

Сверхпроводящие вставные устройства для генерации синхротронного излучения

В.А.Шкаруба
Лаб.8-2



Работы Лаб.8-2 в 2018 году:

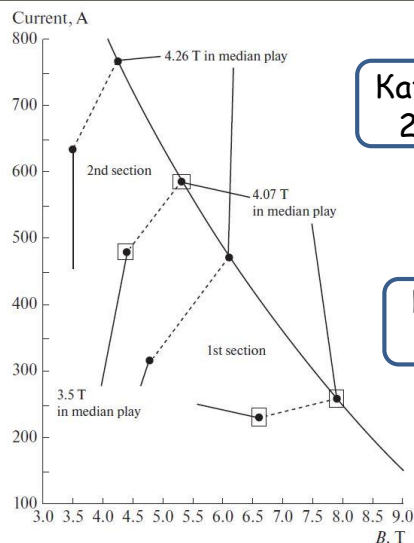
1. Модернизация магнитной системы 45-полюсного 3.5 Тл вигглера для источника СИ ELETTRA (Италия).
2. 22-полюсный 7 Тл вигглер с периодом 128 м для источника СИ DELTA (г.Дортмунд, Германия).
3. Модернизация криогенной системы двух 3-полюсных 7 Тл шифтеров BESSY-II (HZB, г.Берлин, Германия).
4. Два 54-полюсных 3 Тл вигглера с косвенным охлаждением для Курчатовского Источника СИ (г.Москва)
5. Сверхпроводящий ондулятор для *Diamond Light Source (DLS, UK)* (период 15.6 мм, поле 1.2 Тл).
6. Дипольный магнит для детектора СВМ (*Compressed Baryonic Matter*), (*FAIR, Дармштадт, Германия*).



Модернизация магнитной системы 45-полюсного 3.5 Тл вигглера для источника СИ ELETTRA (Италия).

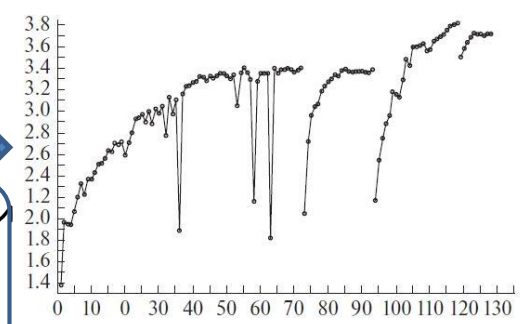
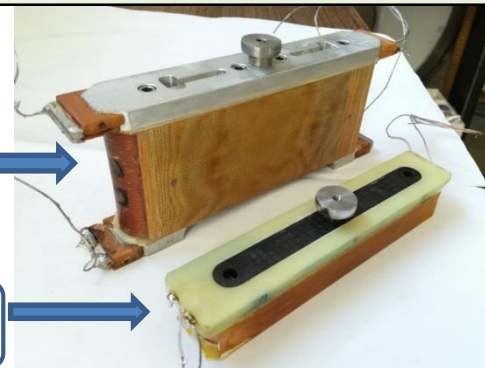
- ❑ Первый многополюсный вигглер (2002). Обмотки спроектированы не эффективно (много витков, поэтому большая индуктивность, плохая управляемость на малом поле, большая накопленная энергия и вероятность сгорания при срыве, большое испарение гелия при срыве);
- ❑ Оставить геометрию существующего каналов вывода СИ без изменения. Поэтому не менять период и число полюсов. Но повысить поле (для надёжности). Токовые характеристики с/п провода - без изменений.

Parameter	Before	After
Turns number in layer	66(65)	20 (19)
Layers number in 1 section	7	4
Total turns in 1 section	459	78
Layers number in 2 section	7	6
Total turns in 2 section	459	117
Current in 1 section, A	205	283
Current in 2 section, A	476	548
Period, mm	64	62.8
Max magnetic field, T	3.5	3.73
Stored energy, kJ	235	46



Катушка 2002

Катушка 2018



Положение "рабочих точек" обмоток относительно нагрузочной кривой с/п провода

История тренировки обмоток вигглера ELETTRA после модернизации

1. S.V.Khrushchev, V.A.Shkaruba, N.A.Mezentsev, V.M.Tsukanov, O.A.Tarasenko, A.A.Volkov, A.V.Bragin, V.Kh Lev, A.A.Safronov, E.Karantzoulis, and D.Zangrando, **Upgrade of the superconducting multipole wiggler magnetic system for the ELETTRA Storage Ring**, Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2019, Vol. 83, No. 2, pp. 204-207.



