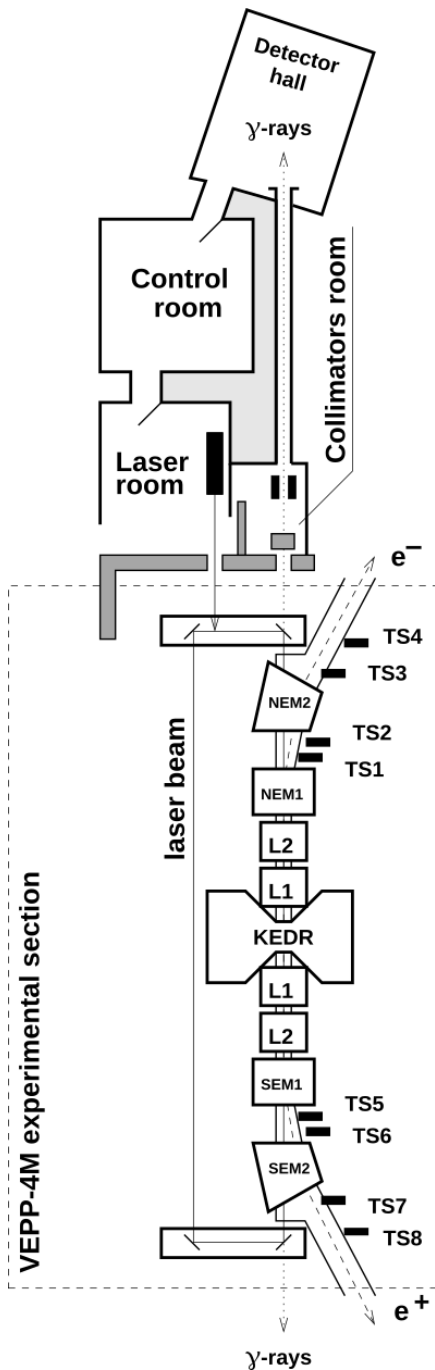
- Для фотоядерных реакций

- + большая доля высоких энергий
- + монохроматизация
- + поляризация
- низкая интенсивность по сравнению с ОТИ



Комптоновские эксперименты на коллайдере ВЭПП-4М в 1980-1990-х годах

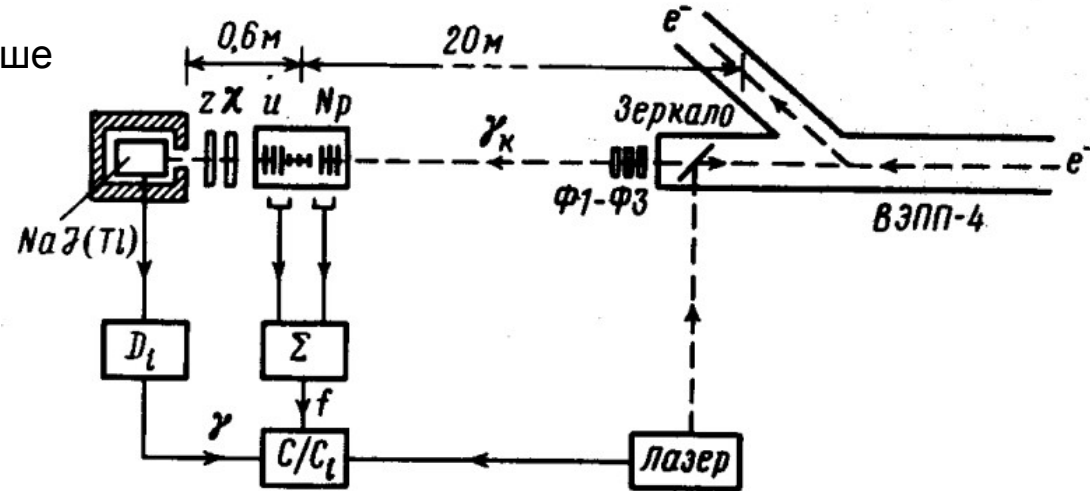
- Импульсные лазеры с длинами волн 1064 мкм и 458...514 нм средней мощностью до 10 Вт
- Частота повторения до 16 кГц
- Потоки рассеянных фотонов до 250 кГц (15 кГц / мА / Вт) с энергиями до 1 ГэВ.
- «Лазерный поляриметр» для измерения энергии пучка методом резонансной деполяризации (1982-1984)
- Фотоделение ядер Bi, Pb, Au, Pt, W, Ta, V, Ti (1993-1996)



Комптоновские эксперименты на коллайдере ВЭПП-4М в 1980-1990-х годах

- **Фотоделение ядер актинидов фотонами с энергиями 0.1 ... 0.7 ГэВ**
 [А.А. Казаков, Г.Я. Кезерашвили, Л.Е. Лазарева, В.Г. Недорезов, А.Н. Скринский, А.С. Судов, Г.М. Тумайкин, Ю.М. Шатунов. Деление ядер ^{238}U и ^{237}Np g-квантами промежуточных энергий. // Письма в ЖЭТФ 40, вып. 10 (1984) стр. 445]

