
Beams of the LPI synchrotron "Pakhra" for calibration of NICA detectors

V. A. Baskov, A. I. Lvov, V. V. Polyansky

*P. N. Lebedev Physical Institute of Russian Academy of Sciences, Department
of nuclear research, MOSCOW*

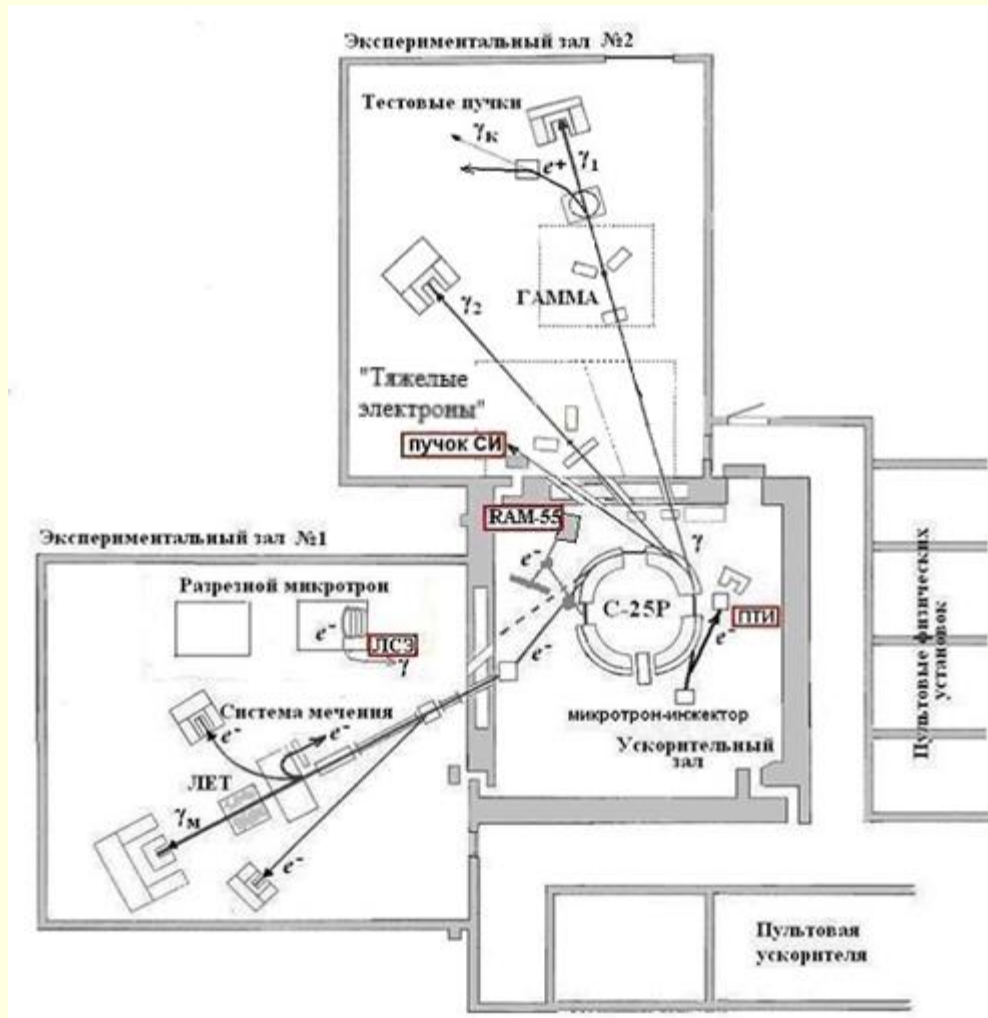
Introduction

The experimental **SPD** and **MPD** facilities contains many detectors of various types and equipment. In many cases, calibration of detectors and equipment is required. For these purposes, accelerators generating beams are needed. The synchrotron "**Pakhra**" is the continuously operating accelerator in Russia, generating electron and photon beams. Synchrotron "**Pakra**" of the Lebedev Physical Institute is located in the city of Troitsk near Moscow in new Moscow (about 20 km).



"Pakhra"

