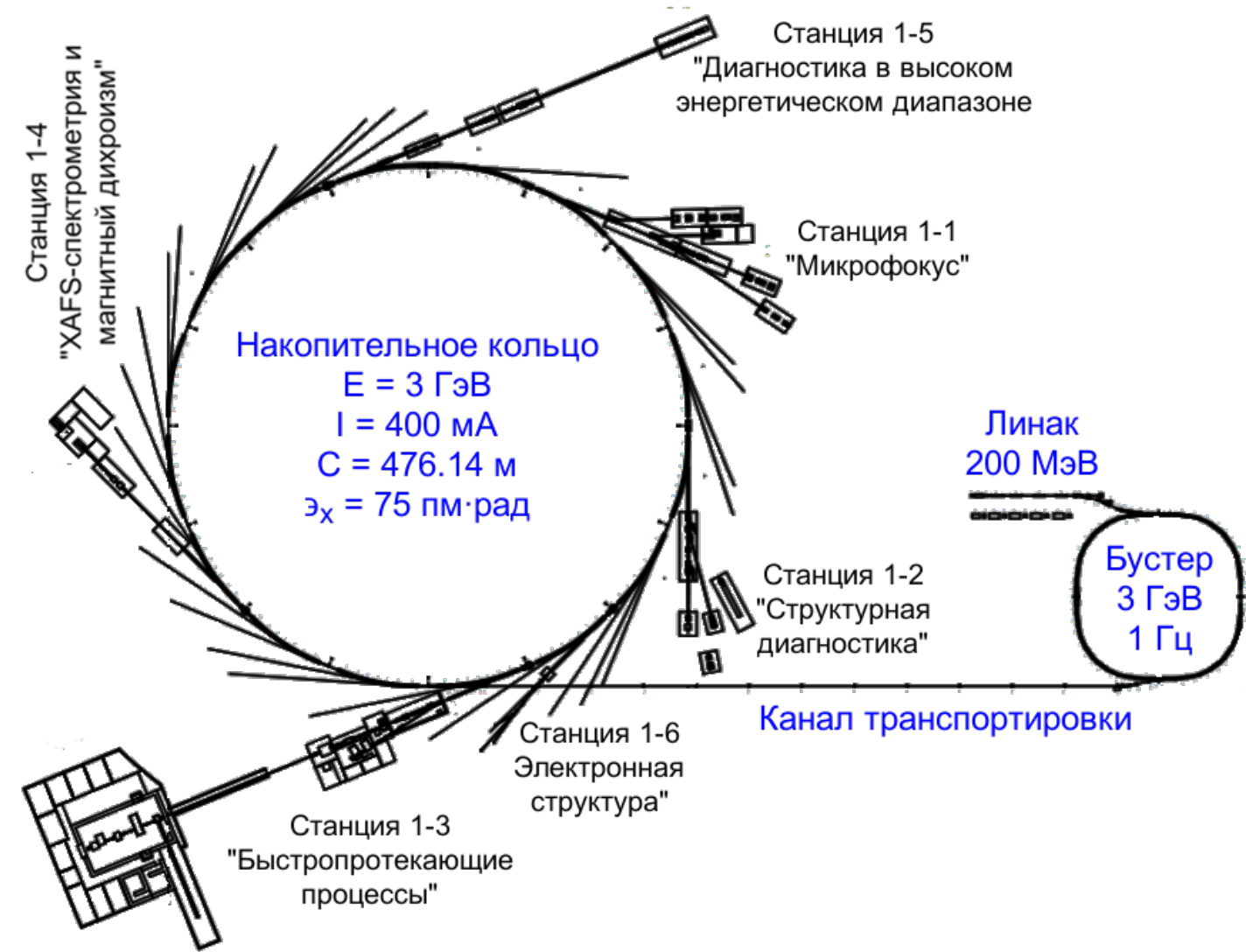


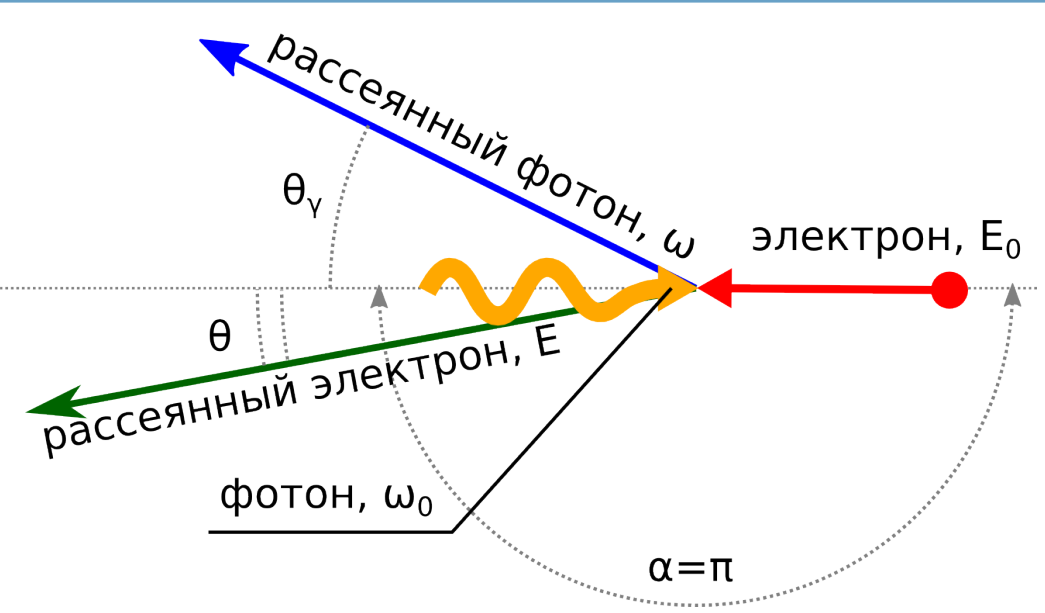
СКИФ

Сибирский кольцевой источник фотонов (СКИФ) [1] — строящийся в г. Кольцово Новосибирской области специализированный источник синхротронного излучения поколения «4+». Его параметры позволяют создать на его базе качественный источник комптоновских фотонов.

Энергия	3.0 ГэВ
Ток электронов	400 мА