22-полюсный 7 Тл вигглер с периодом 128 мм для источника СИ DELTA (г.Дортмунд, Германия).

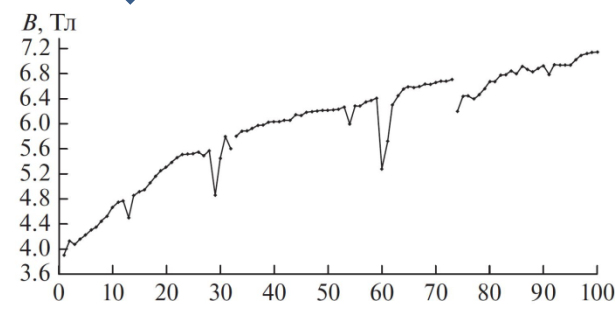
- ❑ Замена 5-полюсного 5.3Тл вигглера (фирма ACCEL, 2002) на новый с "жёстким" спектром и максимальным потоком фотонов на энергии 8 кэВ ($2.16 \cdot 10^{+13}$ фотон \cdot с $^{-1}$ \cdot мрад $^{-1}$ \cdot 0.1% BW). E=1.5ГэВ;
- ❑ Оставить геометрию существующих трёх каналов вывода СИ без изменения.

Magnetic field, B_{nom} (B_{max}), Т	7.0 (7.25)
Pole Number	18+4
Period, mm	128
Magnetic gap (beam gap), mm	16.5 (10)
Horizontal aperture, mm	90/110
Cryostat length, mm	2200
Critical energy, Kev	10.5
K-parameter	~83
Power, kW	~13 (0.1 A)
Currents, A	180/(180+230)
Stored energy, kJ	~250
Ramping time, min	~10

Final Accepted Test, July 2018



$B_{max}=7.25$ Т, 15 June 2018



Inserting SC magnet to LHe vessel

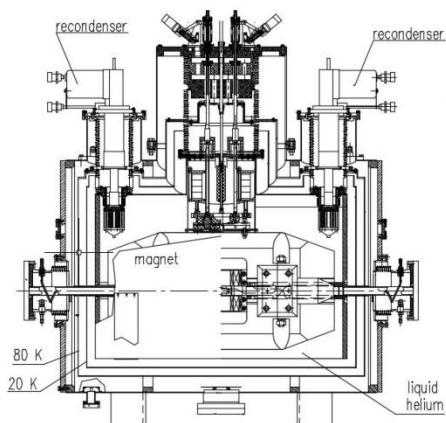


1. A.V. Bragin, A.I. Erokhin, Ye.A. Gusev, S. Khan, S.V. Khrushchev, V.Kh. Lev, N.A. Mezentsev, A.N. Safronov, V.A. Shkaruba, O.A. Tarasenko, V.M. Tsukanov, S.S. Vasichev, A.A. Volkov, A.V. Zorin, **The 22-Pole superconducting 7-Tesla wiggler for the DELTA storage ring**, Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2019, Vol. 83, No. 2, pp. 208-214.
2. N. Mezentsev, A. Bragin, S. Khrushchev, A. Safronov, V. Shkaruba, O. Tarasenko, V. Tsukanov, A. Volkov, A. Zorin, V. Lev, S. Khan, **Superconducting 7 Tesla wiggler for Delta synchrotron radiation source: test results**, Proc. of RuPAC-2018, Protvino, Russia, p.410-413.



Модернизация криогенной системы двух 3-полюсных 7 Тл шифтеров BESSY-II (HZB, г.Берлин, Германия).