LPI ACCELERATOR



The energy of electrons in the ring - $E = 200-850 \text{ MeV}$

The intensity of $E \sim 10^{12} \text{ e-/sec}$

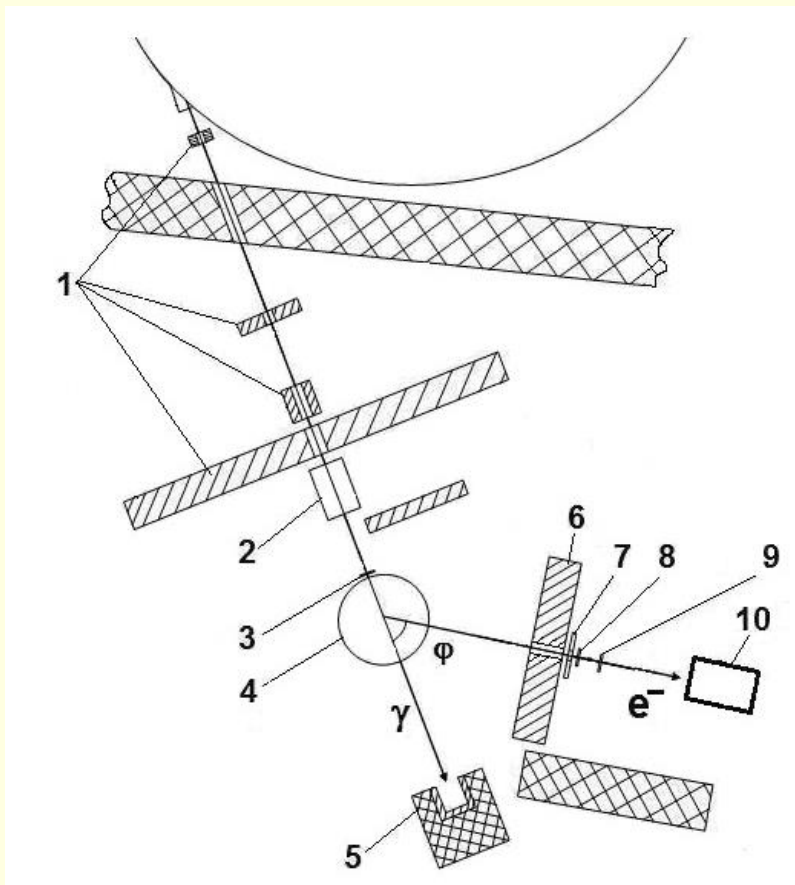
Frequency - 50 1/sec

Stretching $\Delta T \sim 3 \text{ msec}$

Duty factor - 0.15

Scheme of beams of the S-25
"PAKHRA" accelerator.

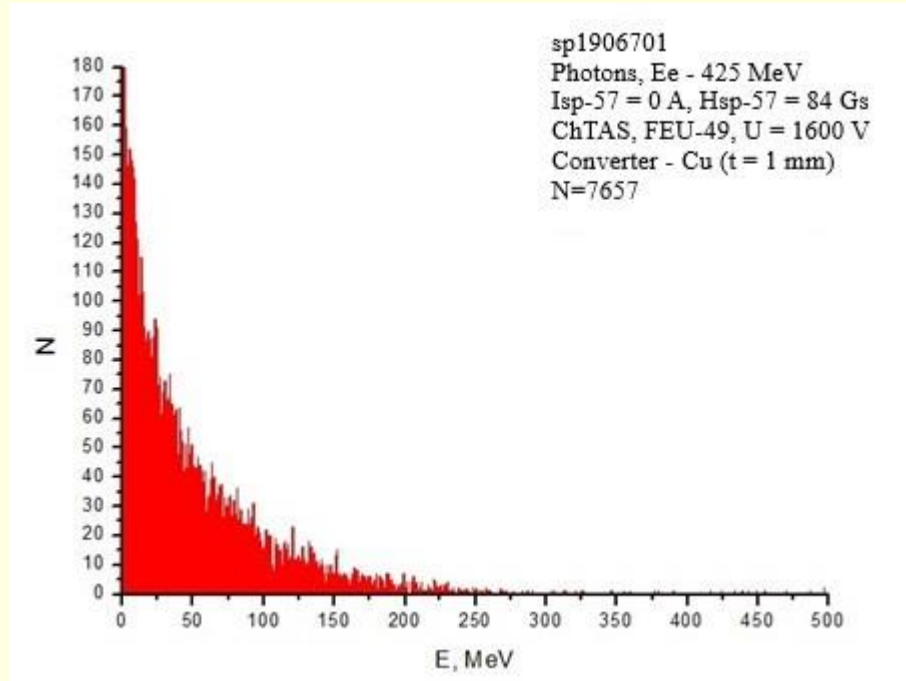
Calibration beam of secondary electrons (2 experimental hall)



The scheme of the calibration secondary electron beam:

- 1 - lead collimators;
- 2 - cleaning magnet SP-3;
- 3 - Converter;
- 4 - magnet SP-57;
- 5 - photon beam absorber ("burial ground");
- 6 - collimator;
- 7 - scintillation counter of anti-falls A;
- 8, 9 - trigger scintillation counters S1 and S2;
- 10 - investigated detector.

Photon beam



The spectrum of photons obtained with the help of Cherenkov spectrometer (ChTAS) (the width of the slit lead collimator in front of the ChTAS was 5 mm).

$\langle E_\gamma \rangle = 56$ MeV.