Горизонтальный эмиттанс	75 пм·рад
Частота обращения	629.63 кГц
Число густков	567
Время между густками	2.8 нс (84 см)



Обратное комptonовское рассеяние



Максимальная энергия гамма-кванта при рассеянии назад ($\theta = 0$):

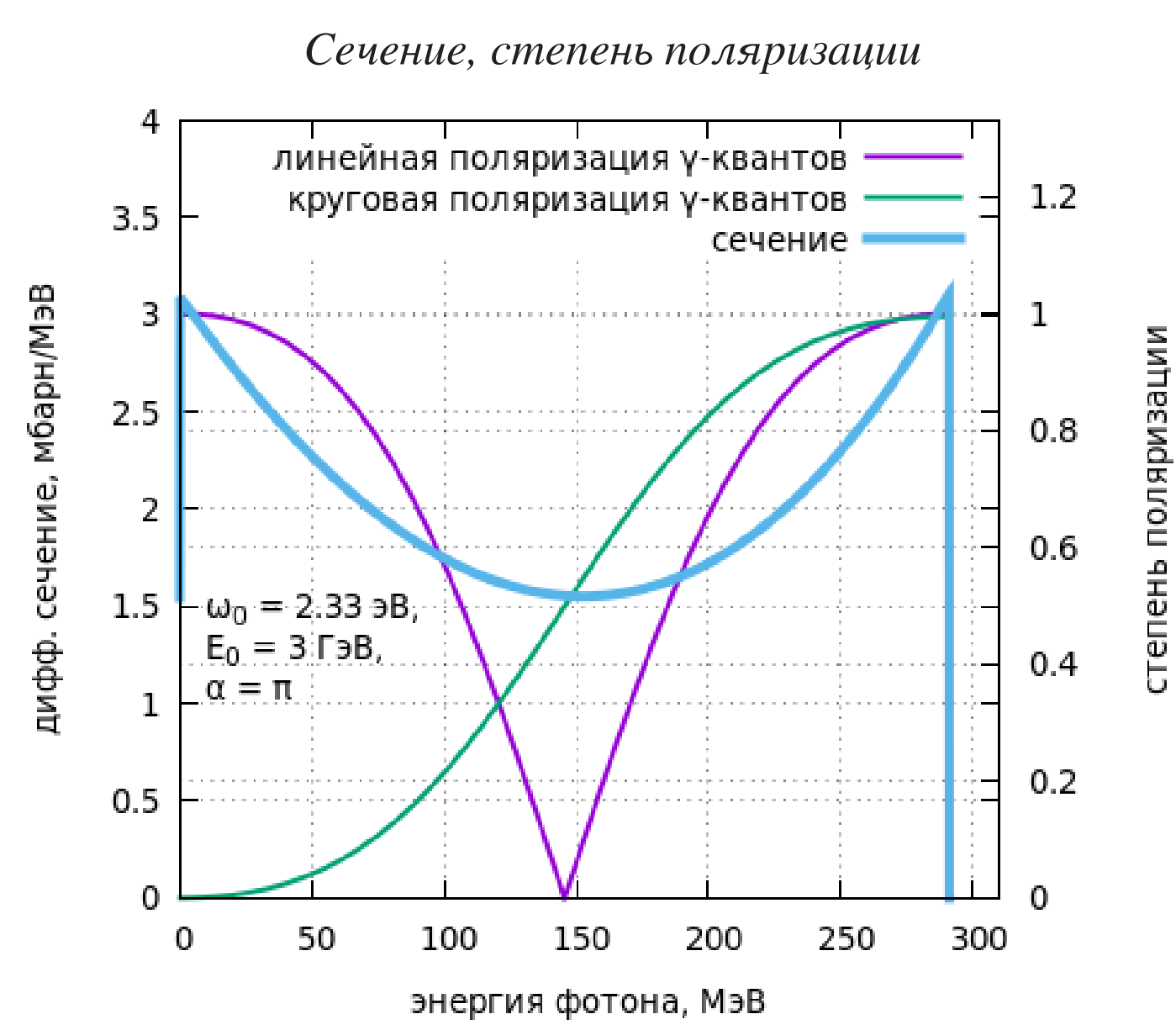
$$\omega_{\max} = \frac{E_0 \kappa}{1 + \kappa} \approx 4\gamma^2 \omega_0, \quad \kappa = \frac{4\omega_0 E_0}{m^2} \quad (1)$$