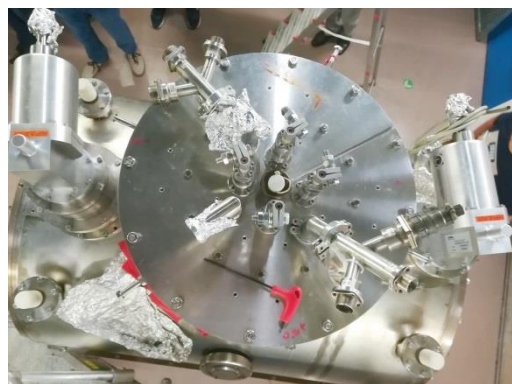
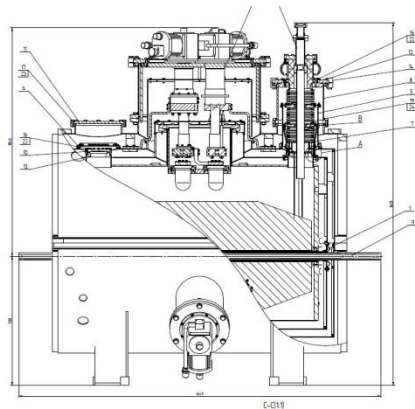
- ❑ Модернизация BESSY-VSR (Variable pulse-length Storage Ring): короткие сгустки + большой ток. Увеличение нагрева камеры токами изображения.
- ❑ Два 3-полюсных 7Т шифтера с расходом гелия 0.7 л/ч (1999, 2000). Задача: обеспечить нулевой расход гелия в режиме VSR.
- ❑ Модернизация криогенной системы непосредственно на BESSY - сократить время простоя.



1999



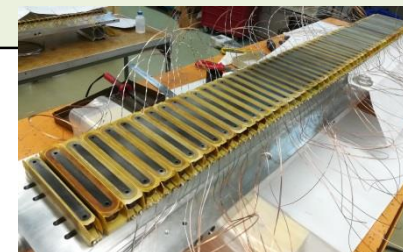
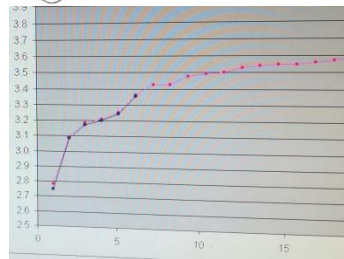
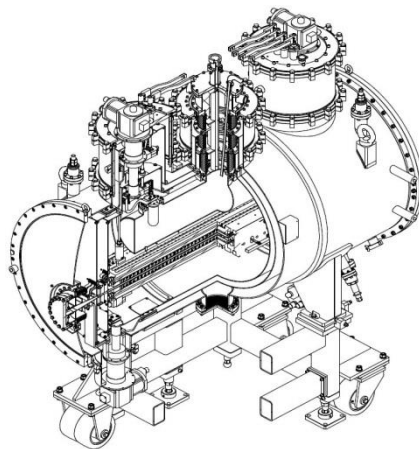
2018



Два 54-полюсных 3 Тл вигглера с косвенным охлаждением для Курчатовского Источника СИ (г.Москва)

- ❑ Преимущество косвенного безжидкостного охлаждения - увеличение уровня поля благодаря уменьшению магнитного зазора за счёт удаления вакуумной камеры гелиевого сосуда;
- ❑ Только вакуумная камера для пучка (экструзия алюминия), охлаждаемая кулером, и она же играет роль лайнера для защиты обмоток;
- ❑ Испытаны только магниты в жидком гелии (поле 3.6 Тл при номинале 3 Тл). Полные испытания с косвенным охлаждением - после сборки в Москве. Предыдущий «сухой» магнит (CLIC dumping wiggler) не достиг запланированных параметров (2.95 Тл вместо 3 Тл).

Магнитное поле $B_{\text{ном}} (B_{\text{max}})$, Тл	3.0 (3.6)
Число полюсов	50+4
Период, мм	48
Магнитный зазор, мм	14
Вертикальная апертура, мм	10
Горизонтальная апертура	60
Длина криостата, мм	2000
Currents, A	478 +478)
Мощность СИ, кВт	~12

