



СКИФ на мировом ландшафте источников СИ

Е.Б. Левичев
ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН

НКС ЦКП СКИФ
21-22 марта 2019 г.

Diffraction Limited Light Source

© 1996 IEEE. Personal use of this material is permitted. However, permission to reprint/republish this material for advertising or promotional purposes or for creating new collective works for resale or redistribution to servers or lists, or to reuse any copyrighted component of this work in other works must be obtained from the IEEE.

Design of a Diffraction Limited Light Source (DIFL)

D. Einfeld, J. Schaper, Fachhochschule Ostfriesland, Constantiaplatz 4, D-267

M. Plesko, Institute Jozef Stefan, Jamova 39, P.O.B. 100, SLO-61111 Lju

e-mail: einfeld@alpha.fho-emden.de

Abstract:

Three synchrotron light source of the third generation have been commissioned (ESRF, ALS and ELETTRA). All machines have reached their target specifications without any problems. Hence it should be possible to run light sources with a smaller emittance, higher brilliance and emitting coherent radiation. A first design of a Diffractive Light Source has been performed. It is a 3 GeV s with a modified multiple bend achromat (MBA) lattice leading to a normalized emittance of $\epsilon_x =$ (The novel feature of this lattice is the use of h defocussing bending magnets with different bend to keep the radiation integrals low. The circumference including 12 straight sections with a length of dynamical behaviour should allow to store a beam with a lifetime larger 5 hours.

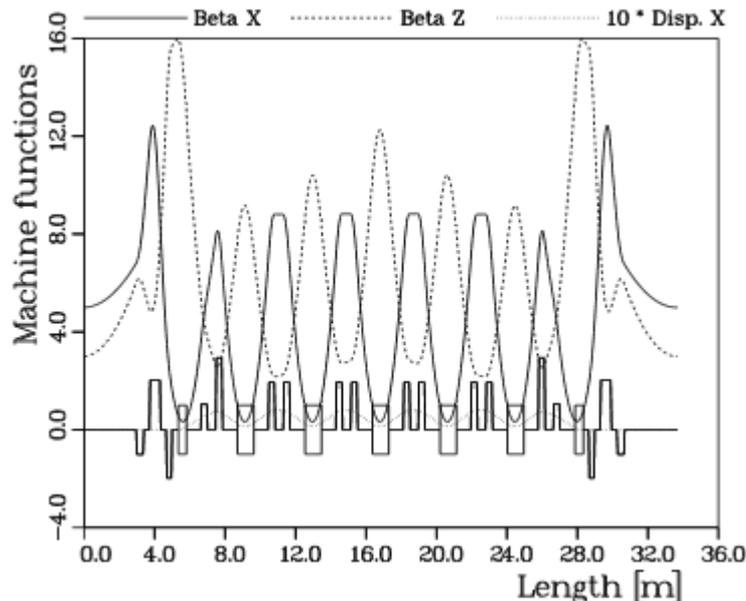
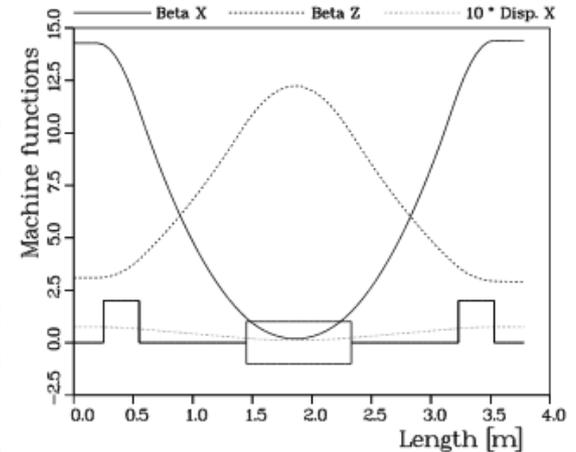
I. INTRODUCTION

The most important factor for synchrotron radiation is the brilliance which is mainly determined by section of the beam and given by the square of emittance multiplied with the betatron function. even at zero emittances the phase space of the radiation undulator itself is finite due to diffraction effects. corresponding emittance of the light beam is given by $\epsilon = \lambda/4\pi$, with λ being the wavelength at the peak flux source is called diffraction limited if the emittance