Энергия фотона от угла:

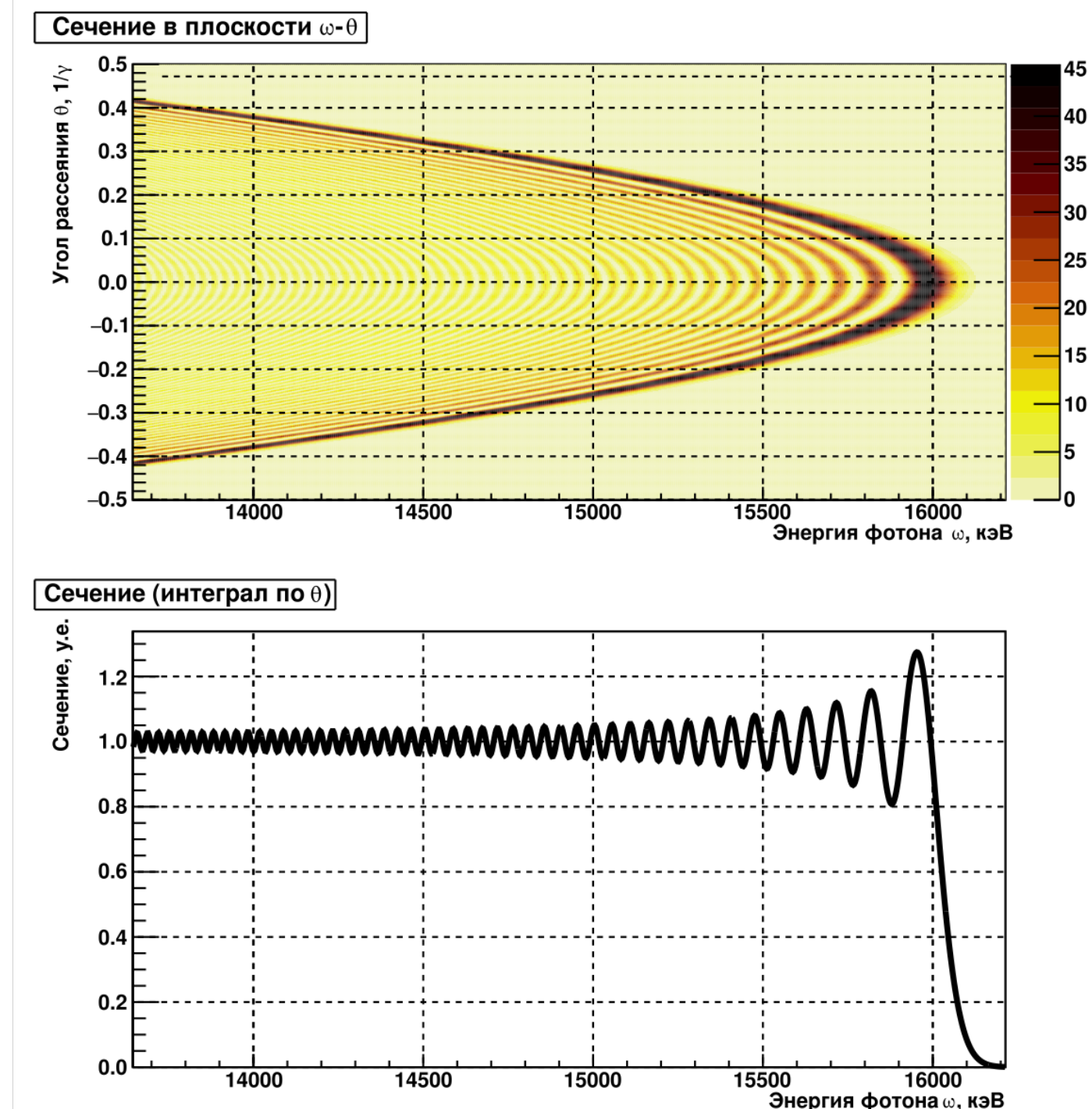
$$\omega(\theta) = \frac{\omega_{\max}}{1 + (\theta/\theta_c)^2}, \quad \theta_c = \frac{m}{E_0} \sqrt{1 + \kappa} \approx \frac{1}{\gamma} \quad (2)$$