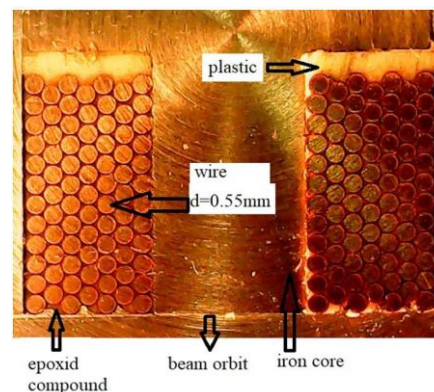
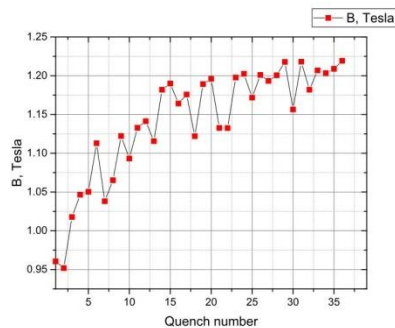
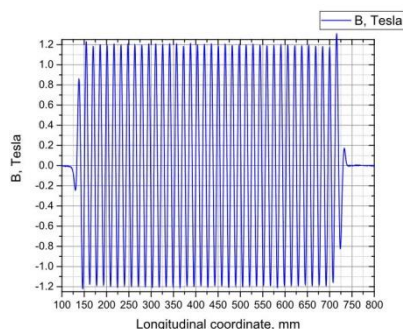
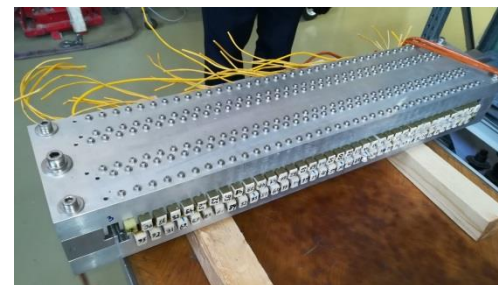
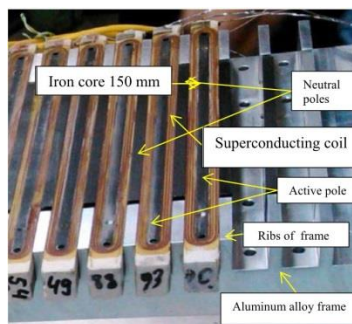


1. A.Valentinov, V.Korchuganov, V.Ushakov, S.Khrushchev, N.Mezentsev, V.Shkaruba, V.Tsukanov, **New superconducting wigglers for KSRS**, Proc. of **RuPAC2018**, Protvino, Russia, p.407-409

Сверхпроводящий ондулятор для Diamond Light Source (DLS, UK) (период 15.6 мм, поле 1.2 Тл).

- ❑ Изготовлен 40-периодный прототип. Поле 1.2 Тл достигнуто;
- ❑ Основная задача: точность изготовления катушек из Nb-Ti провода диам. 0.5 мм не хуже 10-20 мкм (для обеспечения фазовой ошибки не более 2-3 °). Катушки типа горизонтальный "рейстрек" вставляются в пазы каркаса из сплава 6063 для точного позиционирования;
- ❑ Сверхпроводящие ондуляторы - основные устройства для генерации СИ на источнике СКИФ.

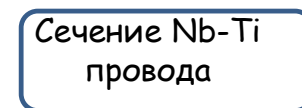
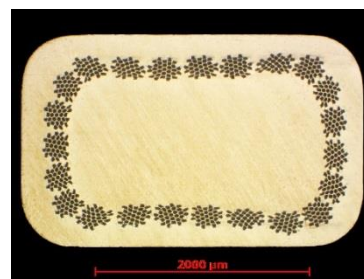
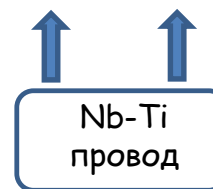
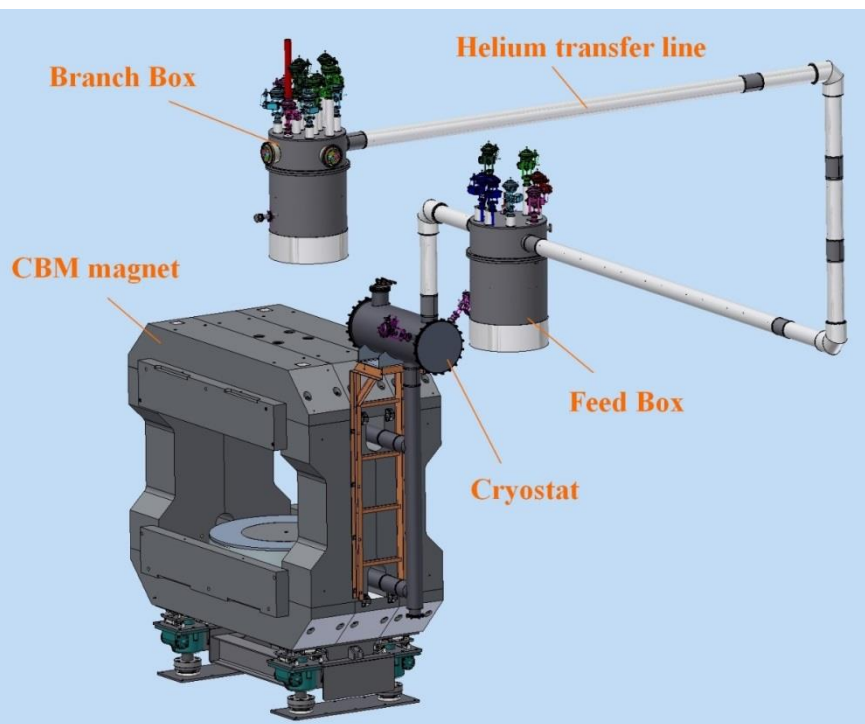
Магнитное поле, Тл	1.2
Число периодов	128
Период, мм	15.6
Магнитный зазор, мм	8
Вертикальная апертура, мм	6
Длина криостата, мм	~2500
Currents, A	~470

