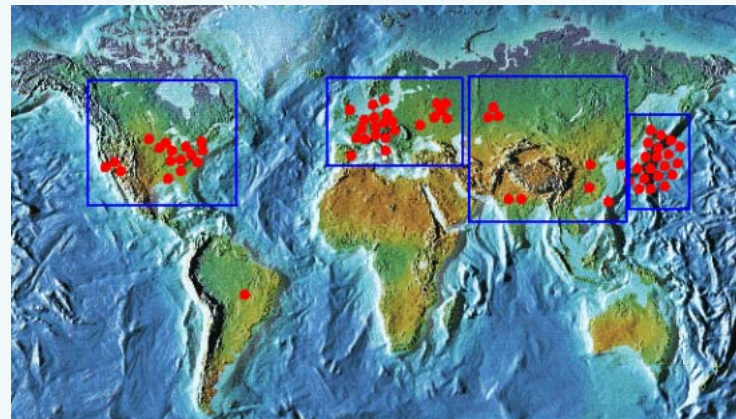


Ю.Л.Словохотов, Я.В.Зубавичус

Экономическая география источников СИ

Школа пользователей
синхротронного излучения

Мировые источники СИ



Школа пользователей
синхротронного излучения

Эмиттанс – ключевая характеристика источника СИ

Эмиттанс источника: $\varepsilon = \delta\gamma \cdot \delta\phi$ [нм·рад]

Поколения синхротронных источников

1-е поколение: $\varepsilon = 100-1000$ нм·рад

конец 1970-х годов; ускорители для задач ядерной физики; СИ – в «паразитном режиме»

2-е поколение: $\varepsilon = 10-100$ нм·рад

середина 1980-х годов; специализированные (dedicated) источники

3-е поколение: $\varepsilon = 1-10$ нм·рад

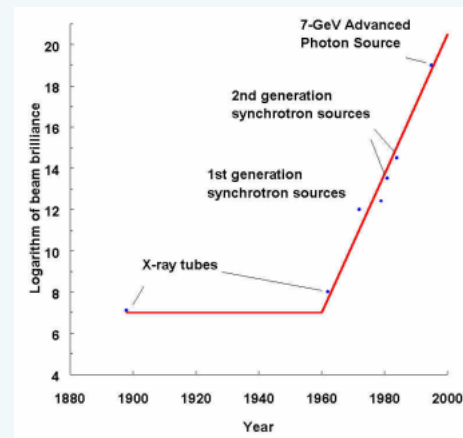
конец 1990-х годов; в конструктивной схеме - много линейных участков для установки встроенных устройств.

Дифракционный предел для кольцевых ускорителей

4-е поколение: $\varepsilon \leq 0.01$ нм·рад ЛСЭ

Школа пользователей
синхротронного излучения

Рост яркости



Школа пользователей
синхротронного излучения

География центров СИ

Около 40 работающих источников в мире (1997г.: 75 накопительных колец, в т.ч. проектируемых)
Во всех промышленно развитых странах уже работают или строительство запланировано на ближайшее будущее.

Устаревшие источники из промышленно развитых странах безвозмездно передаются другим странам
Япония → Таиланд (Нахон Раджасима) **SIAM**
Германия (BESSY I) → Иордания **SESAME**
Франция (LURE) → Польша

Школа пользователей
синхротронного излучения

Северная/Южная Америка

США: NSLS (BNL, Аптон), APS (ANL, Аргонн), CHESS (Корнельский университет, Итака), CAMD (университет Луизианы, Батон Руж), ALS (LBNL, Беркли), SRC (университет Висконсина, Мэдисон), SSRL (Стэнфорд)

Канада: CLS (Саскачеван) – **строится**

Бразилия: LNLS (Кампинас) – единственный в Южном полушарии

Школа пользователей
синхротронного излучения

Европа

Франция: ESRF (Гренобль), DCI (Орсэ) – **Soleil (строится)**

Германия: HASYLAB (Гамбург), ANKA (Карлсруэ), DELTA (Дортмунд), ELSA (Бонн), BESSY (Берлин)

Великобритания: DL (Дарсбери) – **DIAMOND (строится)**

Швейцария: SLS (институт Шеррера, Виллиген)

Италия: Elettra (Триест), Dafne (Фраскати)

Швеция: MAX II (Лунд)

Дания: ASTRID (Аарус)

Испания: ALBA (Барселона) – **строится**

Школа пользователей
синхротронного излучения

Азия

Япония: SPRing-8 (Харима), Photon Factory (Цукуба), несколько компактных накопительных колец для ВУФ-диапазона (Хиросима, Киото и др.)