Энергия отдачи электрона:

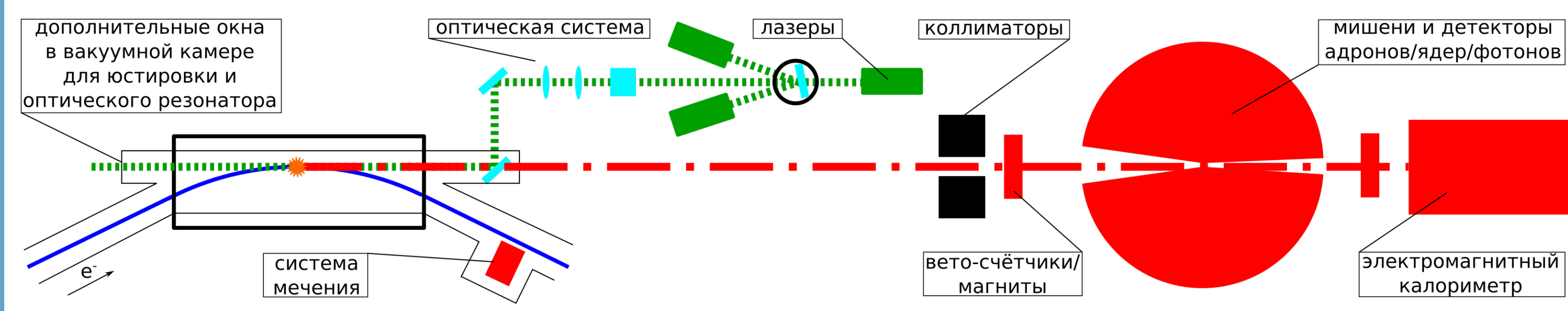
$$E = E_0 - \omega, \quad E_{\min} = E_0 - \omega_{\max} = \frac{E_0}{1 + \kappa} \quad (3)$$



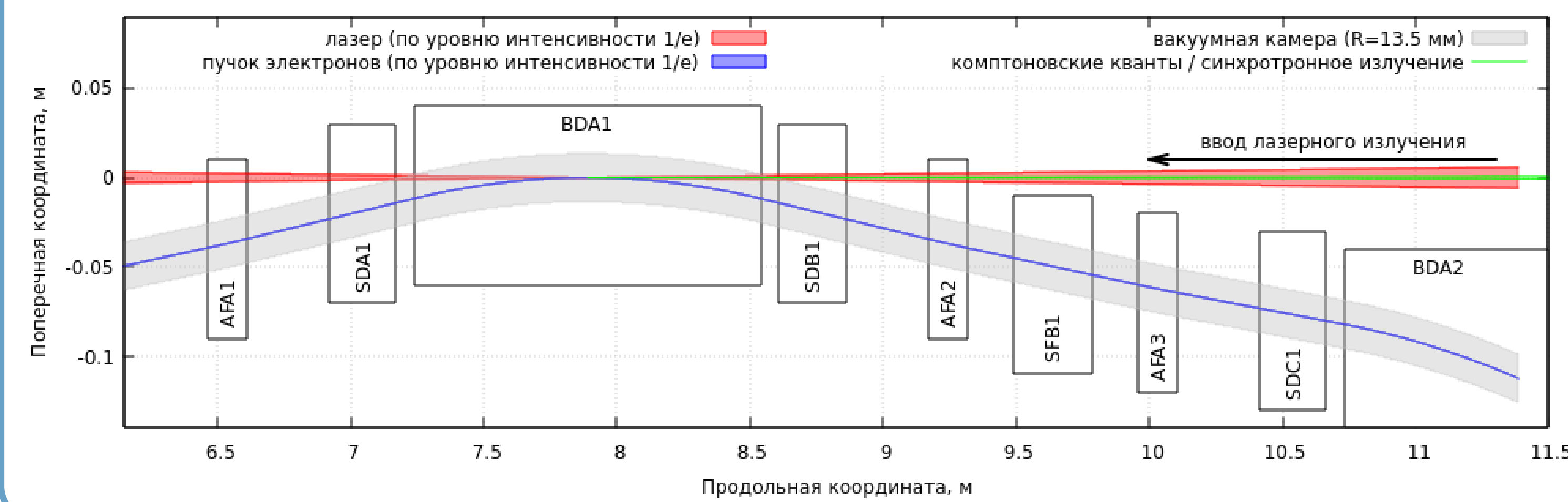
Сечение комптоновского рассеяния в магнитном поле [2]:
 $B = 0.56 \text{ Тл}, E_0 = 3 \text{ ГэВ}, \omega_0 = 0.117 \text{ эВ}$



