

М. Пацюк от имени коллаборации BM@N

Первый совместный эксперимент на установке BM@N

Программа последнего сеанса в эксперименте BM@N («Барионная материя на нуклотроне»), который состоялся в феврале–марте 2018 г., впервые включала измерения двухнуклонных короткодействующих корреляций (КДК) в ядре. Программа исследования КДК была предложена международной коллаборацией, включающей группы ученых из США, Израиля, Германии и Франции, и одобрена летом 2017 г. Объектом исследования являются компактные нуклонные пары, которые характеризуются малым импульсом пары и высоким относительным импульсом каждого нуклона (относительно импульса Ферми). В любой момент времени примерно 20% нуклонов в ядре образуют КДК-пары, которые чаще всего состоят из протона и нейтрона (90%), реже — из двух протонов (5%) или двух нейтронов (5%) [1–4]. Программа по исследованию свойств КДК на установке BM@N дополняет серию текущих и запланированных экспе-

риментов в различных лабораториях мира, включая JLab (США) и GSI (Германия).

Для программы по исследованию КДК на установке BM@N использовался углеродный (^{12}C) пучок с импульсом 4 ГэВ/с на нуклон и жидководородная мишень. По сравнению с другими экспериментами по этой теме условия обратной кинематики на BM@N являются уникальными. Во-первых, есть возможность проверить полученные феноменологические результаты с другими реакциями/кинематикой, а во-вторых, впервые можно наблюдать остаточное ядро после выбивания из него коррелированной пары нуклонов. Использование ядерного пучка, а также жесткой реакции разбивания КДК-пары в обратной кинематике может стать настоящим прорывом в исследованиях КДК и положить начало разработке новой экспериментальной программы с применением стабильных и нестабильных ядерных пучков.

М. Patsyuk on behalf of the BM@N Collaboration

The First Joint Experiment at the BM@N Facility

The latest run at the BM@N (Baryonic Matter at Nuclotron) experiment, which took place in February–March 2018, included for the first time a Short Range Correlation (SRC) measurement. The SRC program was initiated by an international collaboration including groups from the USA, Israel, Germany, and France, and approved in summer 2017. The study is focused on investigating properties of pairs of close nucleons in nuclei, which are characterized by low momentum of a pair and high relative momentum between the nucleons in the pair (compared to the Fermi momentum). At any time about 20% of the nucleons in nucleus form SRC pairs [1–4], which are predominantly composed of a proton and a neutron (90%) rather than pp (5%) or nn (5%). The study of SRC at BM@N is one of a number of experiments conducted currently at different laboratories around the world, including JLab (USA) and GSI (Germany).

SRC at BM@N used a 4-GeV/c/nucleon ^{12}C beam and a liquid hydrogen target. This is a unique kinematics compared to other SRC experiments. First, it allows

us to verify the previous phenomenological findings with a different reaction/kinematics, and second, it allows the first observation of the remaining nucleus after the hard breakup of the SRC pair. The use of nuclear beam and a hard-knockout reaction in inverse kinematics can be a breakthrough in SRC research and can open the way to the development of a new experimental program using stable and unstable nuclear beams.

The typical kinematics for scattering an SRC pair in the ^{12}C nucleus off a proton in a liquid hydrogen target is shown in Fig. 1. A proton (with momentum P_{miss}) from the SRC pair is scattered off a standing proton in the target. After the scattering, the two leading protons have a large transverse momentum. The correlated nucleon emerges forward with momentum of several GeV/c and polar angles up to 10° . The nucleus remaining after the interaction moves along the beam direction. The experiment is aimed at detecting the two leading protons, the remaining nucleus, and the recoil neutron or proton from the np or pp SRC pair, respectively.

На рис. 1 показана типичная кинематика рассеяния КДК-пары, находящейся в ядре углерода ^{12}C , на протоне жидководородной мишени. Протон (с импульсом P_{miss}) из КДК-пары рассеивается на покоящемся протоне мишени. После взаимодействия рассеянный и выбитый протоны обладают большими поперечными импульсами. Коррелированный нуклон отдачи вылетает вперед с импульсом порядка нескольких ГэВ/с под углом до 10° относительно направления пучка. Целью данного эксперимента является регистрация обоих протонов, остаточного ядра, а также протона или ней-

Рис. 1. Кинематика рассеяния КДК-пары на протоне мишени в условиях обратной кинематики. Пучок идет справа налево. Протон (с импульсом P_{miss}) из КДК-пары выбивает протон (с импульсом P_2) из мишени. Рассеянный (с импульсом P_1) и выбитый протоны разлетаются под большим углом друг относительно друга. Коррелированный нуклон (с P_{recoil}) летит вперед. Остаточное ядро (с P_{A-2}) продолжает движение по направлению пучка

