

УДК 539.1.08

ХАРАКТЕРИСТИКИ КАЛИБРОВОЧНОГО ПУЧКА ВТОРИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ УСКОРИТЕЛЯ С-25Р “ПАХРА”

В. И. Алексеев¹, В. А. Басков¹, В. А. Дронов¹, А. И. Львов¹,
Ю. Ф. Кречетов², А. В. Кольцов¹, В. В. Полянский¹, С. С. Сидорин¹

Представлены характеристики калибровочного квазимонохроматического пучка вторичных электронов ускорителя С-25Р “ПАХРА” Физического института им. П. Н. Лебедева РАН на основе магнита СП-57. При энергии электронного пучка 280 МэВ, диаметре коллиматора перед триггерными счетчиками 3 мм и толщине медного конвертора 1–3 мм относительное энергетическое разрешение и интенсивность пучка составили $\delta = 2.2 - 4.4\%$ и $\sim 16 - \sim 23 e^-/\text{сек}$, соответственно.

Ключевые слова: калибровка, конвертор, электронный пучок, энергетическое разрешение, интенсивность.

В ядерно-физических исследованиях важным этапом при создании экспериментальных установок являются исследования характеристик аппаратуры и детекторов (энергетическое и временное разрешения, эффективность работы и т. д.) [1–3]. Для выполнения калибровочных работ на электронном ускорителе С-25Р “Пахра” Физического института им. П. Н. Лебедева РАН с энергией ускоренных электронов в диапазоне 200–850 МэВ и интенсивностью пучка $\sim 2 \cdot 10^{12} e^-/\text{сек}$ на основе магнита СП-57 создан квазимонохроматический пучок вторичных электронов [4]. Было получено, что относительное энергетическое разрешение калибровочного пучка в диапазоне энергий электронов $E = 98 - 294$ МэВ составило $\delta = 10 - 4.5\%$, соответственно ($\delta = \sigma/E = \Delta E/E/2.35$, σ – стандартное отклонение средней энергии пучка, E – средняя энергия электронного пучка, ΔE – полная ширина энергетического спектра электронного пучка на половине его высоты, 2.35 – коэффициент пропорциональности, определяющий связь соотношения ΔE и σ ($\Delta E = 2 \cdot \sigma \cdot \sqrt{2} \cdot \ln 2$) $\approx 2.35 \cdot \sigma$ [5]).

¹ ФИАН, 119991 Россия, Москва, Ленинский просп., 53; e-mail: baskov@x4u.lebedev.ru.

² ОИЯИ, 141980 Россия, Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

В процессе эксплуатации калибровочного пучка выяснилось, что для калибровок ряда детекторов полученной точности недостаточно. Были проведены исследования влияния на энергетическое разрешение электронного пучка основных элементов, формирующих пучок – толщина медного конвертора t_c и диаметр входного коллиматора d перед триггерными счетчиками. В данной работе представлены результаты этих исследований.

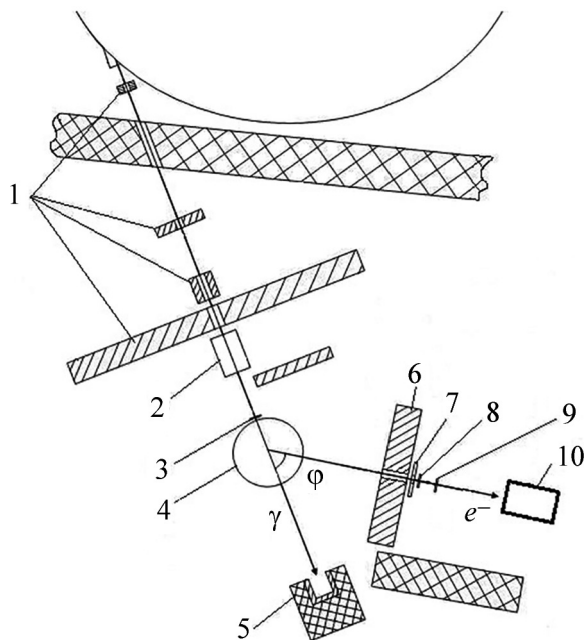


Рис. 1: Схема квазимонохроматического пучка вторичных электронов ускорителя “Пахра” (ФИАН): 1 – свинцовые коллиматоры; 2 – очищающий магнит СП-3; 3 – конвертор; 4 – магнит СП-57; 5 – поглотитель фотонного пучка (“могильник”); 6 – коллиматор; 7 – сцинтилляционный счетчик антисовпадений А; 8, 9 – триггерные сцинтилляционные счетчики S_1 и S_2 ; 10 – черенковский спектрометр полного поглощения (ЧСПП).

