

УДК 539.1.074

**Возможность измерения профилей пучка частиц проволочным методом
с использованием ионизационных камер**Е.А. Бушмина^{1,2}, А.А. Булавская², А.А. Григорьева²

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н., С.Г. Стучебров

¹Объединенный институт ядерных исследований,

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

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: bushmina@jinr.ru**The wire method possibility measurement of particle beam profiles using ionization chambers**E.A. Bushmina^{1,2}, A.A. Bulavskaya², A.A. Grigorieva²

Scientific Supervisor: Assoc. Prof., Ph.D., S.G. Stuchebrov

¹Organization Joint Institute for Nuclear Research, Russia, Dubna, Joliot-Curie str., 6, 141980²Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050E-mail: bushmina@jinr.ru

Abstract. For high-quality operation of modern accelerator technology, a necessary condition is to ensure the specified characteristics of the extracted beam. The position of the particle beam in space and its transverse intensity distribution are determined using wire scanning method. To implement this method, when the detecting device moves linearly in a plane perpendicular to the beam propagation axis, the authors of the work propose to study ionization chamber as a detector. Ionization chambers have significant advantages, such as high radiation resistance, sensitivity to radiation with low currents, ease of use and the ability to measure data in real time. As a result, an ionization chamber was developed and tested. The profilometer prototype was tested on the Microtron MT-25 installation at an electron energy of 7 MeV. As a result of experimental studies on an electron beam, it was shown that the ionization chamber makes it possible to determine the position of the beam and measure its size with high resolution (no worse than 1 mm), which means that such a device is applicable as a profilometer detector.

Key words: ionization chamber, beam profile, wire scanning method, beam position diagnostic, electron beam.

Введение

Для качественной работы современной ускорительной техники необходимым условием является обеспечение заданных характеристик пучка, выводимого ускорителем: энергию пучка, ток пучка, частоту генерируемого излучения, длину импульса, и других [1]. Постоянство воспроизводимости параметров генерируемого пучка позволяет убедиться в стабильности работы ускорителя и его составляющих, обеспечивать достоверность получаемых результатов, а также сопоставлять полученные в разное время экспериментальные данные.

Помимо этого, немаловажно знать положение выведенного пучка при заданных характеристиках и его угловое распределение [2], поскольку это влияет на эффективность при проведении различных экспериментов. Определение поперечного распределения пучка излучения по интенсивности на различных расстояниях от выводного окна дает исследователям понимание о том, как распространяется пучок на воздухе или внутри вакуумной камеры. Соответственно, измерение положения пучка частиц и его поперечного распределения по интенсивности является необходимой процедурой во время пуско-наладочных работ ускорителя и при его использовании.

Известно, что положение пучка частиц и его поперечное распределение определяется при помощи профилометров на многих установках, так как это простой и действенный способ диагностики [1, 3]. В качестве детекторов профилометров используются различные устройства в зависимости от метода получения профиля: сцинтилляторы, металлические проволоки, зеркала и кристаллы [1, 3]. Для реализации метода проволочного сканирования, когда детектирующее устройство линейно перемещается в плоскости, перпендикулярной оси распространения пучка, используются металлические проволоки и сцинтилляторы [3, 4]. Авторами работы предлагается исследовать возможность применения ионизационных камер в качестве детекторов для измерения профиля электронного пучка методом проволочного сканирования. Использование ионизационных камер в качестве детекторов излучения является востребованным, так как такие детекторы обладают существенными преимуществами, такими как высокая радиационная стойкость, чувствительность к излучению с малыми токами, простота в использовании и возможность измерять данные в режиме реального времени. Помимо этого, с помощью ионизационной камеры одного типа можно измерять излучение различного вида (например, фотоны и электроны). В соответствии с вышесказанным, целью данной работы стало исследование возможности использования ионизационных камер в качестве детекторов для измерения профиля электронного пучка методом проволочного сканирования.

Экспериментальная часть

Эксперимент был проведен на установке «Микротрон МТ-25», расположенной в Объединенном институте ядерных исследований (г. Дубна) [5]. Микротрон позволяет получать энергии выводимого пучка электронов в диапазоне от 4 до 23 МэВ, диапазон изменения частоты импульсов от 50 до 400 Гц. В данном эксперименте энергия электронов составляла 7 МэВ, частота – 380 Гц.

Детектирующая система состоит из тонкой ионизационной камеры и устройства линейного перемещения. Ионизационная камера была разработана в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований (ЛЯР ОИЯИ). Диапазон чувствительности камеры варьируется от десятков пА до сотен нА, размер чувствительной (рабочей) области камеры равен 2.8 мм. Для оцифровки сигнала использовался токометр до 1 мкА, разработанный ЛЯР ОИЯИ. Для осуществления поступательного движения детектора в плоскости, перпендикулярной оси распространения пучка, был использован моторизованный линейный транслятор фирмы Standa, модель 8MT175-100 [6].