Концепция



Лазеры: непрерывные (макс. $3.57 \cdot 10^8$ комптоновских импульсов в секунду) или импульсные $<1 \text{ нс}$ с джиттером $\sim 0.1 \text{ нс}$ ($\sim 10^8$ комптоновских импульсов в секунду, на частоте детекторов). I, II, IV гармоники Nd:YAG, CO₂, и перестраиваемые, но с резонатором-накопителем.
Планируемое место взаимодействия — мягкий диполь суперпериода (BDA1)



Ограничения

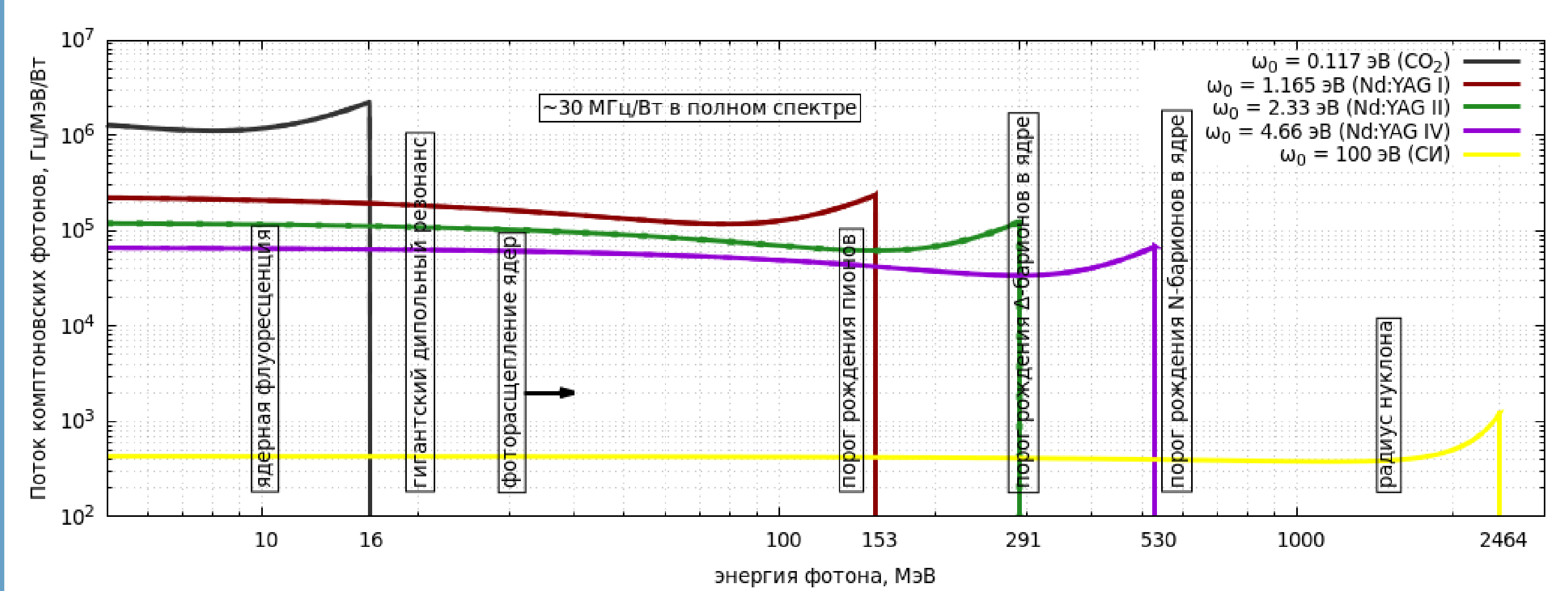
Основное назначение накопителя — генерация синхротронного излучения, поэтому нельзя сильно сокращать время жизни пучка и портить качество пучка.

- Энергию накопителя нельзя перестраивать:
 - Использовать разные лазеры, в том числе, перестраиваемые (но мощность низкая);
 - Использовать систему мечения;
- Поток фотонов ограничен $\sim 4 \cdot 10^8 \gamma/\text{с}$ системой инжекции, если рассеянные электроны выходят из пучка (большая часть электронов от Nd:YAG лазеров).
- Рассеянные электроны с потерей энергии до 78 МэВ (2.6% энергии пучка, все электроны от CO₂ лазера) остаются в накопителе, портят эмиттанс.