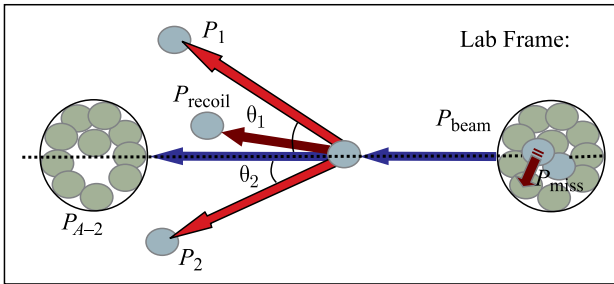


Fig. 1. Typical kinematics of hard scattering on a SRC pair in inverse kinematics. The beam is coming from the right. A SRC proton (with momentum P_{miss}) in the beam nucleus knocks a proton (with momentum P_2) out of the target. The scattered proton (with momentum P_1) has a large angle with respect to the knocked out one. The SRC partner (with P_{recoil}) is moving forward. The beam remnant nucleus (with P_{A-2}) continues with the beam direction

The SRC experiment is aimed at measuring simultaneously the following triple and fourfold coincidence reactions: $^{12}\text{C} + p \rightarrow ^{11}\text{B} + pp$; $^{12}\text{C} + p \rightarrow ^{10}\text{B} + pp + X$ (np -SRC); $^{12}\text{C} + p \rightarrow ^{10}\text{Be} + pp + X$ (pp -SRC); $^{12}\text{C} + p \rightarrow ^{10}\text{B} + pp + n$ (np -SRC); $^{12}\text{C} + p \rightarrow ^{10}\text{Be} + pp + p$ (pp -SRC).

The schematic presentation of the experimental setup for the SRC program is shown in Fig. 2. The general BM@N setup was modified to measure the two leading protons, and several detectors were added. The beam direction and beam position were monitored by two multi-wire proportional chambers (MWPCs), which were placed right after the last quadrupole lens. The steering VKM magnet was removed from the beam line to accommodate the MWPCs and the target ensemble. The 30 cm long liquid hydrogen target and the trigger detectors were placed

трона отдачи из протон-протонной или протон-нейтронной КДК-пары соответственно.

Целью эксперимента по исследованию КДК в углероде является одновременное измерение следующих тройных и четверных совпадений: $^{12}\text{C} + p \rightarrow ^{11}\text{B} + pp$; $^{12}\text{C} + p \rightarrow ^{10}\text{B} + pp + X$ (np -SRC); $^{12}\text{C} + p \rightarrow ^{10}\text{Be} + pp + X$ (pp -SRC); $^{12}\text{C} + p \rightarrow ^{10}\text{B} + pp + n$ (np -SRC); $^{12}\text{C} + p \rightarrow ^{10}\text{Be} + pp + p$ (pp -SRC).

Схема экспериментальной установки BM@N для программы КДК показана на рис. 2. Жидководородная мишень была приведена в рабочее состояние. Стандартное расположение детекторов в установке BM@N было немного изменено для того, чтобы детектировать два протона, вылетающих под большими углами к пучку. Также было добавлено несколько детекторов. Направление и положение пучка отслеживалось с помощью двух многопроволочных пропорциональных камер (MWPCs), которые располагались сразу после последней квадрупольной линзы. Поворотный магнит ВКМ был убран с траектории пучка для того, чтобы разместить пропорциональные камеры. Жидководородная мишень длиной 30 см и триггерные детекторы были размещены в зазоре поворотного магнита СП-57, выключенного на время КДК-программы. Сцинтилляционные счетчики BC1, BC2, вето-счетчик

inside the gap of the steering magnet SP-57, which was turned off during the SRC run. The scintillator-based beam counters BC1, BC2, veto counter (VC), BC3, and BC4 were manufactured and tested at JINR. The BC2, read out by a MCP-PMT, was located right before the target and served as a start detector. The BC3 was used offline to separate between the residual systems with different charges. Two pairs of scintillator counters (X1, Y1 and X2, Y2) were complementing the BC1, BC2 and VC in the SRC trigger. The trigger electronics was designed and manufactured. The X- and Y-counters were manufactured in Protvino by O. P. Gavrishchuk and then tested at JINR.

The arms of the spectrometer include scintillator trigger detectors (X1–Y1 and X2–Y2), GEM stations, and MRPC walls (ToF-400) located on both sides of the analyzing magnet SP-41. The excellent expertise of the group of ToF-400 and their team work allowed BM@N to have their MRPC detectors in different setups for two parts of the run. Detection of both time-of-flight and spatial position of the protons will allow to reconstruct their polar and azimuthal angles.

The three silicon planes and two MWPCs downstream the target tracked the recoil nucleon and the residu-

(VC), BC3, BC4 были изготовлены и протестированы в ОИЯИ. Счетчик BC2, считываемый с помощью МСР-РМТ, располагался непосредственно перед мишенью и служил стартовым детектором. Счетчик BC3 использовался офлайн для идентификации остаточных ядер по заряду. Две пары сцинтилляционных счетчиков (X1, Y1 и X2, Y2) дополняли BC1, BC2 и VC в КДК-триггере. Была разработана и изготовлена триггерная электроника. Счетчики X и Y были изготовлены в Протвино, а затем протестированы в ОИЯИ.

