

УДК 539.1.074

ИЗМЕРЕНИЕ ПОТОКА ПРОТОНОВ НА ЦИКЛОТРОНЕ U-120M

Д.С. Флусова

Научный руководитель: к.т.н. А.О. Семенов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: dsf7@tpu.ru

PROTON FLUX MEASUREMENT ON CYCLOTRON U-120M

D.S. Flusova

Scientific Supervisor: Ph.D. A.O. Semenov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: dsf7@tpu.ru

Abstract. *The object of the study is the calibration coefficient defining the dependence between the proton flux and the corresponding current of the ionization chamber. During the experimental studies, the values of the ionization current were measured by ionization chamber TN30010 and put in correspondence with the flux of protons from U-120M cyclotron measured with the semiconductor pixel Timepix detector. The experimental results were compared with the Monte Carlo simulation performed in Geant4 toolkit, which has reproduced the experimental conditions. As a result of the investigation, the calibration coefficients connecting the registered protons flux and ionization current for the ionization chamber TN30010 were obtained. These coefficients are in correspondence with the results of Geant4 simulation. The implementation of these results means the direct use of the calibration coefficients in the studies of the radiation hardness of the semiconductor pixel detectors. The obtained results are of interest for the experimental nuclear physics, especially for the fine-tuning of the detectors system in the experiments on high-energy heavy-ions collisions. In future it is planned to perform the studies of the radiation hardness of semiconductor pixel detectors on U-120M cyclotron, which will be used in the modernized ALICE detector system in CERN.*

Введение. Модернизация внутренней трекинговой системы эксперимента ALICE требует проведения тестовых испытаний на радиоактивную стойкость различных электронных компонентов. Такая проверка необходима для подтверждения возможности уверенного функционирования детекторов при ожидаемых радиационных нагрузках. Подобные тесты часто проводятся на циклотроне U-120M Института ядерной физики Чешской академии наук. Циклотрон U-120M соединен в систему, позволяющую осуществлять непрерывный мониторинг мгновенного пока протонов и общую накопленную дозу. Величина поглощенной дозы измеряется с помощью ионизационной камеры TN30010 [1–3]. Timepix детектор позволяет регистрировать пространственное распределение пучка, его амплитуду, а также определять точки взаимодействия протонов с сенсором детектора. Подобный детектор представляет из себя гибридный полупроводниковый детектор, чувствительный к радиационным воздействиям. Timepix не может быть напрямую использован в тестах на радиационную стойкость ввиду деградации чипа под воздействием радиации, но его можно использовать для

калибровки детекторов, более устойчивых к воздействию высокоинтенсивных потоков заряженных частиц. В подобных экспериментах лучше использовать ионизационные камеры. Однако, возникает проблема соотношения плотности потока протонов и зарегистрированного тока в ионизационной камере. Таким образом, при калибровочных измерениях необходимо сопоставить плотность потока протонов, регистрируемую Timerix детектором с током ионизационной камеры. Подобная зависимость была получена в результате обработки экспериментальных данных в математическом пакете CERN ROOT. Полученная калибровочная кривая была сопоставлена с результатами моделирования в среде Geant4. Калибровочная кривая будет использоваться в будущих тестах на радиационную стойкость электронных компонентов.

Целью этой работы является калибровка ионизационной камеры по взводящему потоку протонов.

Экспериментальная часть. Экспериментальный комплекс включает: ускоритель U120M; стойку с приборами (Timerix детектор и ионизационная камера). В течение всего эксперимента величина плотности потока с ускорителя увеличивалась, затем ток ионизационной камеры сопоставлялся с плотностью потока протонов, измеренного Timerix детектором. Внешний вид стойки с детекторами приведен на Рис. 1.

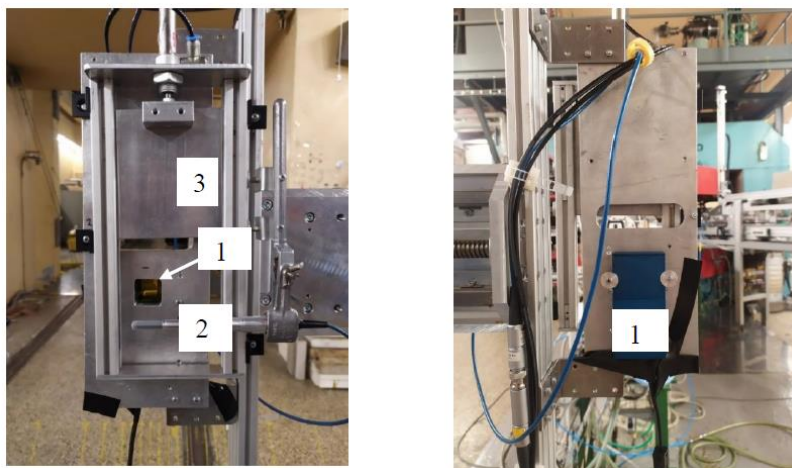


Рис. 1. Внешний вид стойки спереди и позади: 1) Timerix детектор; 2) ионизационная камера TN30010; 3) Подвижная пластина, которая может закрывать детектор Timerix

Экспериментальные данные были математически обработаны в программном пакете CERN ROOT. Затем была осуществлена проверка выявленной зависимости с помощью модели в среде Geant4.