Особенности

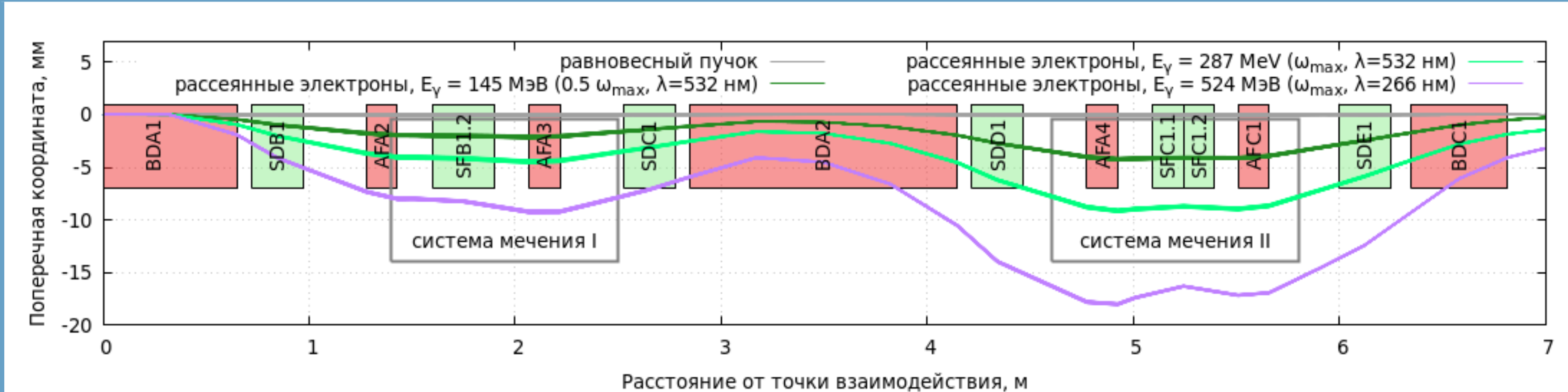
- Высокая частота следования густков — 357 МГц.
 - Множественность фотонов на густок <1 → качественная работа системы мечения и нет наложений событий;
 - Непрерывные либо специализированные импульсные лазеры;
- Малый эмиттанс, малый угловой и координатный разброс (ближайший аналог — MAX-IV, Sirius).
 - Эффективная коллимация гамма-квантов для монохроматизации и выделения поляризации (при сохранении потока фотонов) при фиксированной энергии пучка;
 - Хорошее разрешение системы мечения;
 - Высокая степень поляризации фотонов. Закрученные фотоны?