Monitoring systems of the photon beam

Photon beam monitoring system (intensity control):

at the entrance to the channel

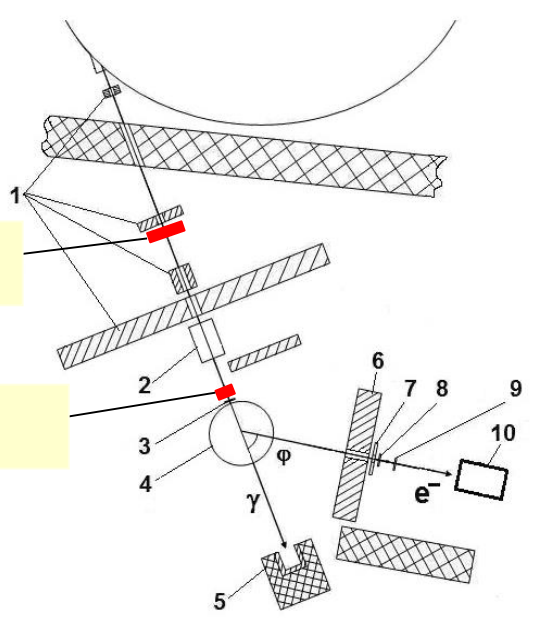
$$I_{C-25R} \sim 1.7 \cdot 10^9 \text{ Y/sek.}$$

on the Converter before the SP-57

The features of using Cherenkov radiation for photon beam monitoring are:

1. Fast time of Cherenkov pulse formation (compared to scintillation pulse by ~3-5 times);
2. The efficiency of the interaction of photons with matter in comparison with the interaction of electrons is $\sim 10^3 - 10^4$ less;
3. Good radiation resistance of the Plexiglas compared to the scintillator.
4. **The most important** thing is the proportional dependence of the number of Cherenkov photons on the number of $e^- - e^+$ pairs converted in the substance of the counter, which makes it possible to compare the number of registered $e^- - e^+$ pairs to the number of photons passed through it and the total intensity of the photon beam. The estimation shows that the number of Cherenkov photons passing through a 1 cm thick plexiglass photon beam with an intensity of $\sim 10^9 \text{ y/s}$ is $NPF \sim 5 \times 10^7 - 5 \times 10^8 \text{ photons/s}$ (taking into account the passage of two particles – an electron-positron pair), which is quite acceptable for creating a monitoring system. Using a hodoscope as an active radiator makes it possible to determine the point of conversion of a photon into an electron-positron pair and the point of entry of this pair into the magnetic field of SP-57.

Monitoring of the photon beam



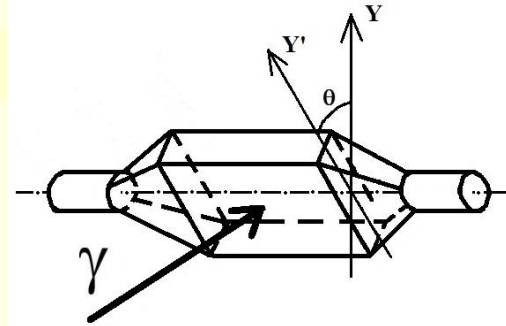
Cherenkov monitor

Cherenkov horoscope



Cherenkov horoscope

M1



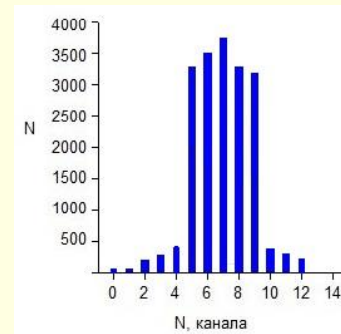
M2

$$V = 100 \times 100 \times 10 \text{ mm}^3$$

$$N_{M1} = N_{M2} \sim 10000 \text{ 1/s}$$

$$N_{M1 \times M2} \sim 2000 \text{ 1/s}$$

Cherenkov monitor



The photon beam profile measured by a horoscope based on Cherenkov counters in front of the radiator (3) on the section of the poles of the SP-57 magnet (4).

Workspace



Trigger : $T = (C_1 \cdot C_2 \cdot C_3) \cdot A$

The size of the trigger counters:

$C_1, C_2, C_3 - 15 \times 15 \times 1 \text{ mm}^3$

$A - 40 \times 90 \times 1 \text{ mm}^3$, hole diameter $\varnothing 10 \text{ mm}$



General view of the workplace

Coordinate table:

Travel range: $X - 0 - 50 \text{ sm}$; $Y - 0 - 40 \text{ sm}$

The accuracy of movement : $\Delta x(y) = \sim 2 \text{ mm}$

Weight of the detector $P_{\text{detector}} = \sim 30 \text{ kg}$



Secondary electron beam

The energy resolution of $\delta = 10 - 4.5 \%$

Energy of bremsstrahlung photons – $E_{\max} = 200 - 500 \text{ MeV}$

The intensity of bremsstrahlung photons – $\sim 1.7 \cdot 10^9 \text{ } \gamma/\text{sec}$