Схема эксперимента представлена на рисунке 1.

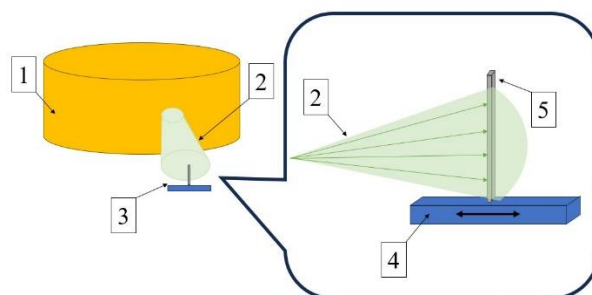


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – микротрон МТ-25, 2 – пучок электронов, 3 – прототип профилометра, 4 – линейный транслятор, 5 – детектор

Прототип профилометра располагался по центральной оси распространения пучка электронов на расстояниях 125 мм и 320 мм от выходного окна. Ток электронного пучка составлял около 0,5 мкА. Длина линейного смещения составляла от 25 до 90 мм в зависимости от расстояния между детектором и выходным окном ускорителя с шагом 1 мм.

Результаты

Были получены профили пучка электронов энергией 7 МэВ на различных расстояниях от выходного окна. На рисунке 2 представлены профили, полученные на расстояниях 125 мм и 320 мм от выходного окна.

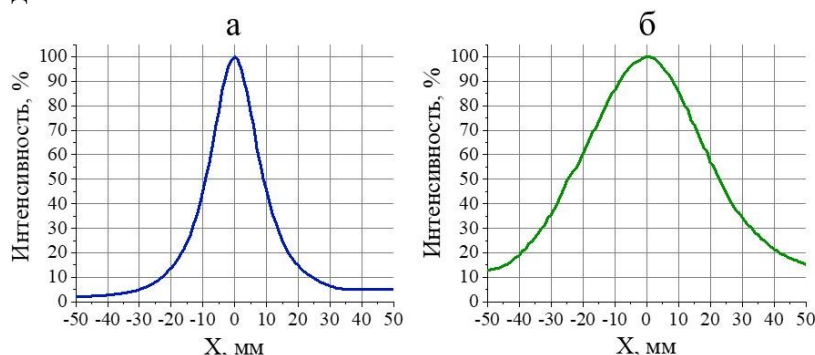


Рис. 2. Профили электронного пучка на различных расстояниях от выходного окна:
а – на расстоянии 125 мм, б – на расстоянии 320 мм

Профили пучка позволяют определить положение пучка в пространстве, а также его размер. Основной характеристикой для определения размера пучка является ширина пучка на полувысоте. Для полученных профилей была рассчитана данная характеристика, которая составила 18 мм и 48 мм на расстояниях 125 и 320 мм, соответственно.

По полученным данным видно, что пучок расходится значительно с увеличением расстояния от выходного окна.

Таким образом, было показано, что ионизационная камера позволяет измерить профиль пучка с разрешением не хуже 1 мм.

Заключение

В результате был разработан и апробирован профилометр на основе проволоочного метода с использованием ионизационной камеры. В результате проведенных экспериментальных исследований на пучке электронов было показано, что ионизационная камера позволяет с высоким разрешением определить положение пучка и измерить его размер, а значит такое устройство применимо в качестве детектора профилометра.

Список литературы

1. Koziol H. Beam diagnostics for accelerators // CERN – PS DIVISION. – 2001. – № CERN-PS-2001-012-DR. – 44 p.
2. Булавская А.А., Бушмина Е.А., Григорьева А.А. и др. Разработка методики определения оптимального количества проекций при реализации метода многоугольного сканирования пучка ионизирующего излучения // Приборы и техника эксперимента. – 2023. – № 4. – С. 101-107. – DOI 10.31857/S0032816223030187.
3. Raich U. Beam diagnostics // CERN, Geneva, Switzerland. – 2006. – 21 p.
4. Непомнящих В.А. Измерение плотности тока пучка электронов, генерируемого электронной пушкой с плазменным катодом // МНСК-2022: материалы 60-й Международной научной студенческой конференции, Новосибирск, 10–20 апреля 2022 года. – Новосибирск: Изд-во ННГУ, 2022. – С. 286.
5. MT-25 Microtron // FLEROV LABORATORY of NUCLEAR REACTIONS: сайт. – URL: <http://flerovlab.jinr.ru/mt-25-microtron/> (дата обращения: 29.02.2024).
6. 7T175-100, 7T175-150 - Translation Stages // Standa: сайт. – URL: https://www.standa.lt/products/catalog/translation_rotation?item=38 (дата обращения: 29.02.2024).