Спектры и потоки фотонов

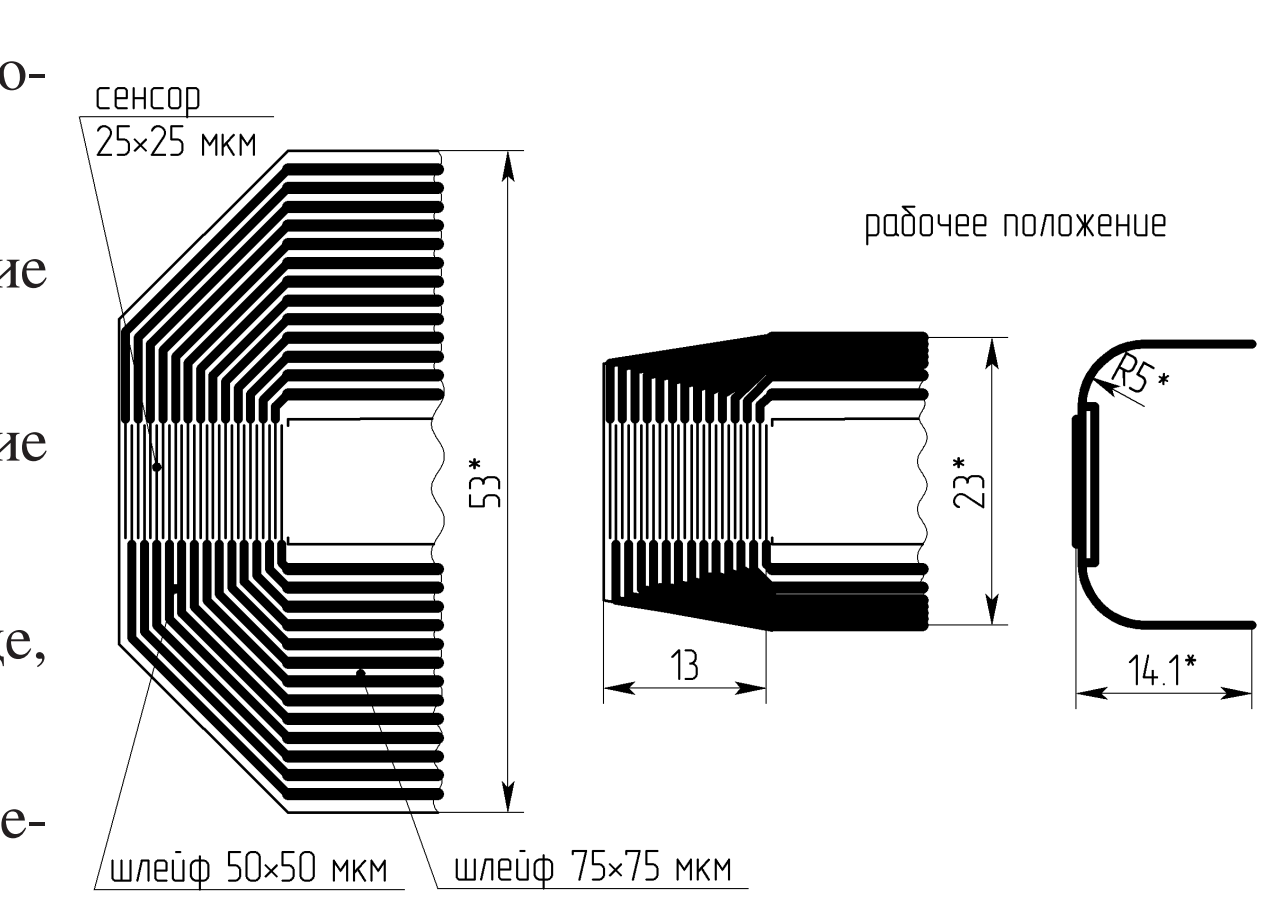


Расчёт сделан для непрерывного лазерного излучения мощностью 1 Вт и диаметром перетяжки в области взаимодействия 50 мкм ($\lambda = 527 \text{ нм}$): $\sim 30 \text{ МГц}$ комптоновских фотонов в полном спектре.