The thickness of the Converter (3) – $0.1 - 5 \text{ mm Cu}$

The diameter of the collimator (6) – 10 mm

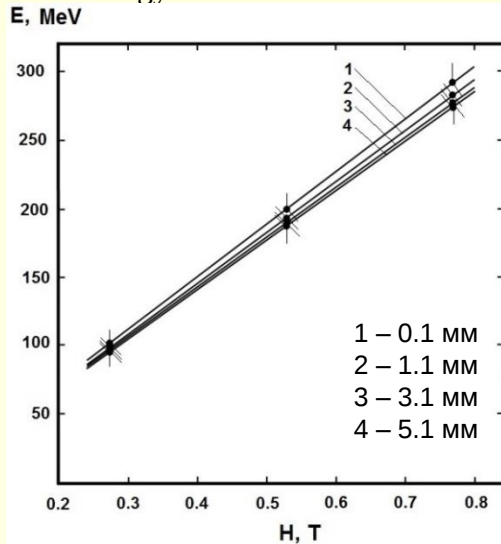
Field of the SP-57 (4) magnet (4) – $0.2 - 1.0 \text{ T}$

Energy of the calibration beam of secondary electrons – $E_e = 30 - 300 \text{ MeV}$

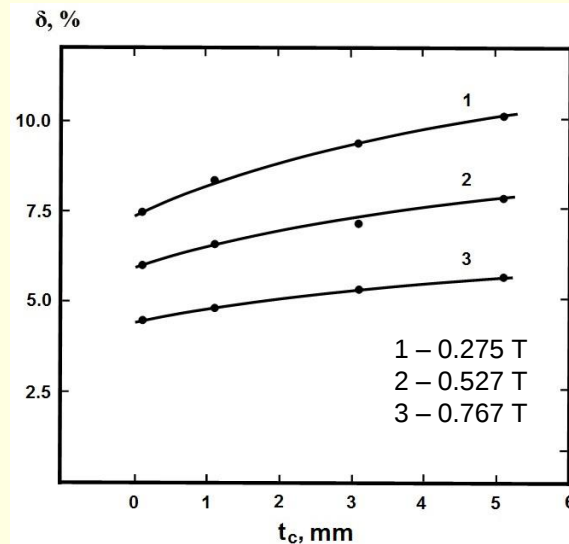
The energy resolution:

The range of energies – $\Delta E = 100 - 300 \text{ MeV}$

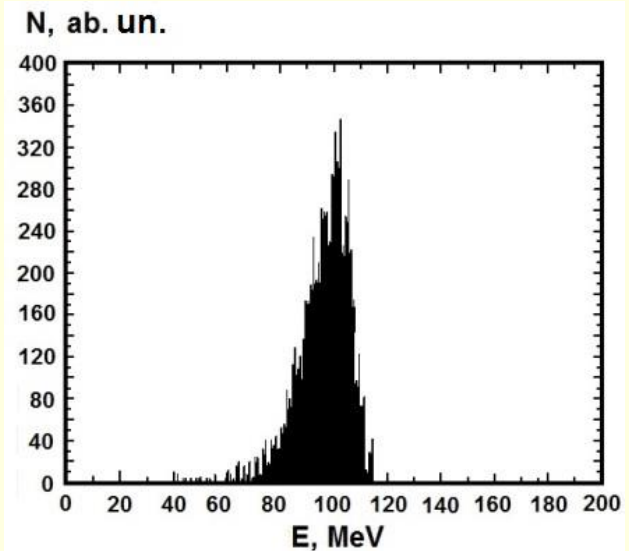
The energy resolution of – $\delta = 10 - 4.5 \%$



Dependence of the secondary electron energy on the Converter thickness and the SP-57 field.



Dependence of the energy resolution of the electron beam on the Converter thickness and the SP-57 field.



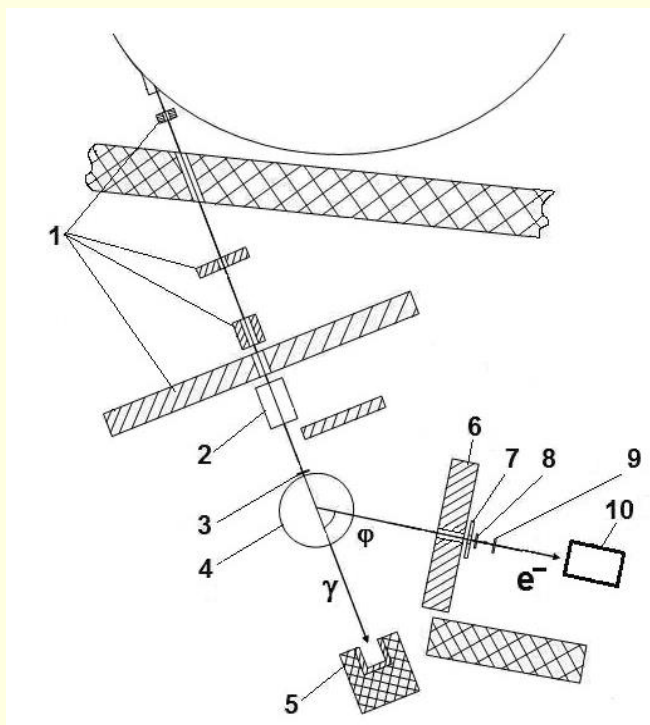
Energy spectrum of the secondary electron beam (Converter+air+ ChTAS) – (air+ ChTAS), $t_c = 0.1 \text{ mm (Cu)}$