2. OBTAINING A LOW E

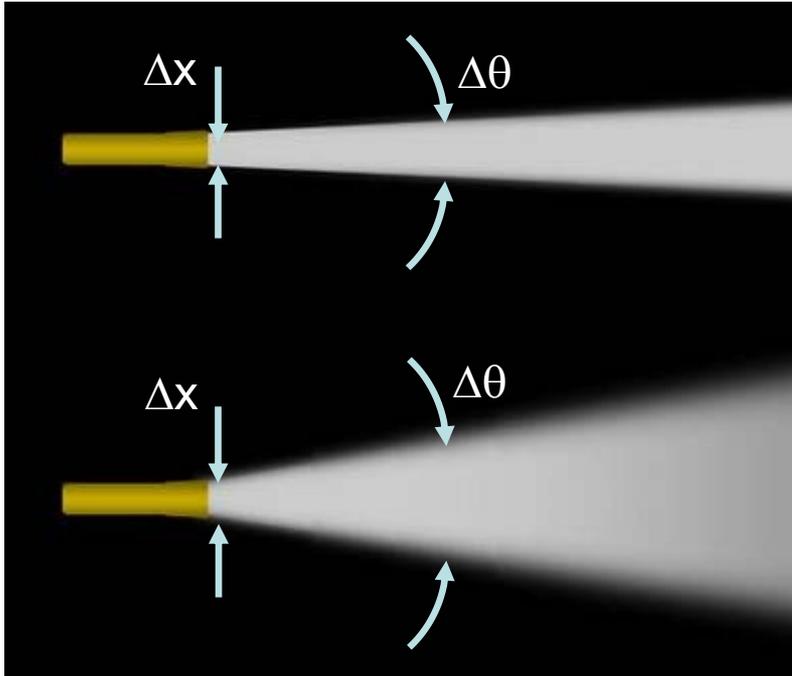
The optics influences the emittance number J_x , which is unity for a pure C H-function:

$$H = \gamma\eta^2 + 2\alpha\eta\eta' + \dots$$



E = 3 GeV
 $\epsilon_{x/y} = 500/5$ pm
 C = 400 m
 I = 100 mA
 $\tau = 5$ h
 $\lambda = 1$ nm (1.2 keV)

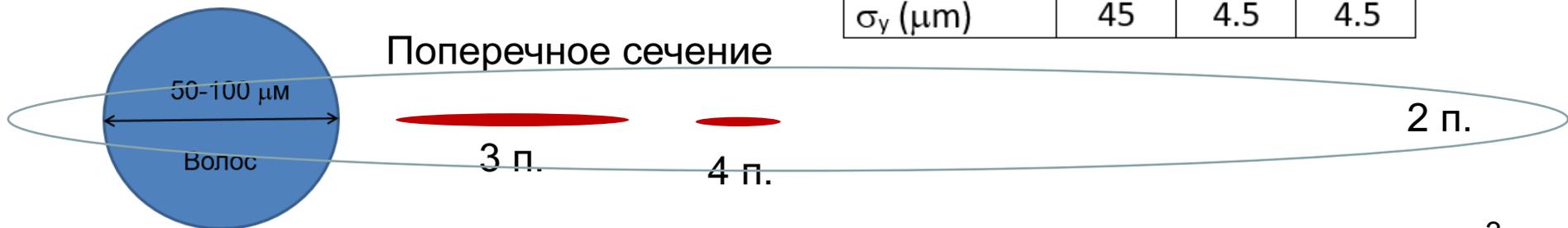
Яркость источника



Яркость (в некотором спектральном диапазоне) – число фотонов, излучаемых в единицу времени с единицы площади источника в единицу телесного угла (плотность потока фотонов в фазовом объеме источника):

$$B(\lambda) \propto \frac{\dot{N}(\lambda)}{(\Delta x \Delta \theta_x)(\Delta y \Delta \theta_y)} \propto \frac{\dot{N}(\lambda)}{\varepsilon_x \varepsilon_y}$$