Схема калибровочного пучка представлена на рис. 1. Электроны, возникшие от взаимодействия фотонного пучка с конвертором (3), отклонялись в свинцовый коллиматор (6) с диаметром входного отверстия 10 мм и толщиной 7 см, расположенный под углом $\varphi = 36^\circ$ относительно первичной траектории фотонов на расстоянии 3 м от полюсов магнита.

Триггерный сигнал T формировался совпадением сигналов сцинтилляционных счетчиков из полистирола S_1 , S_2 и счетчика антисовпадений А с диаметром отверстия 10 мм

($T = (S_1 \cdot S_2) \cdot A$). Размеры счетчиков S_1 и S_2 составляли $10 \times 10 \times 5$ мм³, счетчика $A - 60 \times 90 \times 10$ мм³. Расстояние между S_1 и S_2 равнялось 32 см. В счетчиках использовались фотоумножители ФЭУ-85 с напряжением питания на делителях $U = 1000$ В.

Энергия вторичных электронов определялась с помощью черенковского спектрометра полного поглощения (ЧСПП) [4]. После завершения данной работы ЧСПП с траектории пучка был убран и, в дальнейшем, на его место для исследования характеристик помещались детекторы установок ГАММА-400 и проекта NICA (SPD и MPD) [1–3].

Характеристики квазимонохроматического электронного пучка определялись методом разности спектров с конвертором и без него. На первом этапе исследовались основные характеристики электронного пучка: величина энергии и энергетическое разрешение. На втором этапе исследовались эти же характеристики, когда конвертором являлся только воздух. В дальнейшем происходило вычитание из спектров, полученных при сложном конверторе (медь+воздух), спектров, полученных при конверторе, являющимся воздухом [4].

Исследования энергетического разрешения электронного пучка проводились поэтапно. На первом этапе исследовалось энергетическое разрешение пучка при входном отверстии коллиматора (6) 10 мм с последующим изменением толщины конвертора от 1 мм до 3 мм. На втором и третьем этапах диаметр входного коллиматора последовательно изменялся на 5 мм и 3 мм, также с дальнейшим изменением толщины конвертора от 1 мм до 3 мм.

На рис. 2 представлено относительное энергетическое разрешение δ вторичного электронного пучка в зависимости от толщины конвертора (3) и диаметра коллиматора (6) при энергии электронного пучка $E = 280$ МэВ. Видно, что δ улучшается с уменьшением толщины конвертора и диаметра отверстия коллиматора. Наилучшее относительное энергетическое разрешение пучка составляет $\delta = 2.2\%$ при толщине медного конвертора $t_c = 1$ мм и диаметре отверстия коллиматора $d = 3$ мм.

Зависимость относительного энергетического разрешения вторичного электронного пучка от энергии при $t_c = 1$ мм и $d = 3$ мм представлена на рис. 3. Наихудшее энергетическое разрешение электронного пучка достигает величины $\delta = 7\%$ при минимальной исследованной энергии $E = 45$ МэВ.

Зависимость интенсивности электронного пучка от толщины конвертора (3) и диаметра отверстия коллиматора (6) при энергии электронного пучка $E = 280$ МэВ представлена на рис. 4. Интенсивность увеличивается при увеличении толщины конвертора и диаметра отверстия коллиматора, хотя при этом энергетическое разрешение ухудша-