Optimization of channel element parameters

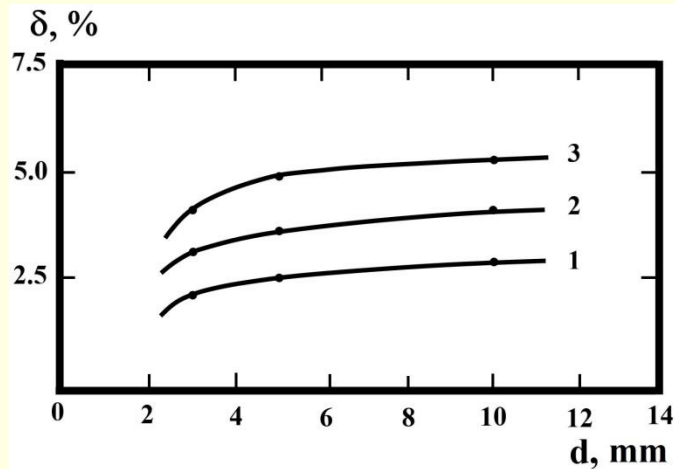
1. The trigger parameters $T=(S1 \times S2) \times A$
(the number of counters, the size counters
and the distance between them) (7 и 8)
2. The thickness of the Converter (3)
3. The hole diameter of the collimator (6)



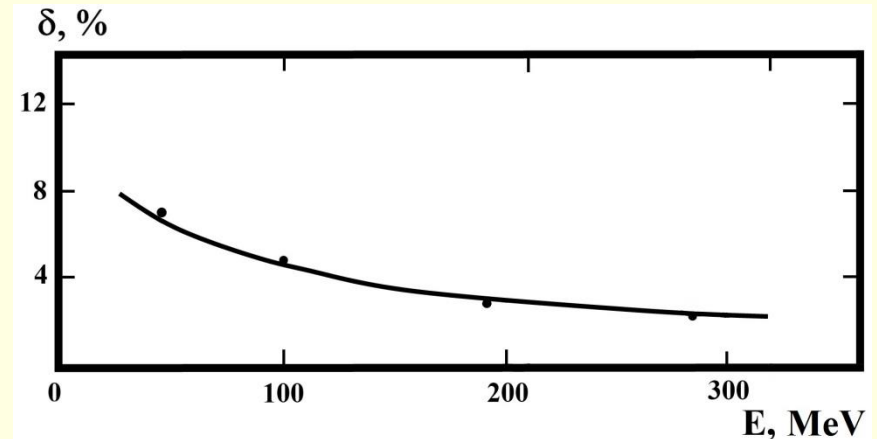
- 2
 $10 \times 10 \times 5 \text{ mm}^3$
32 sm
1 – 3 mm
3 – 10 mm



Results

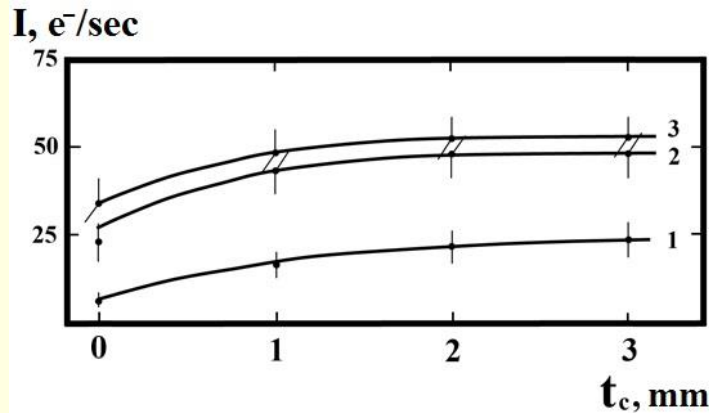


Dependence of the relative energy resolution of the secondary electron beam on the diameter of the collimator hole d and the thickness of the Converter t_c at the electron beam energy $E = 280$ MeV. In figure : 1 – $t_c = 3$ mm; 2 – $t_c = 5$ mm; 3 – $t_c = 10$ mm.