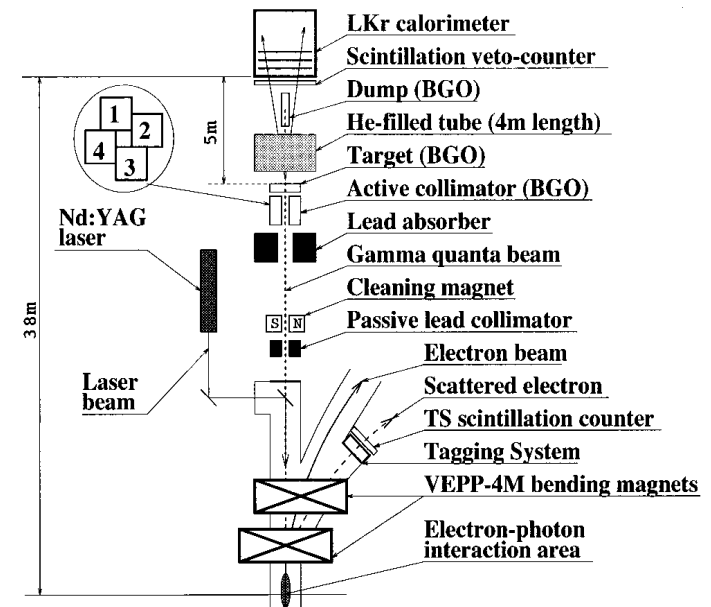
- Сечение фотоделения ^{237}Np на 60% больше ^{238}U , определяемого суммой сечений фоторождения мезонов на нуклонах → отклонение от универсальности
- Электрон-позитронные пары помимо мезонов при возбуждении ядер?
 Наложение событий (множественность фотонов >1)?



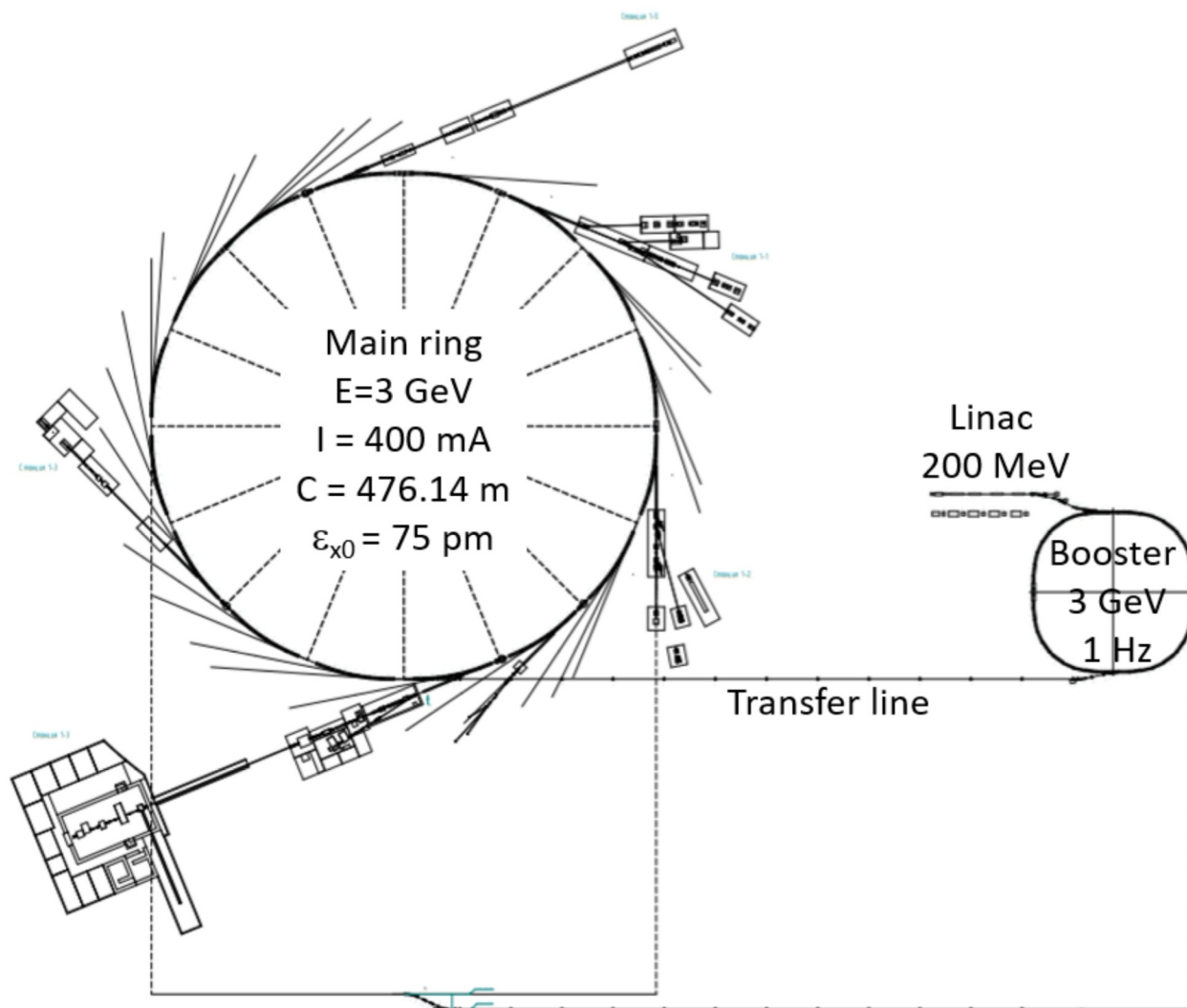
- **Дельбрюкковское рассеяние, расщепление фотона (+ неупругое рождение электрон-позитронных пар) в поле тяжёлых ядер**