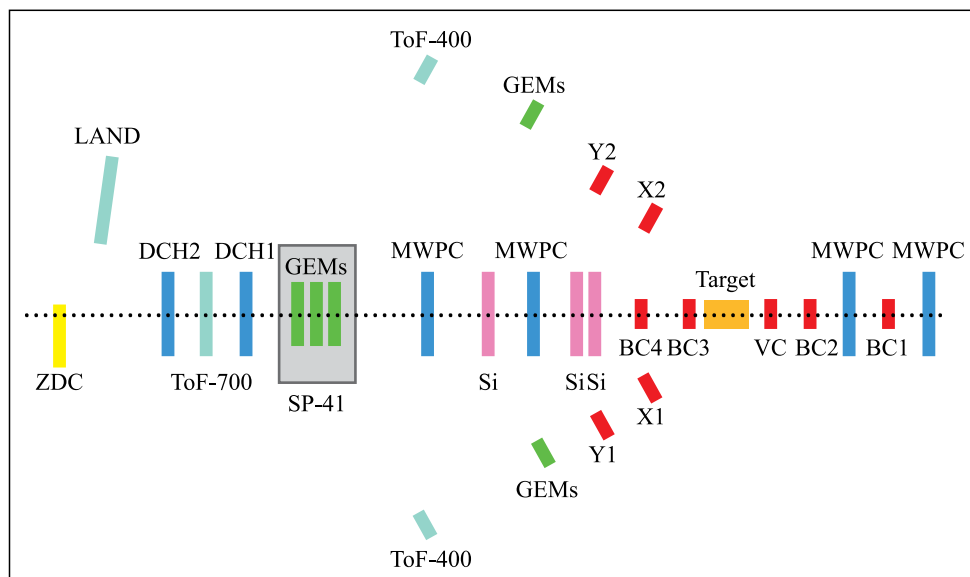
Плечи спектрометра включают сцинтилляционные триггерные детекторы (X1–Y1 и X2–Y2), станции GEM и секции резистивных плоских камер MRPC (ToF-400), расположенные по обеим сторонам от анализирующего магнита СП-41. Благодаря профессионализму и слаженной работе команды ToF-400 резистивные камеры использовались в сеансе в двух разных конфигурациях. Определение времени пролета, а также пространственной координаты протонов позволит

реконструировать их направления. Три кремниевых детектора и две пропорциональные камеры, расположенные по пучку после мишени, регистрируют нуклон отдачи и остаточное ядро. Траектории продуктов после СП-41 измерялись станциями DCH. Одной из важных задач эксперимента по исследованию КДК является идентификация остаточных ядер ^{10}B , ^{11}B и ^{10}Be . Для этого будет использоваться угол поворота и время пролета ToF-700. Вылетающие вперед нейтроны отдачи измеряются нейтронным детектором LAND (Large Area Neutron Detector), который был привезен из GSI (Германия) и включен в общую систему сбора данных BM@N.

Эксперимент по исследованию КДК набрал восемь миллионов триггеров. Эти данные будут обрабатываться аспирантом из MIT и другими членами коллаборации. Группа КДК выражает искреннюю благодарность всем коллегам из ОИЯИ за сотрудничество и помощь в реализации эксперимента.

Рис. 2. Схема экспериментальной установки BM@N для программы КДК (не в масштабе). Пучок идет справа налево

Fig. 2. Schematic presentation of the experimental setup for SRC at BM@N experiment (not to scale). The beam is going from right to left



al nucleus. The trajectory after the SP-41 was measured by DCH stations. SRC is aimed at distinguishing between ^{10}B , ^{11}B , and ^{10}Be by measuring the turning angle and the time-of-flight using ToF-700. The forward-going recoil neutrons were measured by the LAND (Large Area Neutron Detector), which was brought from GSI (Germany). The LAND was included into the general BM@N data acquisition system.

The SRC experiment collected about eight million event triggers. These will be carefully analyzed by a post-graduate student from MIT and other collaboration members. The SRC group would like to express deep gratitude to all local JINR members for help and assistance during the experiment.

Список литературы / References

1. Frankfurt L., Strikman M., Day D., Sargsyan M. // Phys. Rev. C. 1993. V.48. C.2451.
2. Egiyan K. et al. (CLAS Collab.) // Phys. Rev. C. 2003. V.68. P.014313.
3. Egiyan K. et al. (CLAS Collab.) // Phys. Rev. Lett. 2006. V.96. P.082501.
4. Fomin N. et al. // Phys. Rev. Lett. 2012. V. 108. P.092502.