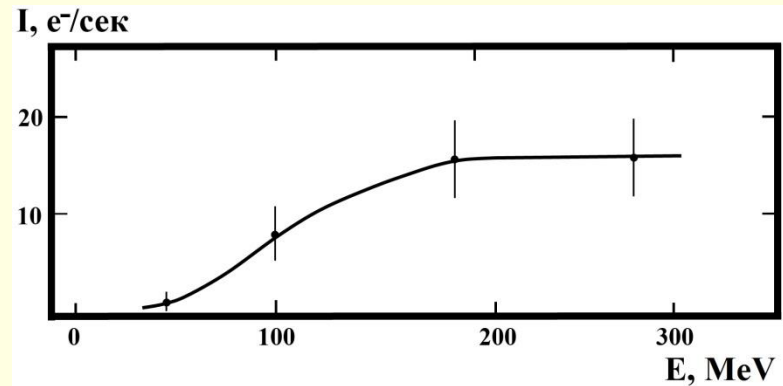
Dependence of the relative energy resolution of the secondary electron beam on the energy at $t_c = 1$ mm и $d = 3$ mm.

Results



Dependence of the electron beam intensity on the thickness of the Converter t_c and the diameter of the collimator hole d at the electron beam energy $E = 280 \text{ MeV}$.

In figure : 1 – $d = 3 \text{ mm}$; 2 – $d = 5 \text{ mm}$; 3 – $d = 10 \text{ mm}$.

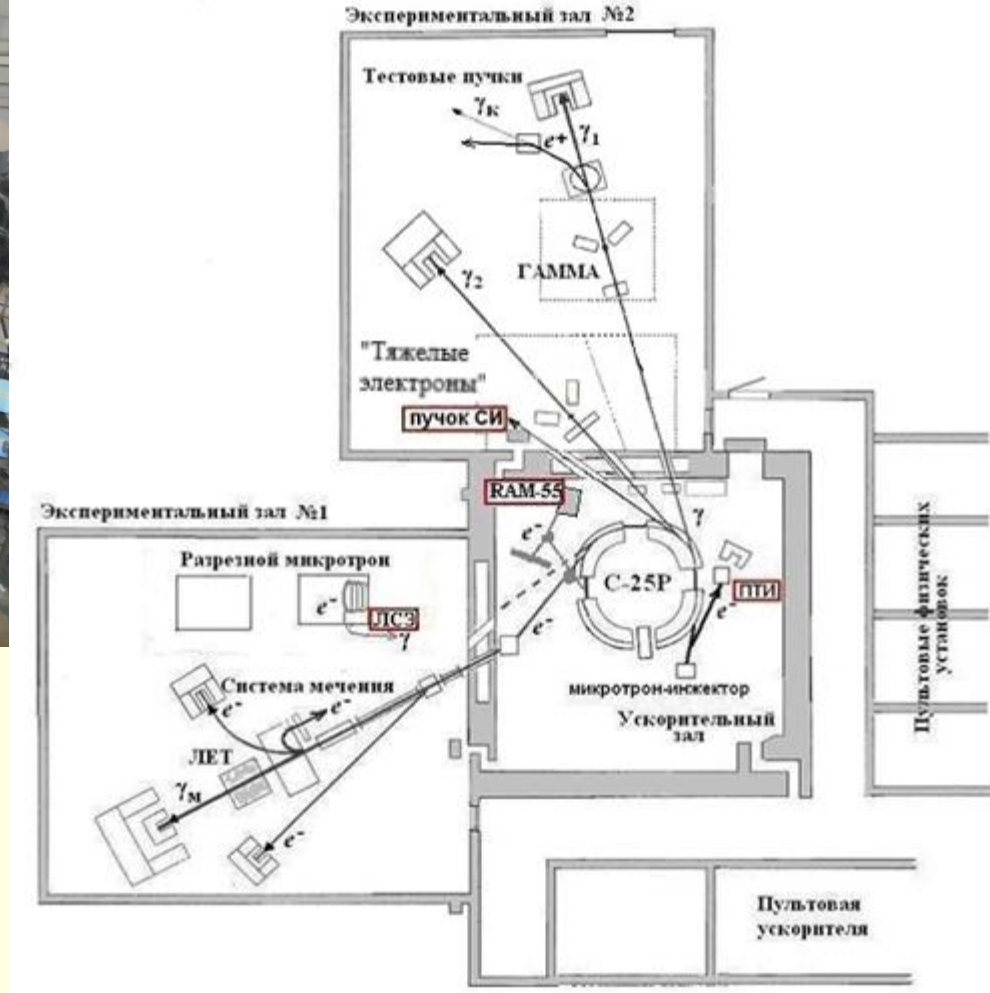


Dependence of the electron beam intensity on the energy at $t_c = 1 \text{ mm}$ и $d = 3 \text{ mm}$.