[Sh. Zh. Akhmadaliev, et al. Delbrück scattering at energies of 140–450 MeV // Phys. Rev. C 58, 2844 (1998)]

[Sh. Zh. Akhmadaliev, et al. Experimental Investigation of High-Energy Photon Splitting in Atomic Fields // Phys. Rev. Lett. 89, 061802 (2002)]



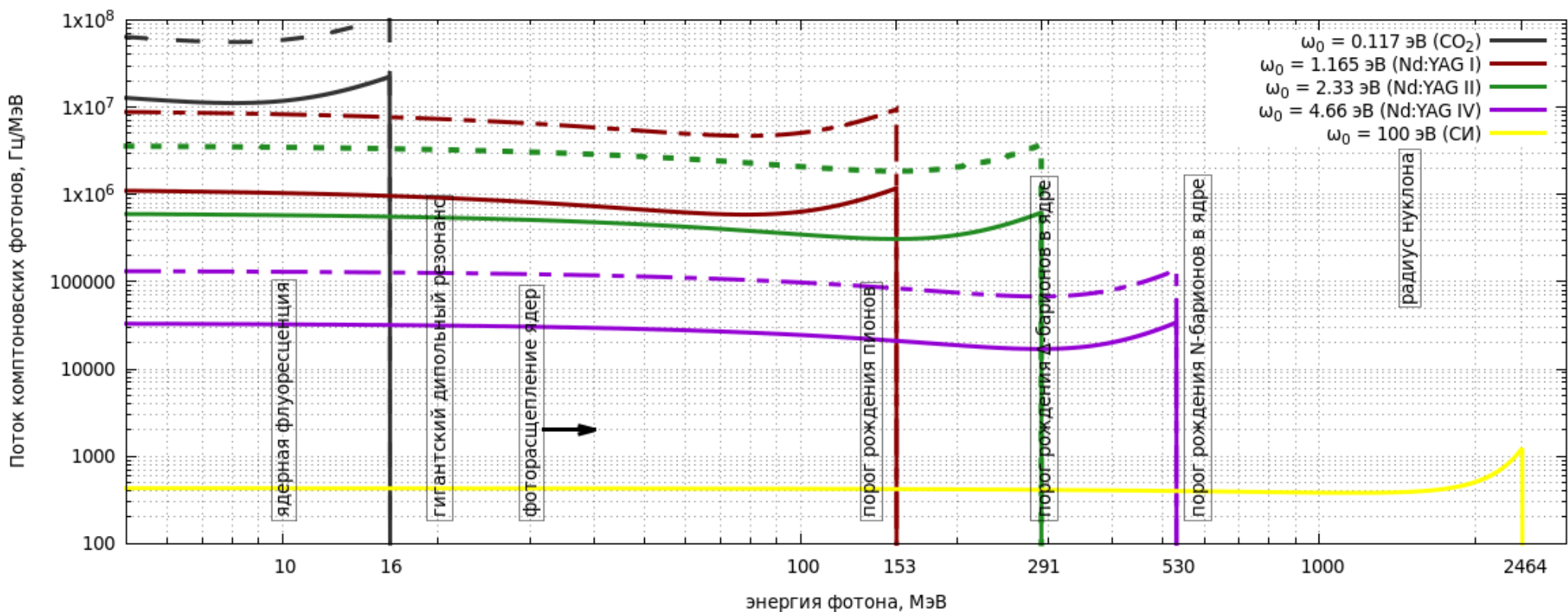
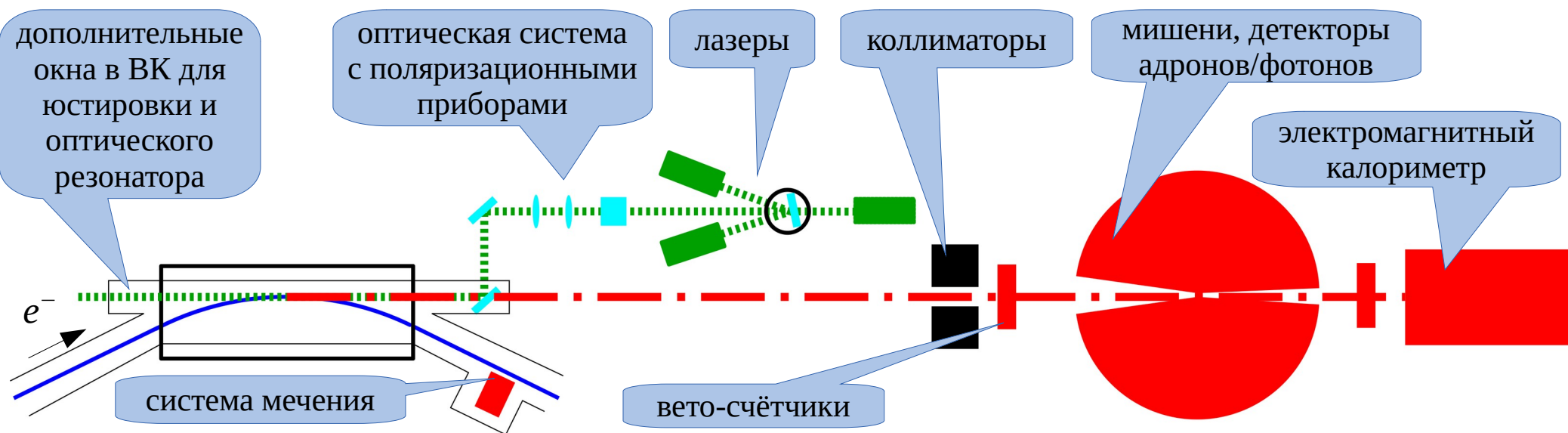
Комптовский источник на синхротроне СКИФ