Поколение ИСИ	2	3	4
ε_x (nm)	100	1	0.1
ε_y (nm)	1	0.01	0.01
σ_x (μm)	1000	100	32
σ_y (μm)	45	4.5	4.5



Поколения источников СИ

- **Первое поколение.** Не специализированные ускорители (коллайдеры или синхротроны). $\varepsilon_x \sim 300-500$ нм (ВЭПП-3, ВЭПП-4, BEPC, DAPHNE)
- **Второе поколение.** Специализированные накопители, несложная оптимизация эмиттанса, излучение из магнитов и СП вигглеров. $\varepsilon_x \sim 20-100$ нм (Сибирь-2, CAMD, DELTA, SAGA, ANKA, ...)
- **Третье поколение.** Специализированные накопители, эмиттанс оптимизирован, излучение из ондуляторов. $\varepsilon_x \sim 1-10$ нм (ALS, ESRF, Diamond, Alba, ...)
- **Четвертое поколение.** Специализированные; эмиттанс сильно оптимизирован, много новых технологических примочек. $\varepsilon_x \sim 500-100 \dots 10$ пм (NSLS-II, MAX IV, ESRF-EBD, СКИФ, ИССИ-4...).

Дифракционный предел эмиттанса

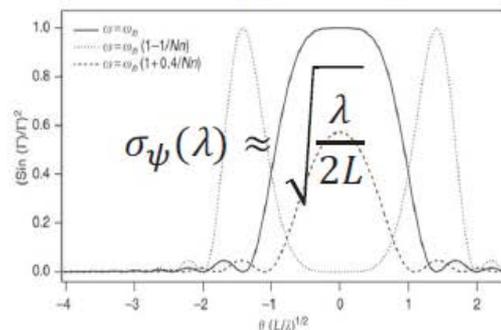
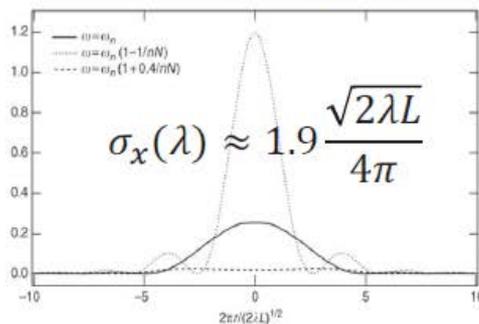
Из-за волнового характера излучения даже один излучающий электрон имеет конечный эмиттанс.

$$\Rightarrow \sigma_{Ix}(\lambda)\sigma_{I\psi}(\lambda) = \frac{\lambda}{4\pi} = \varepsilon_r(\lambda)$$

Дифракционный эмиттанс для когерентного гауссового пучка

Fitting Gaussian profiles to spatial and angular profiles for **undulator radiation** at λ :

P. Elleaume, in *Wigglers, Undulators, and Their Applications*, 2003.



$$\Rightarrow \sigma_x(\lambda)\sigma_\psi(\lambda) \approx \frac{\lambda}{2\pi} = \varepsilon_r(\lambda)$$

Дифракционный эмиттанс для излучения одиночного электрона из ондулятора.