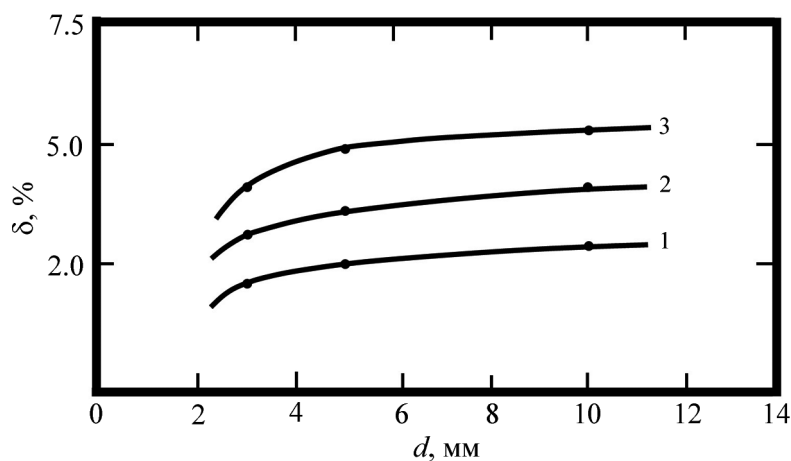


Рис. 2: Зависимость относительного энергетического разрешения вторичного электронного пучка от диаметра отверстия коллиматора d и толщины конвертора t_c при энергии электронного пучка $E = 280$ МэВ; 1 – $t_c = 1$ мм; 2 – $t_c = 2$ мм; 3 – $t_c = 3$ мм.

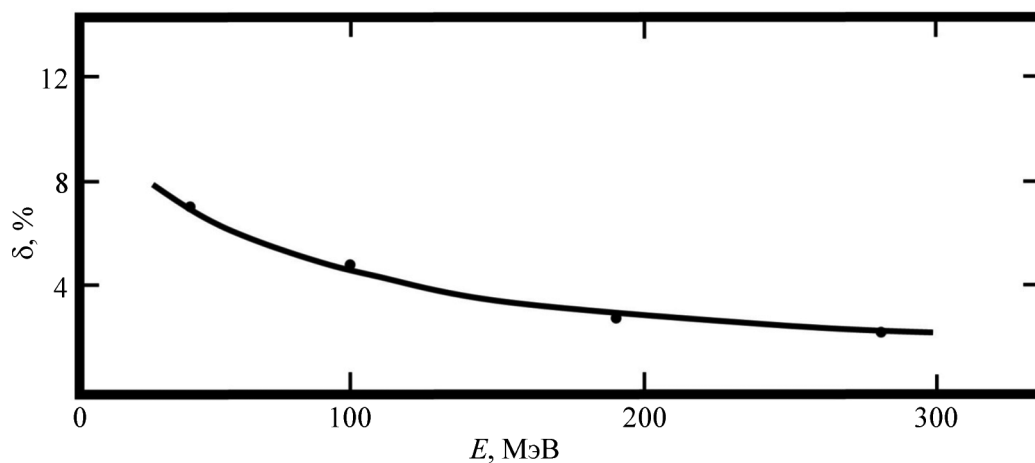


Рис. 3: Зависимость относительного энергетического разрешения вторичного электронного пучка от энергии при $t_c = 1$ мм и $d = 3$ мм.

ется (рис. 2). Величина максимальной интенсивности пучка составила $I \approx 53$ e^- /сек при $t_c = 3$ мм и $d = 10$ мм.

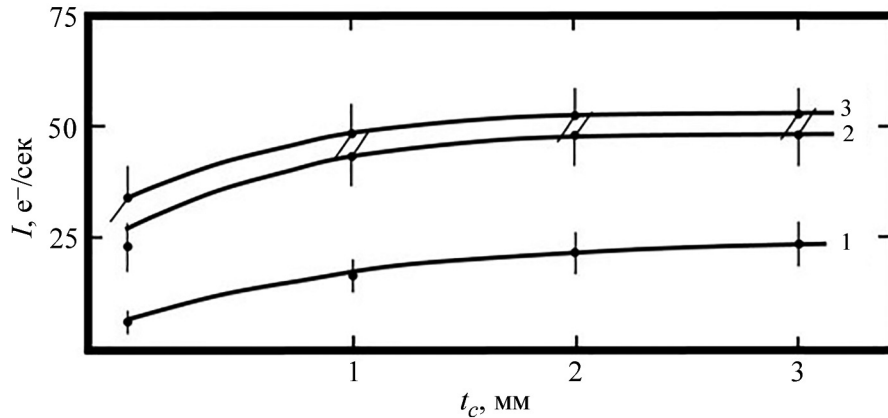


Рис. 4: Зависимость интенсивности электронного пучка от толщины конвертора t_c и диаметра отверстия коллиматора d при энергии электронного пучка $E = 280$ МэВ; 1 – $d = 3$ мм; 2 – $d = 5$ мм; 3 – $d = 10$ мм.