- Частота обращения 629.63 кГц, макс. 567 сгустков: $357 \cdot 10^6$ сгустков в секунду, мин. 2.8 нс между сгустками
- Минимальный эмиттанс 75 пм·рад (нулевой ток): координатный и угловой разброс частиц малы по сравнению с $1/\gamma$.

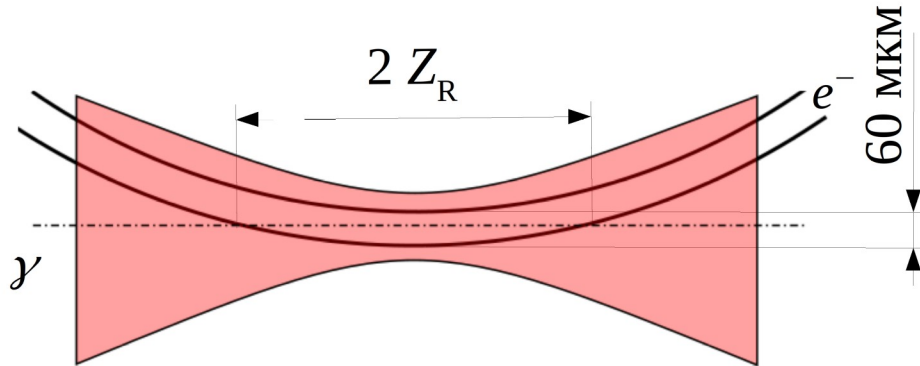
- Возможные лазеры – непрерывные, мощность >5 Вт, освоенные технологии: CO₂: 10.6 мкм, гармоники Nd:YAG (или Nd:YLF): 1064 (1053) нм, 532 (527) нм, 266 (263) нм*
- Максимальные энергии комптоновских фотонов при лобовой встрече: 16 МэВ, 153 МэВ, 291 МэВ, 530 МэВ.