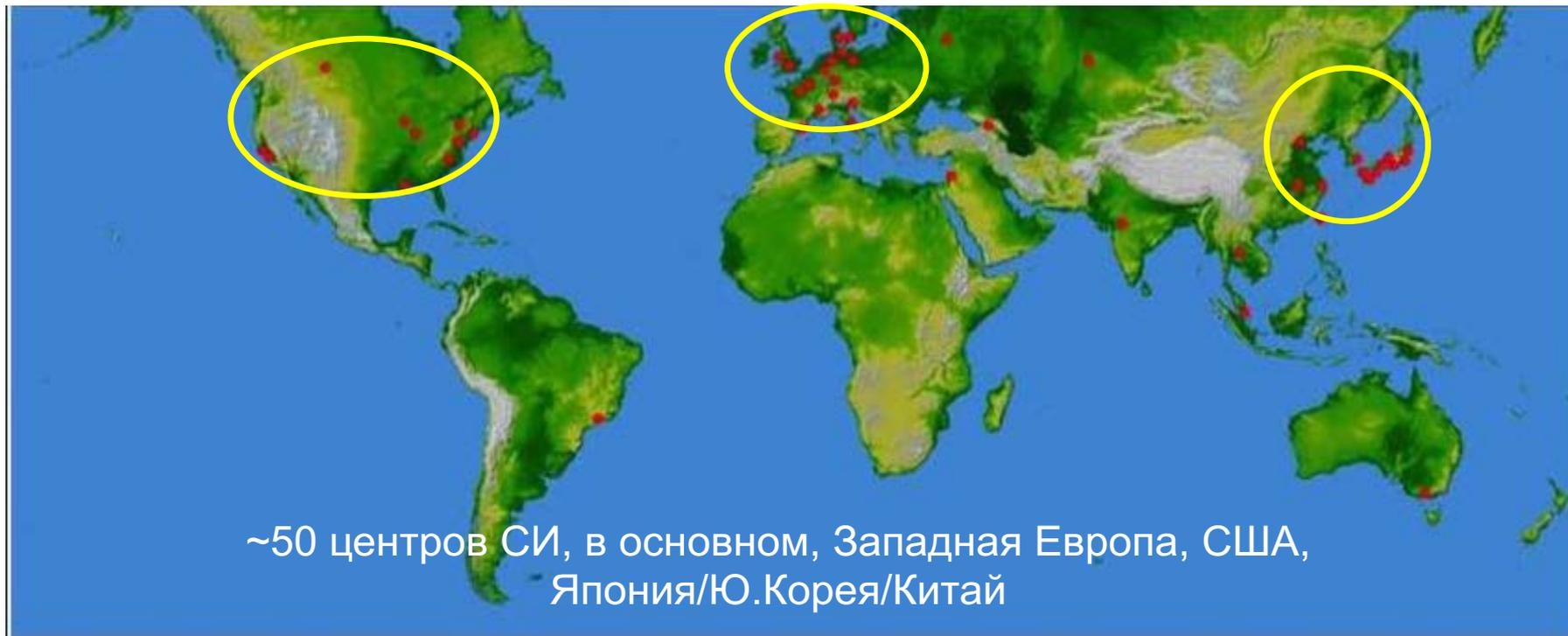
$\varepsilon_r(1A^\circ) \approx 8 \dots 16 \text{ pm}$

СКИФ:

Горизонтальный эмиттанс $\sim 50\text{-}90 \text{ pm}$

Вертикальный эмиттанс $\sim 5\text{-}9 \text{ pm}$

Лаборатории СИ



Наличие центра (-ров) синхротронного излучения, наравне с ядерными исследованиями и космосом, является признаком научно-технической развитости.