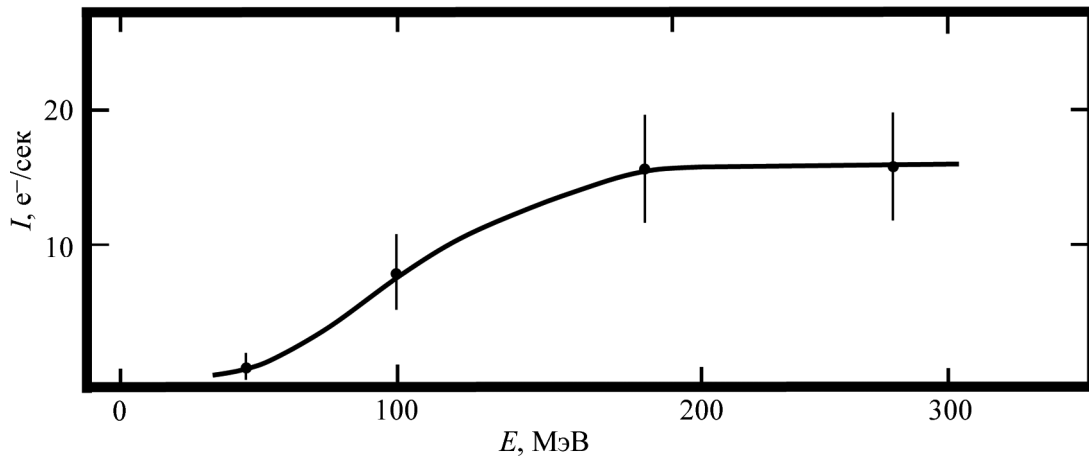


Рис. 5: Зависимость интенсивности электронного пучка от энергии при $t_c = 1$ мм и $d = 3$ мм.

Надо отметить, что увеличение интенсивности вторичного электронного пучка с увеличением толщины конвертора определяется тем, что в медном конверторе, начиная с энергии фотонов ~ 30 МэВ, развиваются электромагнитные ливни и число конверсионных электрон-позитронных пар, выходящих из конвертора, увеличивается с его толщиной. Число конверсионных пар, в свою очередь, определяется зависимостью числа заряженных частиц на соответствующей глубине развития электромагнитного ливня в конверторе или каскадной кривой [5].

Зависимость интенсивности электронного пучка от энергии при $t_c = 1$ мм и $d = 3$ мм показана на рис. 5. Величина интенсивности достигает максимума около 16 e^- /сек при энергиях больше 180 МэВ.

На рис. 4 и 5 конвертером при $t_c = 0$ является воздух в промежутке между очищающим магнитом СП-3 (2) и спектрометрическим магнитом СП-57 (4).

Таким образом, наилучшее относительное энергетическое разрешение калибровочного пучка вторичных электронов составляет $\delta = 2.2\%$ при толщине медного конвертера $t = 1$ мм, диаметре отверстия коллиматора $d = 3$ мм и энергии пучка $E = 280$ МэВ. Интенсивность электронного пучка при этом составляет ~ 16 e^- /сек.

Работа выполнена при поддержке грантов Российского фонда фундаментальных исследований (NICA – РФФИ) № 18-02-40061 и № 18-02-40079.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] <http://nica.jinr.ru>.
- [2] http://nica.jinr.ru/files/BM@N/BMN_CDR.pdf.
- [3] N. Topchiev, A. Galper, V. Bonvicini, et al., Journal of Physics: Conference Series **675**, 032009 (2016). DOI: 10.1088/1742-6596/675/3/032009; <http://gamma400.lebedev.ru>.
- [4] В. И. Алексеев, В. А. Басков, В. А. Дронов и др., ПТЭ, № 2, 1 (2019). DOI: 10.1134/S0020441219020143.
- [5] К. Групен, *Детекторы элементарных частиц* (Сибирский хронограф, Новосибирск, 1999).

Поступила в редакцию 19 декабря 2019 г.

После доработки 27 мая 2020 г.

Принята к публикации 28 мая 2020 г.