Комптоновский источник на синхротроне СКИФ



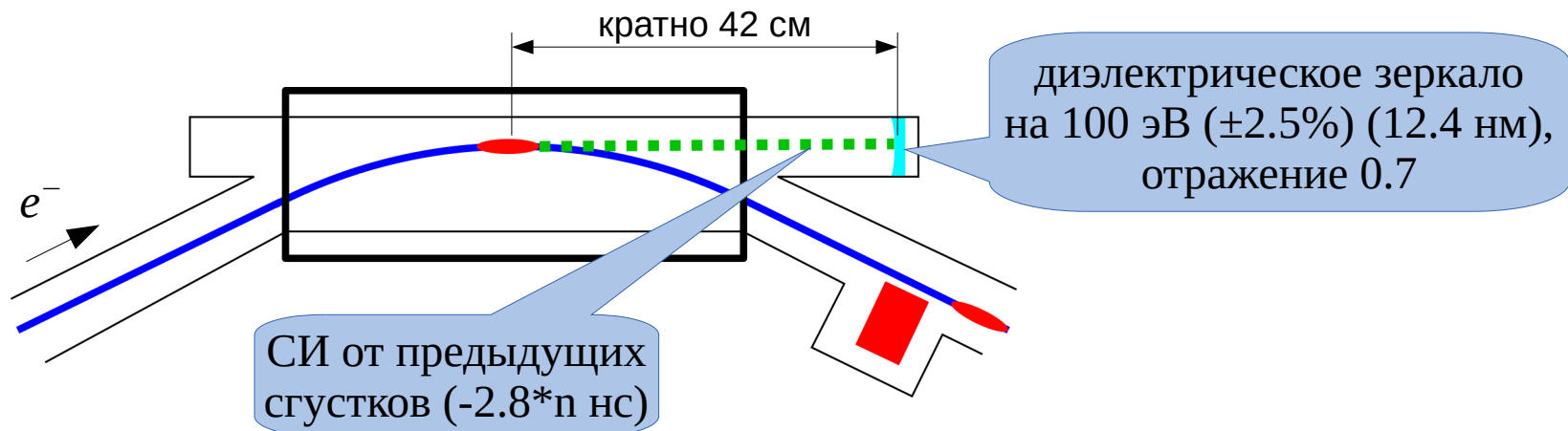
ПОТОК КОМПТОНОВСКИХ ФОТОНОВ

- Место взаимодействия – мягкий диполь суперпериода СКИФ
- Размер перетяжки = 150 мкм для $\lambda=527$ нм – удвоенная рэлеевская длина была примерно равна длине хорды. Получится примерно **24 МГц на ватт** лазерной мощности. Для остальных лазеров можно так же.



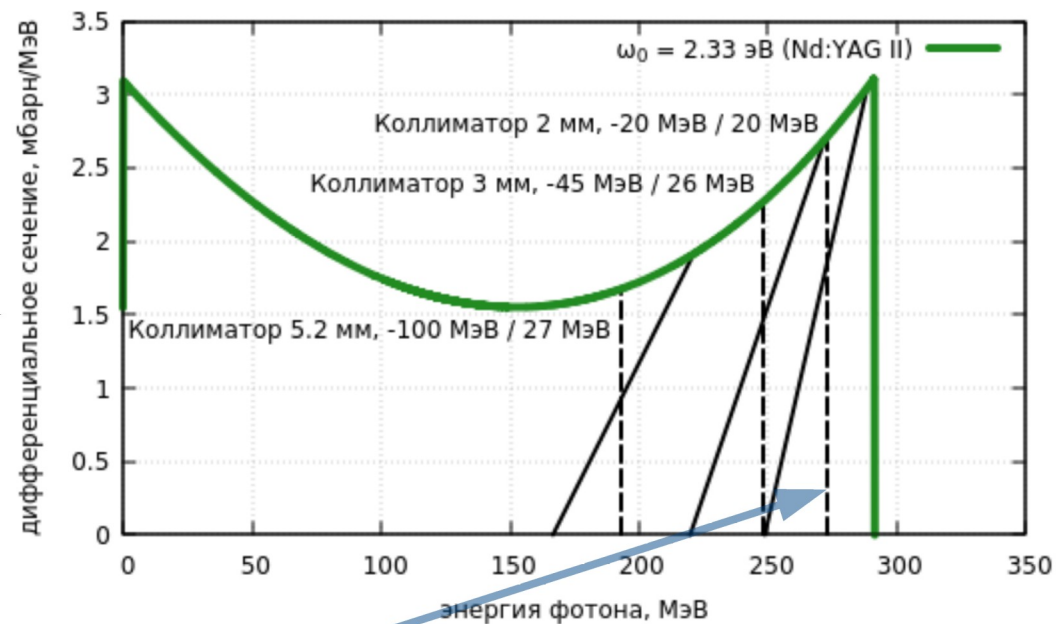
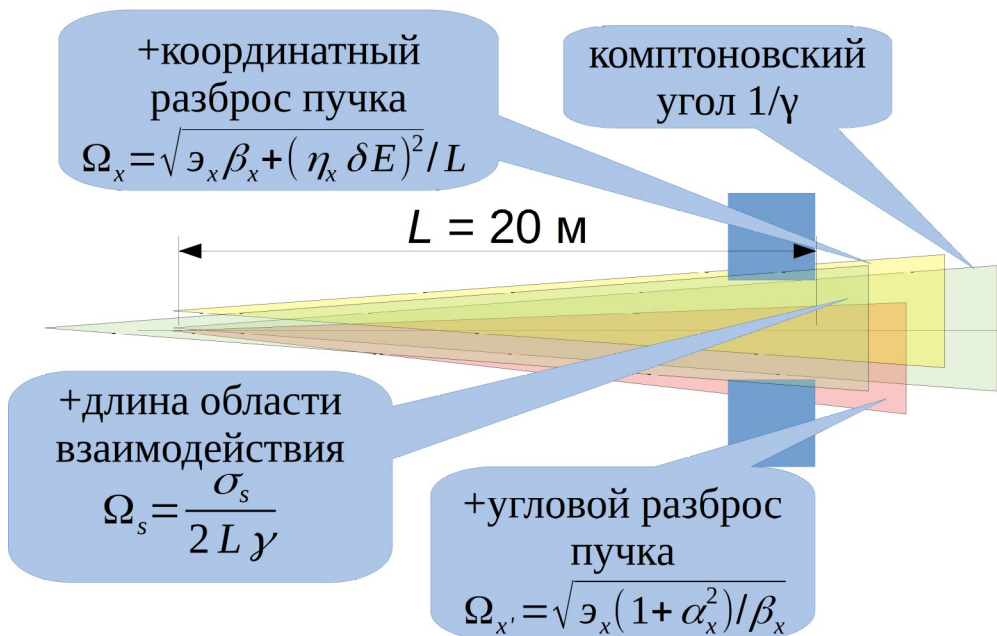
- Что от этого будет пучку электронов?
 - Комптоновские электроны выбывают из пучка в следующих магнитах (за исключением малой доли с $E > 2997$ МэВ)
 - Время жизни за счёт ОКР: $\Delta N = N_0(1 - \exp(-t/\tau))$, $\tau = \frac{-1}{\ln(1 - \dot{N}/N_0)}$
При $\dot{N} = 100$ МГц время жизни ~ 11 часов. Инжекция рассчитана на время жизни около 1 часа (5% падение тока). Есть запас до 200-400 МГц.
 - Эмиттанс не портится