Китай: BSRF (Пекин), SSRF (Шанхай) – **проект**

Индия: INDUS 1, INDUS2 (Индор)

Тайвань: SRRC (Синьчу)

Южная Корея: PLS (Поханг)

Школа пользователей
синхротронного излучения

Центры третьего поколения в области жесткого рентгеновского излучения



SPRing-8 (Super Photon Ring)

Харима, Япония

$E = 8 \text{ ГэВ}$

$I = 100 \text{ мА}$

$L = 1436 \text{ м}$

$\epsilon = 5.6 \text{ нм·рад}$

Число станций ~60

Школа пользователей
синхротронного излучения

Центры третьего поколения в области жесткого рентгеновского излучения



ESRF (European Synchrotron Radiation Facility)

Гренобль, Франция

$E = 6 \text{ ГэВ}$

$I = 200 \text{ мА}$

$L = 844 \text{ м}$

$\epsilon = 4 \text{ нм·рад}$

Число станций ~40

Школа пользователей
синхротронного излучения

Центры третьего поколения в области жесткого рентгеновского излучения



APS (Advanced Photon Source)

Аргонн, США

$E = 7 \text{ ГэВ}$

$I = 300 \text{ мА}$

$L = 1104 \text{ м}$

$\epsilon = 8 \text{ нм·рад}$

Число станций ~70

Школа пользователей
синхротронного излучения

Главные центры второго поколения в области жесткого рентгеновского СИ

Daresbury Laboratory (Дарсбери, Великобритания)

Photon Factory (Цукуба, Япония)

DESY (Гамбург, Германия)

NSLS (Аптон, США)

Энергия 2-3 ГэВ, 30-50 исследовательских станций

Школа пользователей
синхротронного излучения

Центры третьего поколения в области мягкого рентгеновского излучения

ALS (Advanced Light Source), Беркли, США

BESSY II, Берлин, Германия

Elettra, Триест, Италия

MAX II, Лунд, Швеция

Школа пользователей
синхротронного излучения

Финансирование центров СИ в США

Department of Energy (DOE), 1984 г., комиссии Эйзенберга-Кнотека:
10-летний план развития СИ, повышение яркости в 10^2 - 10^4 раз

- два ондуляторных источника в жестком (5-6 ГэВ, \$168 млн.) и мягком (1.5 ГэВ, \$73 млн.) рентгеновских диапазонах,
- облегчение доступа пользователей к СИ
- ликвидация “перекоса в сторону фундаментальной науки”

ALS (1.9 ГэВ): 1987-1993,	\$99.5 млн.
APS (7 ГэВ): 1989-1996,	\$991 млн. , из них
DOE	812 млн.,
ун-ты, пром., др. гос. агентства	160 млн.,
штат Иллинойс	19 млн. (гостиница)

APS, 2005 г.: 2500 пользователей

Школа пользователей
синхротронного излучения

Финансирование центров СИ в США

Научная программа DOE в 1997 г.: ~\$1 млрд.
из них 25% - на SSRL, NSLS, ALS, APS

National Science Foundation (NSF) - центры СИ
в Univ. of Wisconsin (Alladin) и Cornell Univ. (CHESS)

SURF: Nat. Inst. of Standards (NIST)

CAMD (1.4 ГэВ): частный технологический центр

Научная программа DOE в 2005 г.: **\$3.4 млрд**

Школа пользователей
синхротронного излучения

Финансирование центров СИ в США

1. Государственное финансирование & управление (SSRL)
2. Participating Research Team (PRT): 75% пучкового времени
индивидуальные пользователи: 25% пучкового времени
3. Collaborative Access Team (CAT) - 20 лет (APS)
4. Collaborative Development Team - 3 года, 100% → 0% пучка

Пример: Midwest Universities CAT (MU-CAT):
9 университетов из США + Forschungszentrum Julich IFF
организована в 1990 г.
ондуляторный канал + 3 станции на APS,
исследование материалов
~10 публикаций в годовых отчетах APS

В 1990-97 г.г. число пользователей СИ в США удвоилось

Школа пользователей
синхротронного излучения

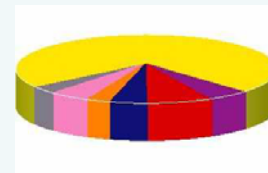
Финансирование центров СИ в мире

DOE, 1997 г., комиссия Биргенау

страна	ВВП (\$млрд.)	СИ, (\$млн.)	СИ/ВВП (%·10 ³)	СИ, \$ на душу населения
США	6740	183	2.7	0.73
Япония	4690	126	2.7	1.01
Германия	1910	55.5	2.9	0.68
Франция	1317	41.0	3.1	0.71
Италия	1134	32.6	2.9	0.57
Англия	1040	41.8	4.0	0.72
Канада	574	8.7	1.5	0.30
все страны G7	17405	488.6	2.8	0.74
не-G7 без КНР и РФ	2934	82.6	2.8	0.26

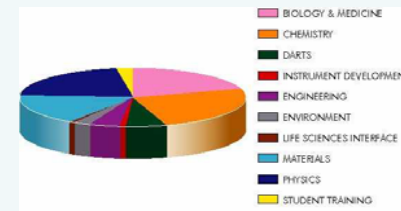
Школа пользователей
синхротронного излучения

Daresbury Laboratory (Англия), 2001 г.