The slow channel output



Channel for slow output of the e-beam.



Scheme of beams of the S-25 PAKHRA ACCELERATOR of the LPI.

The slow channel output Plans

1. Trigger parameters $T=S1 \times S2$:

number of counters -

size of counters -

distance between them -

2. Diameter of the collimator hole in front of the 2nd lens inside the channel

3. Size of the electron beam at the entrance to the detector to be calibrated -

2

$10 \times 10 \times 5 \text{ mm}^3$

60 sm

4.5 mm

$\sim 10 \text{ mm}$

- intensity at the exit of the accelerator $\sim 10^{10} \text{ e-/s}$
- intensity in the work area of the 1 hall $\sim 10^3 - 10^5 \text{ e-/s}$
- energy range $E_e = 200 - 500 \text{ MeV}$,
- $\delta_e \sim 1\%$.

The calibration work that had been done

№ п/ п	Институт, установка, группа, ответственн ый	Цель работы	Место работ ы (№ зала)	Время работы	Примечание
1	ГАММА-400, Архангельск ий А	Калибровка аппаратуры и детекторов	2	1 - 8 декабря 2017 г.	
2	ИЯИ, Джилкибаев Р.	Исследование характеристик нейтронного детектора	2	26 декабря 2017 г.	
3	ГАММА-400, Архангельск ий А.	Калибровка аппаратуры и детекторов	2	18 - 23 апреля 2018 г.	
4	ГАММА-400, Архангельск ий А.	Калибровка аппаратуры и детекторов	2	21 - 25 мая 2018 г.	

The calibration work that had been done

5	ГАММА-400, Архангельский А.	Калибровка аппаратуры и детекторов	2	28 - 30 ноября 2018 г.	
6		Работы не велись ввиду отсутствия электроэнергии		март - сентябрь 2019 г.	Авария на подстанции ускорителя С-25Р
7	MPD NICA (Дубна), Тяпкин А.	Исследование характеристик одиночного модуля электромагнитного калориметра ECAL MPD	2	30, 31 октября 2019 г.	
8	Установка BMN (Дубна)	Исследование эффективности работы элемента черенковского годоскопа на основе кварцевого стекла	2	6 ноября 2019 г.	

The calibration work that had been done

9	ГАММА-400, Архангельский А.	Калибровка аппаратуры и детекторов	2	28 - 30 ноября 2018 г.	
6		Работы не велись ввиду отсутствия электроэнергии		март - сентябрь 2019 г.	Авария на подстанции ускорителя C-25P
7	MPD NICA (Дубна), Тяпкин А.	Исследование характеристик одиночного модуля электромагнитного калориметра ECAL MPD	2	30, 31 октября 2019 г.	
8	Установка B@N (Дубна)	Исследование эффективности работы элемента черенковского годоскопа на основе кварцевого стекла	2	6 ноября 2019 г.	

The calibration work that had been done

9	MPD NICA (Дубна), Тяпкин А	Исследование характеристик одионого модуля электромагнитного калориметра ECAL MPD	2	30, 31 октября 2019 г.	
10	Установка B@N (Дубна)	Исследование эффективности работы элемента черенковского госкопа на основе	2	23 декабря 2019 г.	
11	MPD NICA (Дубна), Тяпкин А.	Исследование характеристик одионого модуля электромагнитного калориметра ECAL MPD	2	29, 30 декабря 2019 г.	
12	MPD NICA (Дубна), Тяпкин А.	Исследование характеристик одионого модуля электромагнитного калориметра ECAL MPD	2	29, 30 января 2020 г	