Синхротронное излучение как источник начальных фотонов

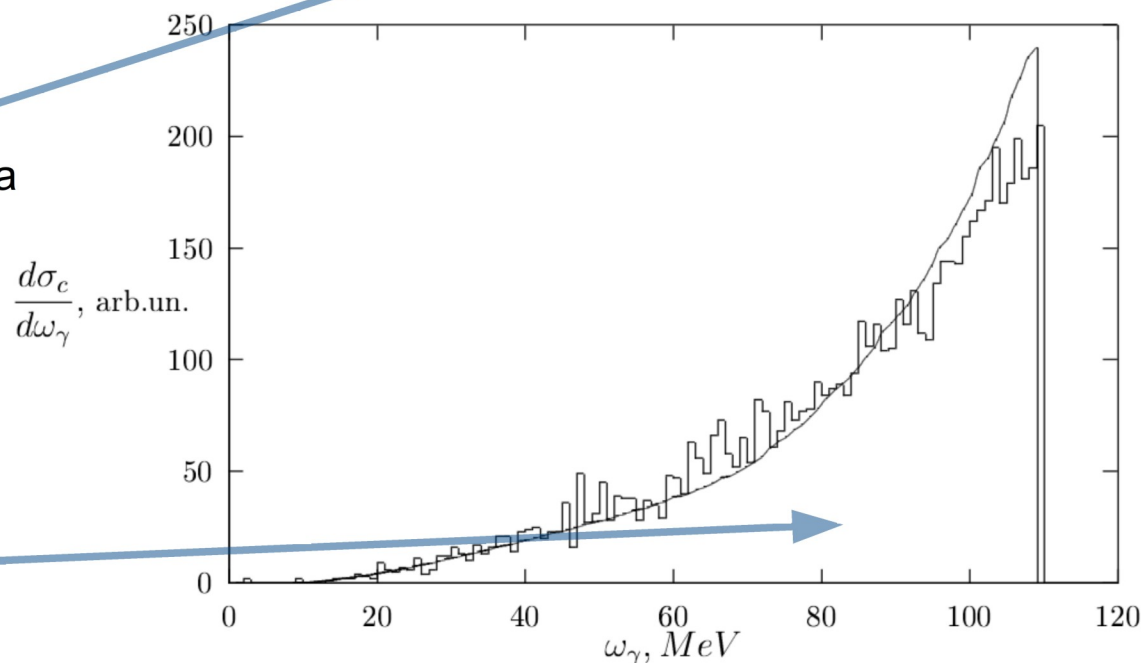


- Максимальная энергия рассеянного фотона от 100 эВ – 2464 ± 11 МэВ (!)
- Если зеркало $\varnothing 40$ мм фокусирует СИ в размер пучка, его излучившего, ~ 12 мкм, тогда $Z_R = 15$ см, и поток комптоновских гамма-квантов ~ 3.3 МГц (с учётом коэффициента отражения 70% и сечения 29% от томсоновского).
- Выдержит ли такое зеркало мощность полного потока СИ ~ 800 Вт в полосе порядка 0.4 мм?