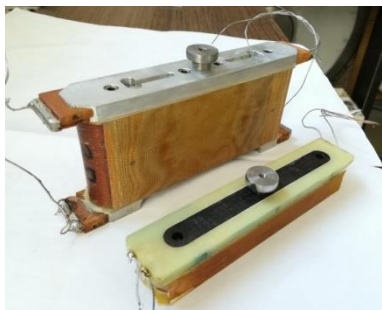


1. A.Bragin, S.Khruschev, V.Lev, N.Mezentsev, V.Shkaruba, V.Syrovatin, O.Tarasenko, V.Tsukanov, A.Volkov, A.Zorin, **Short-Period Superconducting Undulator Coils With Neutral Poles: Test Results**, //IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, VOL. 28, Issue: 4, JUNE 2018, 4101904. (10.1109/TASC.2018.2805162)

Дипольный магнит для детектора СВМ (Compressed Baryonic Matter), (FAIR, Дармштадт, Германия).

- ❑ Разработка и изготовление сверхпроводящих катушек (поле до 4 Т, 5 МДж) и железного ядра массой около 150 тонн;
- ❑ Разработка и изготовление криогенной системы магнита и криогенного разделительного блока и гелиевого трубопровода
- ❑ **Состояние на конец 2018:**
- ❑ Утверждён концептуальный проект магнита. Продолжается конструирование систем;
- ❑ Изготовлен СТП провод в России, 32 км в шести бобинах. Готовится нанесение изоляции;
- ❑ Подписан контракт на изготовление железного ядра массой 150 тонн, завод Сибмаш;
- ❑ Тестовые испытания магнита в ИЯФ планируется провести в 2021 году.





Январь 2018:

Модернизация магнитной системы 45-полюсного 3.5 Тл вигглера для источника СИ ELETTRA (Италия).



Июль 2018:

22-полюсный 7 Тл вигглер с периодом 128 мм для источника СИ DELTA (г.Дортмунд, Германия).



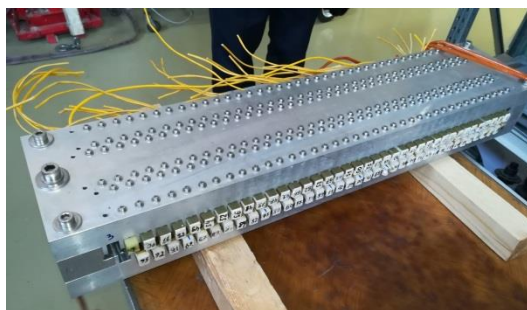
Август 2018:

Модернизация криогенной системы двух 3-полюсных 7 Тл шифтеров BESSY-II (HZB, г.Берлин, Германия).



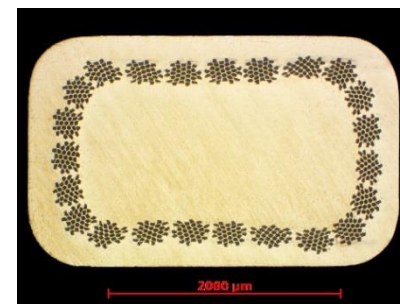
Ноябрь 2018:

Два 54-полюсных 3 Тл вигглера с косвенным охлаждением для Курчатовского Источника СИ (г.Москва)



2018:

Сверхпроводящий ондулятор для Diamond Light Source (DLS, UK) (период 15.6 мм, поле 1.2 Тл).



2018:

Дипольный магнит для детектора CBM (Compressed Baryonic Matter), (FAIR, Дармштадт, Германия).

Спасибо за внимание!