СИ и Нобелевская премия

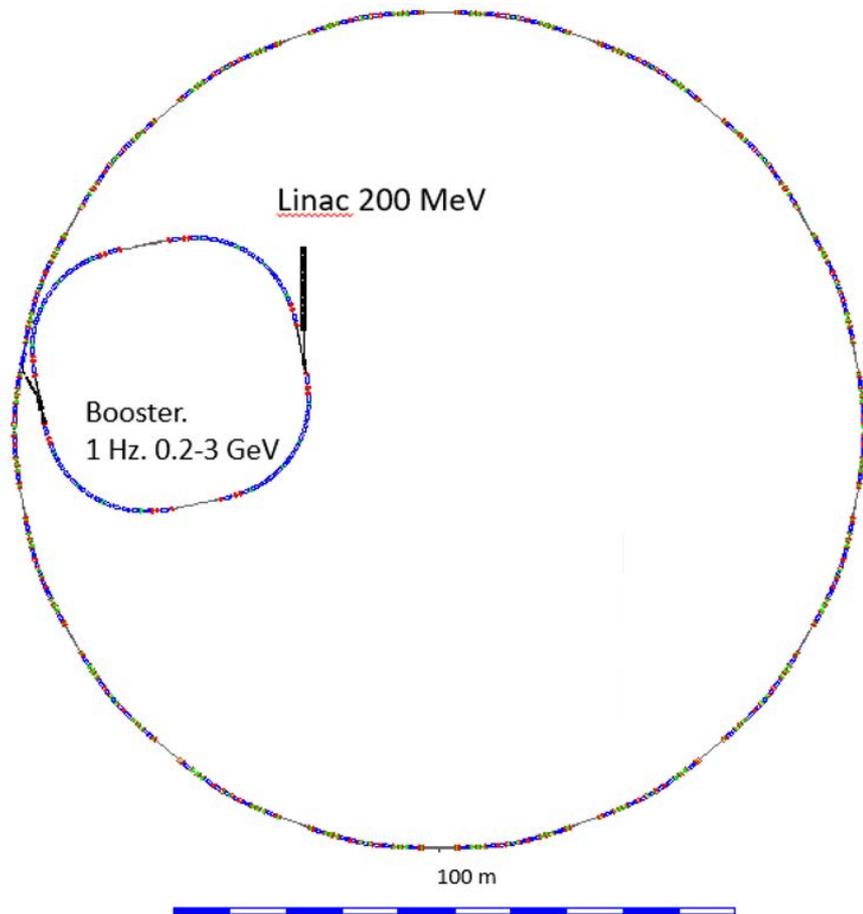
- 1997** Sir John Walker, structure of Bovine F1 ATP synthase (SRS)
- 2003** Roderick MacKinnon, structure of the neuronal ion channel (partly at the NSLS)
- 2006** Roger Kronberg, for determining how DNA's genetic blueprint is read and used to direct the process for protein manufacture (SSRL, ALS)
- 2008** Osamu Shimomura, Martin Chalfie and Roger Tsien, for discovery and development of green fluorescent protein (NSLS)
- 2009** Venkataraman Ramakrishnan, Thomas Steitz and Ada Yonath, for study of the structure and function of ribosome (NSLS, DESY)
- 2012** Brian Kobilka, revealing and study of protein complex G-protein-coupled receptor (APS, SSRL)

Проблемы получения малого эмиттанта

- Мощные (нелинейные) силы, сжимающие пучок, приводят к неустойчивости частиц. Область устойчивого движения пучка резко уменьшается (6D-динамическая апертура), уменьшается время жизни пучка и эффективность инъекции.
- Частицы в малом объеме сгустка сильно взаимодействуют (внутрисгустковое рассеяние), что приводит к увеличению эмиттанта и уменьшению времени жизни.
- Электромагнитные поля, наводимые пучком внутри вакуумной камеры, приводят к коллективным неустойчивостям.
- Магниты очень сильные, на грани технологически возможных.
- Высокие точности изготовления ($\sim 20 \mu\text{m}$) и геодезической выставки ($\sim 50 \mu\text{m}$).
- Вигглеры и ондуляторы сильно возмущают пучок.
- ...

Важно не только получить малый эмиттанс, но и обеспечить десятки иногда противоречивых, требований.

Новосибирский источник СКИФ



$E = 3 \text{ GeV}$

$I_{\text{max}} = 400 \text{ mA}$

$\varepsilon_x = 90 \text{ pm}$ (0 mA, no IDs)

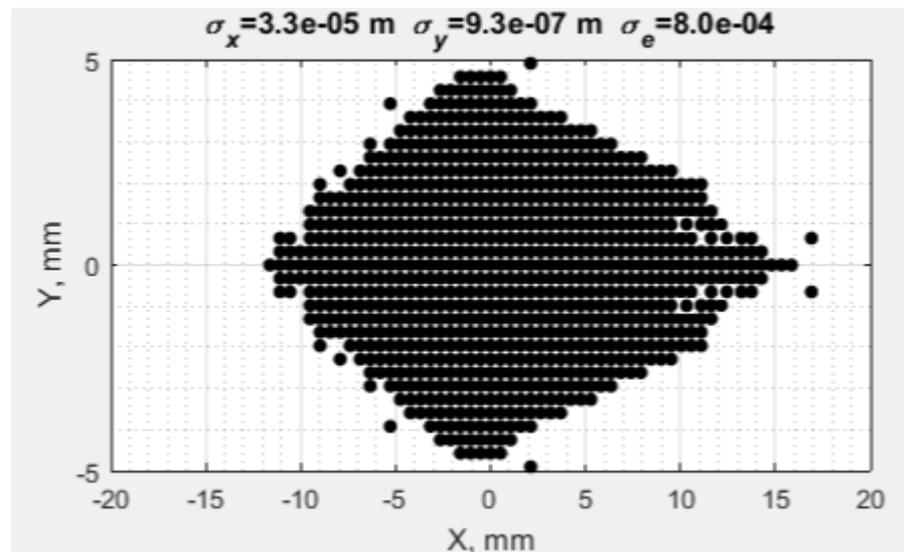
$\varepsilon_x \approx 60 \text{ pm}$ (400 mA, 3W4.5, 10% coupling)