Результаты. Выявлена зависимость тока ионизационной камеры от величины плотности потока протонов, регистрируемого Timerix детектором. В результате получена функция зависимости, см. Рис. 2, позволяющая вычислять плотность потока протонов в зависимости от величины тока, что будет использоваться в тестах на радиационную стойкость. Калибровочный коэффициент составил $k = 15241 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{пА}^{-1}$. В программном пакете Geant4 построена модель ионизационной камеры, подвергающейся облучению протонами энергии 35.1 МэВ. Результаты модели позволили оценить ионизационные потери в воздухе от ускорительного тракта до регистрирующей стойки. Подобные результаты полезны для понимания того, в какой точке необходимо разместить стойку для достижения необходимой энергии. Протоны, проходя расстояние 130 см, теряют порядка 2 МэВ. Затем по величине энерговыделения был рассчитан поглощенный в ионизационной камере заряд. По величине поглощенного заряда был посчитан калибровочный коэффициент $k = 11249 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{пА}^{-1}$.

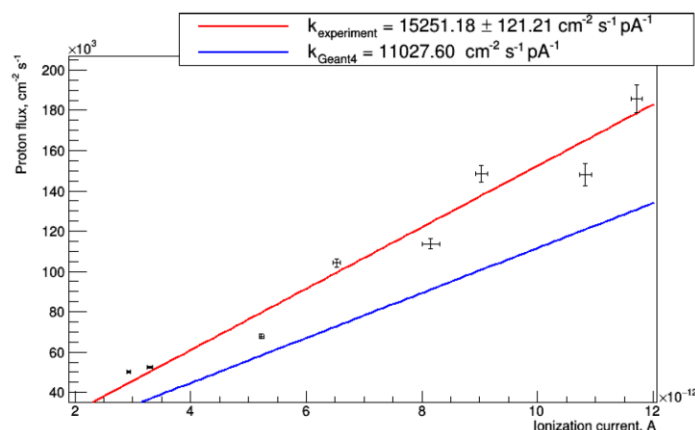


Рис. 2. Калибровочные кривые: (красная линия) экспериментальная зависимость; (синяя линия) результаты моделирования

Заключение. В результате проведенных работ были получены калибровочные коэффициенты: эксперимент $k = 15241 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{пА}^{-1}$; моделирование в Geant4 $k = 11249 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{пА}^{-1}$. Эта модель предполагала, что ток ионизационной камеры пропорционален количеству электронно-ионных пар, которые образуются в чувствительном объеме камеры одним протоном. Было обнаружено, что простая модель предоставляет калибровочные коэффициенты, имеющие правильный порядок величины. Тем не менее, полученные значения примерно на 35% меньше по сравнению с экспериментальными результатами. Несоответствие может быть объяснено теоретической идеализацией модели в среде Geant4. Модель не учитывает неопределенности, вносимые устройствами, и не описывает процесс рекомбинации разделения зарядов электронно-ионных пар в ионизационной камере. Таким образом, каждая образовавшаяся электронно-ионная пара создаст в среднем менее двух элементарных зарядов. Это моделирование также предсказывает, что протоны, проходящие через алюминиевую пластину толщиной 0,5 мм, теряют в среднем около 2 МэВ. Протоны с более низкими энергиями имеют более высокие поперечные сечения взаимодействия с материалом детектора, поэтому они имеют тенденцию терять больше энергии в ионизационной камере и образовывать больше пар. В результате исследовательской работы был создан программный код для обработки данных с детектора Timerix и ионизационной камеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Abelev B., Real J.S., Margotti A. [et al.] Technical Design Report for the Upgrade of the ALICE Inner Tracking System // J. Phys. G. – 2013. – Vol. 41. – P. 087002.
2. Expression of Interest for an ALICE ITS Upgrade in LS3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cds.cern.ch/record/2644611> (date accessed: 28.05.2022).
3. Křížek F., Ferencei J., Matlocha T. [et al.] Irradiation setup at the U-120M cyclotron facility // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. – 2018. – Vol. 894. – P. 87-95.