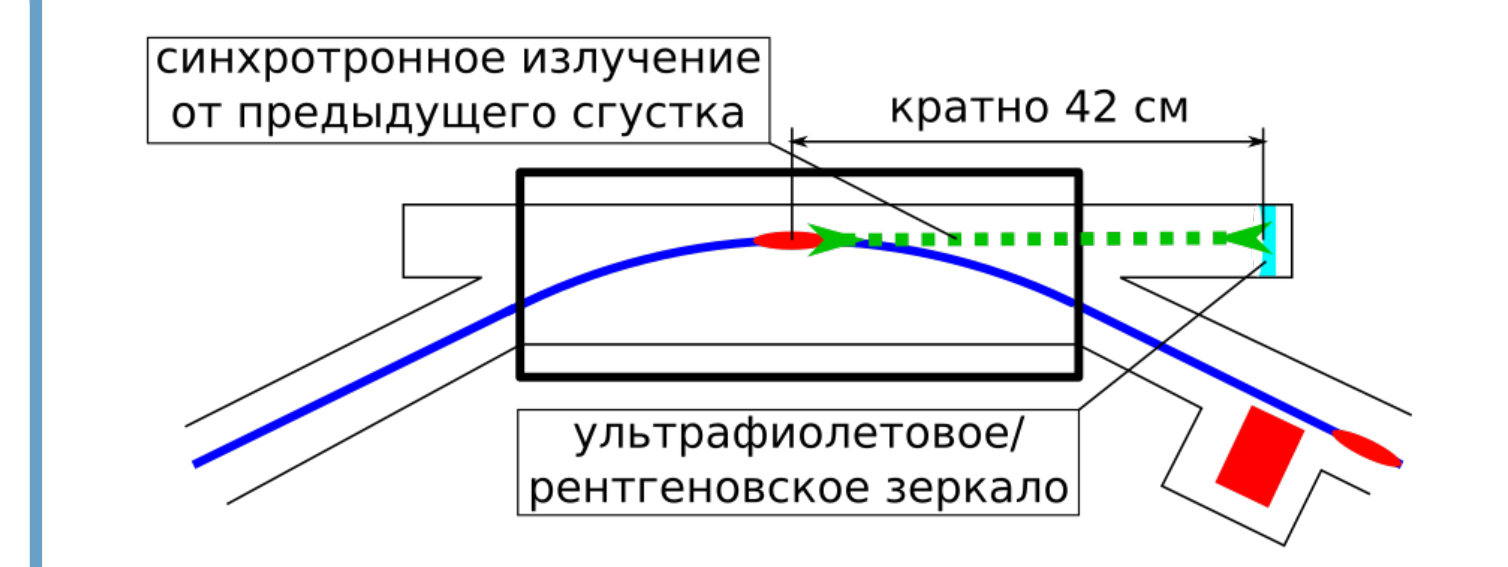
Система мечения



- С учётом размера вакуумной камеры (радиус 13.5 мм) необходимо две части системы мечения:
 - I: для фотонов с энергией до 400 МэВ, все комптоновские фотоны от «зелёного» лазера;
 - II: для фотонов с энергией до 600 МэВ, все комптоновские фотоны от «ультрафиолетового» лазера.
- Система мечения размещается в том же суперпериоде, 1.2...2.4 м и 4.6...5.8 м от места встречи.
- Два Si/GaAs полосковых подвижных однокоординатных детектора внутри вакуумной камеры.
- Разрешение 0.6...0.8% (около 2 МэВ по фотонам), полоски детектора с шагом 50 мкм.
- Множественность <0.5 → нет наложений событий (если детектор будет работать на частоте 357 МГц).



Получение высоких энергий фотонов



Фокусирующее зеркало на 100 эВ ($\pm 2.5\%$) (12.4 нм) с коэффициентом отражения 0.7 [3] позволяет получить комптоновские фотоны с $\omega_{\max} = 2464 \text{ МэВ}$ и потоком порядка 600 кГц (сечение 29% томсоновского).

Возможные эксперименты

- Фотоядерные реакции в «низкой» области энергий** (единицы–десятки МэВ) — ядерная флуоресценция, пигми-резонансы, производство «обойдённых» ядер и т.п. — затруднены, так как энергия электронов не перестраивается, а система мечения не работает.
- Перспективные эксперименты:**
- Фотоядерные реакции в «средней» области энергий (сотни МэВ): фотоделение ядер, рождение гиперядер, пионов, гиперонов и т.п., эффекты нелинейной КЭД. Работает система мечения;
 - Калибровка и измерение разрешения электромагнитных детекторов;
 - Гамма-томография, производство медицинских изотопов?
- Методические эксперименты:**
- Внутренний лазерный резонатор-накопитель;
 - Использование синхротронного излучения как источника начальных фотонов;
 - Закрученные гамма-кванты.
- Но перестраиваемые лазеры и резонатор-накопитель позволят эффективно использовать монохроматизацию гамма-квантов коллиматором и работать в «низких» энергиях.
- Первые эксперименты** — продолжение экспериментов 80-х–90-х годов на ВЭПП-4.
- Фотоделение ядер актиноидов фотонами с энергиями 100–500 МэВ [4]. Не полностью закрыта проблема: сечение фотоделения ²³⁷Np на 60% больше ²³⁸U, определяемого суммой сечений фоторождения мезонов на нуклонах (концепция «универсальности») [5].
 - Нелинейная КЭД: дельбрюкское рассеяние [6], расщепление фотона [7].

Заключение

- Предложен эскизный проект комптоновского источника на накопителе СКИФ.
- Разрабатываются отдельные элементы установки
- Нужны специалисты по фотоядерной физике и детекторам для неё.
- Нужны дальнейшие идеи для физической программы.

Литература

- Баранов Г.Н. и др. Оптимизация магнитной структуры источника синхротронного излучения четвертого поколения СКИФ в Новосибирске // Сибирский физический журнал. 2020. Т. 15 № 1 С. 5 DOI:10.25205/2541-9447-2020-15-1-5-23
- Abakumova E.V. et al. Backscattering of Laser Radiation on Ultrarelativistic Electrons in a Transverse Magnetic Field: Evidence of MeV-Scale Photon Interference // Phys. Rev. Lett. 2013. Т. 110 С. 140402 DOI:10.1103/PhysRevLett.110.140402
- Vainer Y.A. et al. Beryllium-Based Multilayer Mirrors for the Soft X-Ray and Extreme Ultraviolet Wavelength Ranges. // J. Surface Investig. 2020. Т. 14 С. 124 DOI:10.1134/S1027451020020160
- Kazakov A.A. et al. Fission of U-238 and Np-237 by intermediate-energy γ rays // JETP Lett. 1984. Т. 40 № 10 С. 1271
- Cetina C. et al. Photofission of heavy nuclei from 0.2 to 3.8 GeV // Phys. Rev. C. 2002. Т. 65 С. 044622 DOI:10.1103/PhysRevC.65.044622
- Akhmadaliev Sh.Zh. et al. Delbrück scattering at energies of 140–450 MeV // Phys. Rev. C. 1998. Т. 58 № 5 С. 2844–2850 DOI:10.1103/PhysRevC.58.2844
- Akhmadaliev Sh.Zh. et al. Experimental investigation of high-energy photon splitting in atomic fields // Phys. Rev. Lett. 2002. Т. 89 С. 061802 DOI:10.1103/PhysRevLett.89.061802