Источники финансирования:
DARTS - коммерческие услуги,
WELLCOME - промышленность,
EU-TMR - европейская программа
>80% - государственные фонды

Тематика исследований:



В 2003 г. по данным из DL опубликовано 410 статей

Школа пользователей
синхротронного излучения

ESRF (Гренобль)



Финансирование в 2003 г.: 73.44 млн. евро,

в том числе
 взносы стран-участниц **64.89 млн. (88%)**

научные ассоциации 3.13 млн.

компенсационные фонды 1.28 млн.

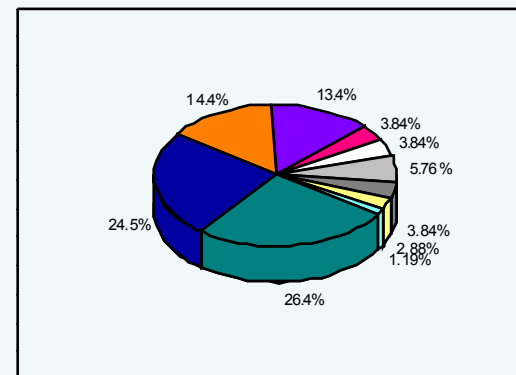
совместные
 и специальные проекты 0.67 млн.

коммерческие услуги 2.17 млн. **(3%)**

прочие 1.30

школа пользователей
синхротронного излучения

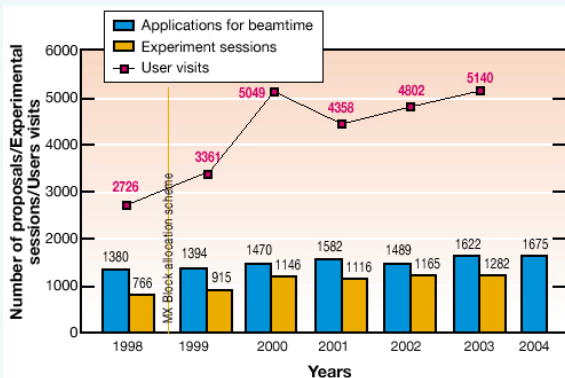
Взносы стран-участниц в ESRF, 2003 г.



Франия
 Германия
 Италия
 Англия
 Исландия
 Швейцария
 Бенилюкс
 Скандинавия
 Португалия, Австрия
 Польша, Чехия, Венгрия

Школа пользователей
синхротронного излучения

Работа пользователей в ESRF, 2003 г.



30 общих каналов,
11 каналов Collaborative Research Groups
синхротронного излучения

Россия

Сибирский центр синхротронного излучения (СЦСИ, Институт ядерной физики им. Будкера СО РАН, Новосибирск) – работает с середины 1970-х годов

Накопительные кольца ВЭПП-3 (2 ГэВ, 120 МА), ВЭПП-4 (5 ГэВ, 40 МА) – оба **первого поколения** ($\epsilon \sim 300$ нм·рад) 11 станций

Курчатовский центр синхротронного излучения и нанотехнологий (РНЦ Курчатовский институт, Москва)

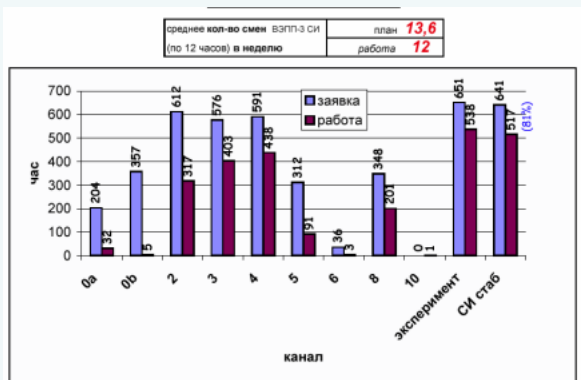
Сибирь-1 (бустер, 450 МэВ) – 4 станции в ВУФ-диапазоне

Сибирь-2 – специализированный, **второго поколения** (2.5 ГэВ, 300 МА, $\epsilon \sim 75$ нм·рад), 8 каналов

ДЭЛСИ (Объединенный институт ядерных исследований, Дубна) – **разработка проекта**

Российско-германский канал на BESSY II (Берлин): спектроскопия в мягкой рентгеновской области синхротронного излучения

Использование пучкового времени на ВЭПП-3, сентябрь 2005 г.



2001 г.: 1932 ч. смен СИ, 212 публикаций (в т.ч. тезисы)
Школа пользователей синхротронного излучения

Выводы

Центры СИ - новые хозяйственные объекты: «фабрики данных»

Вклад центров СИ в экономику: современный уровень науки, конкурентноспособные технологии, международная научно-промышленная кооперация.

Финансирование центров СИ: на 85%-90% государственное с гибкой системой участия предприятий и университетов.

Условия экономической эффективности центра СИ - это

- развитие современных физических методов исследования,
- массовый доступ к ним индивидуальных пользователей,
- устойчивая бесперебойная работа оборудования,
- максимально широкий спектр решаемых задач.

Школа пользователей синхротронного излучения