Results of 2019-2020, articles

1. Алексеев В.И., Басков В.А., Дронов В.А., Львов А.И., Кречетов Ю.Ф., Малиновский Е.И., Павлюченко Л.Н., Полянский В.В., Сидорин С.С. **«КАЛИБРОВОЧНЫЙ КВАЗИМОНОХРОМАТИЧЕСКИЙ ПУЧОК ВТОРИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ УСКОРИТЕЛЯ С-25Р «ПАХРА»»** // ПТЭ. 2019. № 2. С.1-7; DOI: 10.1134/S0032816219020162
2. Алексеев В.И., Басков В.А., Дронов В.А., Львов А.И., Кречетов Ю.Ф., Малиновский Е.И., Полянский В.В. **«РЕГИСТРАЦИЯ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ ЧЕРЕНКОВСКИМ СПЕКТРОМЕТРОМ ПОЛНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ»** // arXiv.org > physics > arXiv: 1911. 12608; КСФ. 2019. №9. С. 31-37; DOI: 10.3103/S1068335619090057
3. Алексеев В.И., Басков В.А., Далькаров О.В., Кольцов А.В., Львов А.И., Мамонов И.А., Павлюченко П.Н., Полянский В.В. **«МОНИТОР ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА НА ОСНОВЕ ЧЕРЕНКОВСКОГО СЧЕТЧИКА»** // КСФ. 2019. №11. С. 37-43; DOI: 10.3103/S1068335619110071
4. Алексеев В.И., Басков В.А., Дронов В.А., Львов А.И., Кречетов Ю.Ф., Кольцов А.В., Полянский В.В., Сидорин С.С. **«ХАРАКТЕРИСТИКИ КАЛИБРОВОЧНОГО ПУЧКА ВТОРИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ УСКОРИТЕЛЯ С-25Р «ПАХРА»»** // arXiv: 1912. 08095; КСФ. 2020. №7. С. 18-23; ; DOI: 10.3103/S1068335620070027
5. Алексеев В.И., Басков В.А., Дронов В.А., Кольцов А.В., Львов А.И., Полянский В.В., Сидорин С.С. **«МОНИТОРИРОВАНИЕ ФОТОННОГО ПУЧКА»** // ПТЭ. 2020. № 6. С.11-16; DOI: 10.31857/S0032816220060014.
6. Алексеев В.И., Басков В.А., Дронов В.А., Кольцов А.В., Львов А.И., Полянский В.В. **«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА С ПОМОЩЬЮ ЛЕГКОГО СЦИНТИЛЛЯТОРА»** // ПТЭ. 2020. № 5. С.10-15; DOI: 10.31857/S0032816220050079.
7. В.И. Алексеев, В.А. Басков, В.А. Дронов, А.И. Львов, И.А. Мамонов, В.В. Полянский, С.С. Сидорин **«ТЕСТОВЫЕ ПУЧКИ СИНХРОТРОНА ФИАН С-25Р «ПАХРА»»** // ЯФИ («Ядерная физика и инжиниринг»), 2020, №10 (ещё в печати).
8. В.И. Алексеев, В.А. Басков, В.А. Дронов, А.И. Львов, А.В. Кольцов, Ю.Ф. Кречетов, В.В. Полянский, С.С. Сидорин **«КАЛИБРОВКА ЛИВНЕВОГО СВИНЦОВО-СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА НА КОСМИЧЕСКОМ ИЗЛУЧЕНИИ»** // arXiv: 2004.07695; КСФ. 2020. №9. С. 12-19; DOI: 10.3103/S106833562009002X
9. А.Г. Баранов, В.А. Басков, Ф.Ф. Губер, В.А. Дронов, А.П. Ивашкин, А.В. Известный, А.И. Львов, С.В. Морозов, В.В. Полянский, А.И. Решетин Г.Х. Салахутдинов **«АМПЛИТУДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОТОТИПОВ ПЕРЕДНИХ ГОДОСКОПОВ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ВМ@N»** // ПТЭ (в сентябре 2020 направлена в печать)
10. Сотрудники установки MPD, В.А. Басков, И.А. Мамонов **«Исследование характеристик и калибровка электромагнитного калориметра детектора NICA/MPD»** // ПТЭ (в сентябре 2020 направлена в печать)

Results of 2019-2020, conferences and seminars

1. V. Alexeev, V. Baskov, V. Dronov, A. L'vov, A. Kol'zov, V. Polyansky «**Beams of “Pahra” accelerator of the P.N. Lebedev Physical Institute for calibrations of SPD detectors**», “SPD at NICA — 2019” workshop, 4-8.06.2019, Dubna
2. И. А. Мамонов И.А. «**Тестовые пучки синхротрона ФИАН С-25Р «Пахра»**», Молодежная конференция по теоретической и экспериментальной физике, МКТЭФ-2019, 25-28 ноября 2019 г., ИТЭФ
3. В.И. Алексеев, В.А. Басков, В.А. Дронов, В.А. Кольцов, А.И. Львов, Ю.Ф. Кречетов, Е.И. Малиновский, В.В. Полянский, С.С. Сидорин «**КАЛИБРОВОЧНЫЕ ПУЧКИ УСКОРИТЕЛЯ С-25Р**» семинар ОЯИ ТОП ФИАН, 13.12.2019 г., Троицк
4. В.И. Алексеев, В.А. Басков, В.А. Дронов, В.А. Кольцов, А.И. Львов, Ю.Ф. Кречетов, Е.И. Малиновский, В.В. Полянский, С.С. Сидорин «**CALIBRATION BEAMS OF THE S-25R ACCELERATOR**» “SPD at NICA — 2019” Seminar, 23.12.2019, Dubna

Conclusion

1. LPI synchrotron (in fact) becomes a calibration center for equipment and detectors in the field of nuclear physics.
2. Calibration beams have been created and are functioning:
bremsstrahlung photons,
electrons (positrons).
3. The possibility of creating a beam of neutrons.
4. There is an opportunity to rebuild the beam tagging photons.

Beams of the LPI synchrotron "Pakhra" for calibration of NICA detectors

Thanks for your attention!