$C = 476 \text{ m}$

14 промежутков (4-6 м) для вигглеров и
ондуляторов

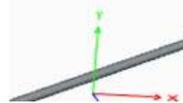
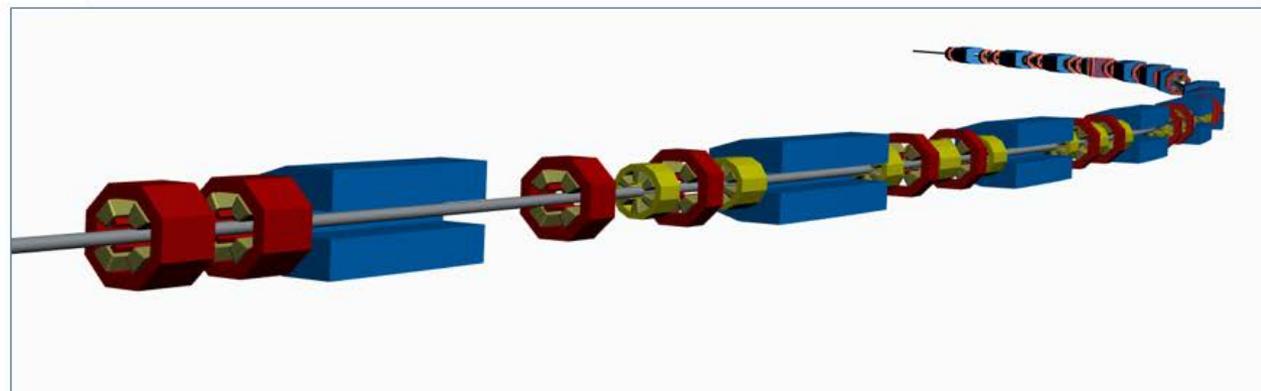
8 каналов из магнитов 1.8 Т

8 каналов из магнитов 0.5 Т



Новосибирский источник СКИФ

1/8 кольца СКИФ



Мягкий рентген (0.5 Т)

Вигглер/
ондулятор

Жесткий
рентген
(1.8 Т)

Статус

Закончена научная проработка ускорительного комплекса источника СИ СКИФ. Основные характеристики и черты источника:

- Энергия пучка 3 ГэВ
- Инжекция на энергии эксперимента
- Натуральный горизонтальный эмиттанс 60-90 пм
- Число каналов вывода СИ: 8 из магнитов (мягкий рентген), 8 из магнитов (жесткий рентген), 14 из змеек и ондуляторов
- Промежутки оптимизированы, и змейки не приводят к деградации пучка
- Динамическая апертура достаточна как для времени жизни, так и для простой и эффективной инжекции
- Оценены основные системы (магнитная, ВЧ, вакуумная, инжекции и т.д.). Технических ограничений для создания комплекса не выявлено