Коллимирование комптоновских фотонов

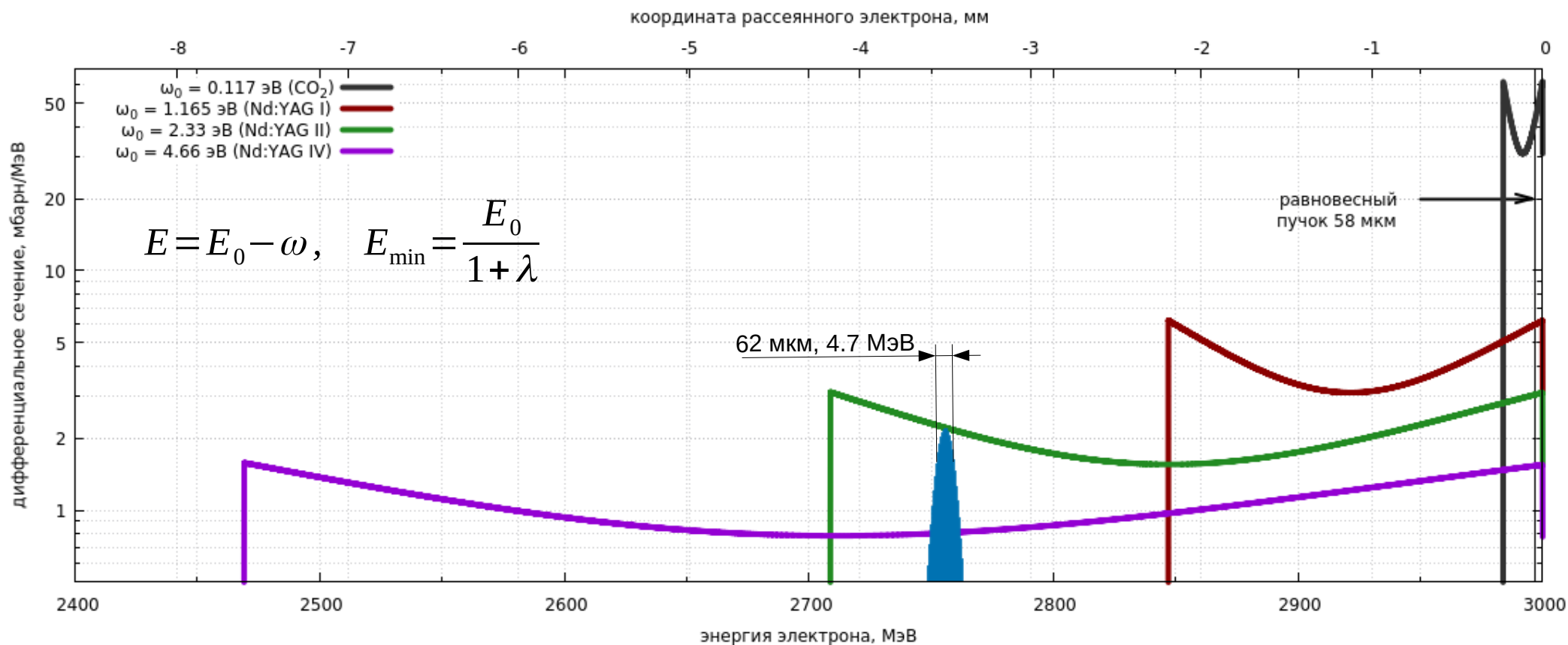


- Коллиматор СКИФ 2 мм на 20 м: полный разброс «лишних» углов, – **30 мкрад**, комптоновский угол **179 мкрад**: полоса 7% по энергии, ослабление потока в 15 раз
- Машина с большим эмиттансом, например, ВЭПП-4М, с коллиматором 4 мм на 18 м: «лишние» углы – **310 мкрад (!)**, комптоновский угол – **284 мкрад**: полоса 100% по энергии, ослабление потока в 15 раз



Как улучшить монохроматичность? Система мечения

- Система мечения размещается в промежутке ускорителя с максимальной дисперсионной функцией, например, у квадруполей слабополюной ячейки СКИФ → 4 мм.
 - Диаметр пучка рассеянных электронов с минимальной энергией ~60 мкм
 - Множественность комптоновских электронов <0.3 за сгусток (<100 МГц) → мало наложений
- Подвижный однокоординатный детектор в вакуумной камере (кремниевые стрипы?)
 - Какое координатное разрешение можно получить? Если шаг 50 мкм, то $\sigma=14$ мкм.
 - Разрешение системы мечения: 62 мкм → 4,7 МэВ по фотонам.