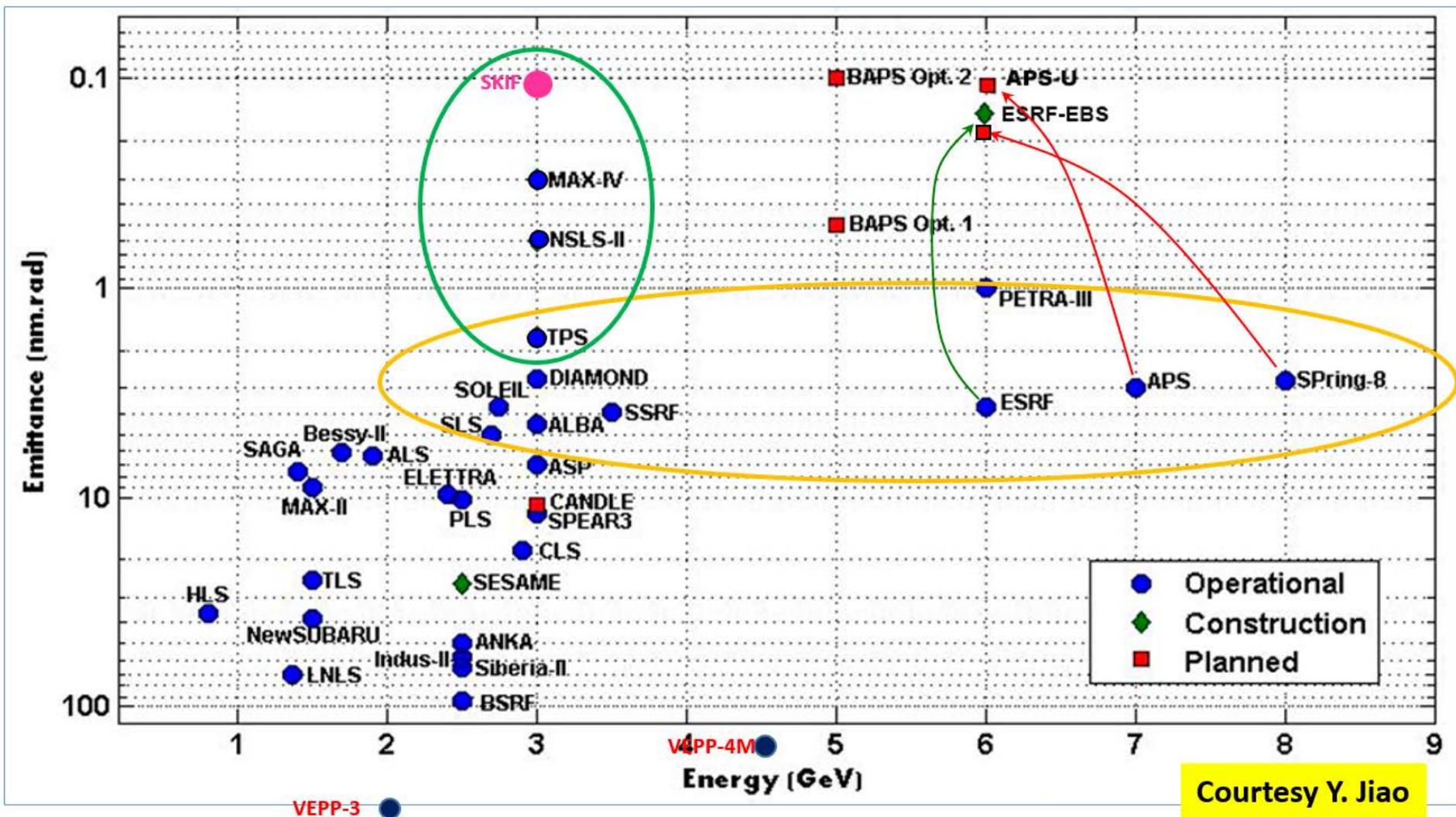
Мы приступаем к технической фазе концептуального проекта.

Сравнение

	E(GeV)	C(m)	ϵ_x (pm)			
MAX IV	3	528	320	New	Operating	Sweden
Sirius	3	518	240	New	Construction	Brazil
Soleil	2.75	354	250	Upgrade	Concept	France
SLS	2.4	288	100	Upgrade	Concept	Swiss
Elettra	2	259	250	Upgrade	Concept	Italy
SLRI	3	321	960	New	Concept	Thailand
Diamond	3	561	132	Upgrade	Concept	UK
SSRF	3	432	203	Upgrade	Concept	Shanghai
ALS	2	196	109	Upgrade	Concept	USA
SKIF	3	476	60-90	New	Concept	Novosib

<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1801/1801.02522.pdf> (2018)

Сравнение



Courtesy Y. Jiao