Конкуренты, диапазон энергий и интенсивностей

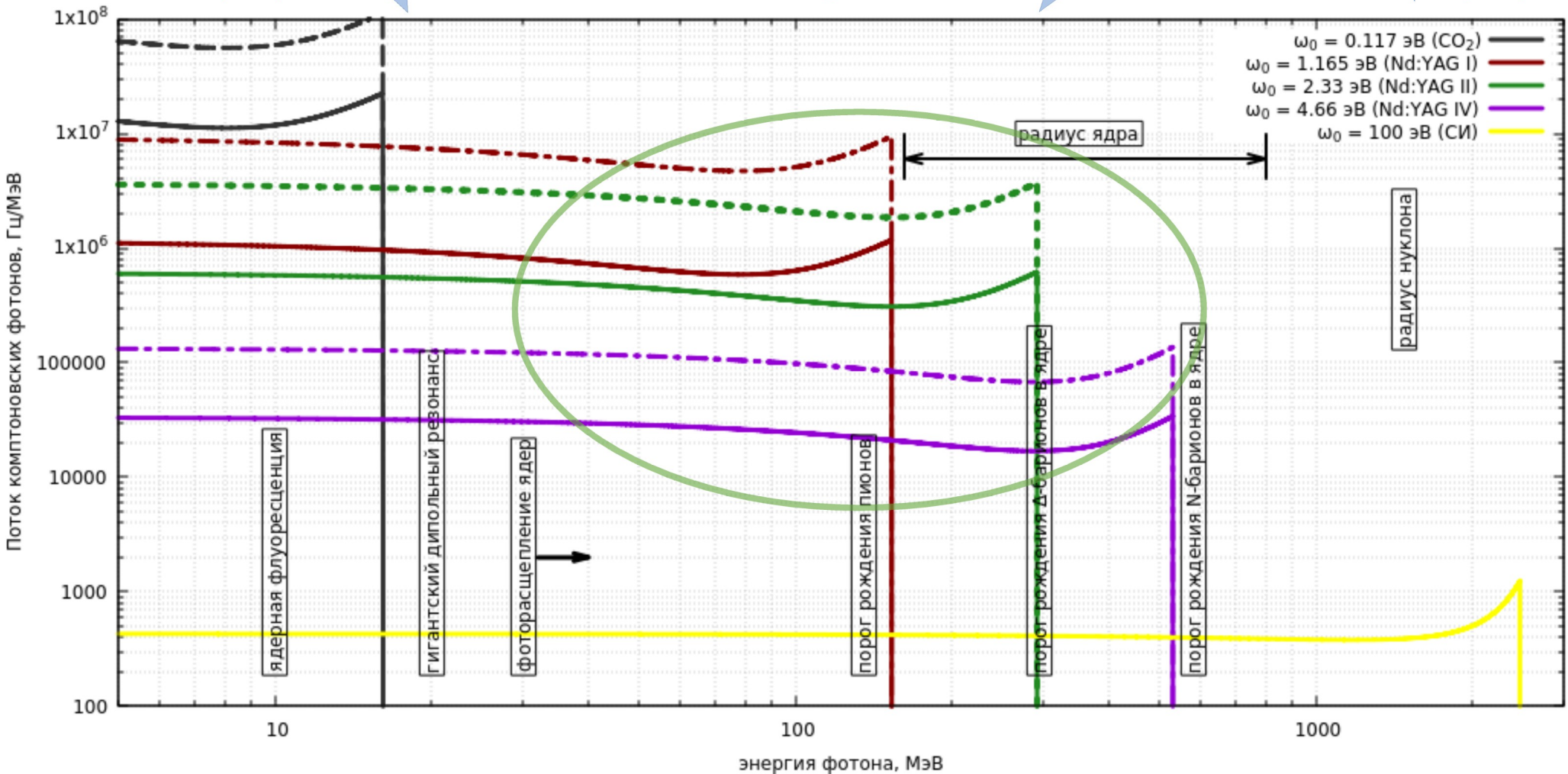
Сверхвысокие интенсивности, низкие энергии, электроны возвращаются в ускоритель: HiγS, Duke Univ. ...



Средние энергии: GRAAL (ESRF), LEGS (BNL), A2 (MAMI)...



Высокие энергии: LEPS (Spring-8)



Преимущества, недостатки, возможные эксперименты

- Большой ток, много сгустков
 - высокая интенсивность (но не сверхвысокая)
 - множественность < 0.3 фотонов за сгусток → мало наложений.
- Малый эмиттанс, малый угловой и координатный разброс (ближайший аналог – MAX-IV)
 - хорошее пространственное разрешение в экспериментах
 - высокая степень поляризации фотонов. Закрученные фотоны?
 - эффективная коллимация гамма-квантов для монохроматизации или выделения нужной поляризации
- Широкий энергетический диапазон (но энергия пучка электронов не меняется)
- Первые эксперименты – улучшение результатов ВЭПП-4М: изучение фотоделения актинидов и нелинейной КЭД в диапазоне энергий до 500 МэВ.
- Возможные эксперименты: фотоядерные реакции, нелинейная КЭД в «средней» области энергий, возможно, с закрученными фотонами; калибровка детекторов.
- Методические эксперименты: внутренний лазерный резонатор, использование СИ как источника начальных фотонов, закрученные гамма-кванты.

Заключение

- Источник поляризованных гамма-квантов из обратного комптоновского рассеяния на СКИФ:
 - Энергии от единиц МэВ до 500 МэВ и, возможно, до 2500 МэВ
 - Интенсивность: десятки-сотни МГц (в полном спектре), но при этом низкая вероятность наложений событий
 - Возможность монохроматизации спектра с помощью коллимирования пучка комптоновских гамма-квантов и мечения по энергии электронов отдачи
 - Высокая степень поляризации рассеянных фотонов
- Первые эксперименты – улучшение результатов ВЭПП-4М.
- Последующие эксперименты в области энергий 100-500 (2500) МэВ, где СКИФ имел бы преимущество. Нужны идеи.
- В ИЯФ есть большой опыт в экспериментах с обратным комптоновским рассеянием, но почти нет специалистов по фотоядерным реакциям.

Спасибо за внимание!

