

Ю. А. Усов, Г. М. Гуревич, В. Л. Кашеваров, Ю. Н. Узиков

Участие сотрудников ЛЯП ОИЯИ в поляризационных исследованиях GDH и SPASCHARM. Перспективы сотрудничества

Задачей поляризационных исследований является изучение зависимости взаимодействий от спинов участвующих частиц. Понятие спин было введено в науку почти 100 лет назад для описания атомных спектров, но его природа до сих пор остается неразгаданной тайной. Появление поляризационных экспериментальных данных стимулировало теоретическое осмысление спиновых эффектов и послужило «испытательным полигоном» для теоретических моделей. В этом смысле характерны высказывания известных теоретиков, например, англичанина Э. Лидера: «Спин в экспериментах убил больше теорий, чем любой другой физический параметр» [1], или американца Дж. Бьёркена: «Поляризационные данные часто были кладбищем модных теорий. Если бы теоретики были в силах, в целях самозащиты им стоило бы вообще запретить такие

измерения» [2]. Сегодня нет теории, претендующей на полное описание всех наблюдаемых поляризационных эффектов в адронном секторе. Новые экспериментальные спиновые результаты в большом числе разнообразных реакций на поляризованных пучках и мишенях крайне важны для развития теоретических подходов и возможного создания теории (модели) для описания всех спиновых эффектов в сильных взаимодействиях.

Поляризационные наблюдаемые являются важнейшими характеристиками взаимодействия элементарных частиц и ядерных реакций. Формально измерение зависящих от спина параметров позволяет наложить дополнительные ограничения на предполагаемый механизм реакции, структуру изучаемого микрообъекта и сам характер фундаментального

Yu. A. Usov, G. M. Gurevich, V. L. Kashevarov, Yu. N. Uzikov

Participation of DLNP in Polarization Studies GDH and SPASCHARM. Perspectives for the Collaboration

The object of the polarization studies is dependence of nuclear interactions on spins of interacting particles. The concept of spin was introduced almost 100 years ago for the description of atomic spectra, but its nature still remains an unresolved mystery. Experimental polarization data stimulated theoretical comprehension of spin phenomena and served the testing ground for theoretical models. However, the subject turned out to be so difficult that once the leading theorist in the field, E. Leader, pronounced in desperation: “Experiments with spin have killed more theories than any other physical parameter” [1]. Another famous statement of this kind was from J. Bjorken: “Polarization data has often been the graveyard of fashionable theories. If theorists had their way they might well ban such measurements altogether out of self-protection” [2]. Today there is no theory which provides a complete and consistent description of all observed polarization effects in the hadron sector. Therefore, the systematic experimental study of polariza-

tion effects in a wide variety of reactions using polarized beams and polarized targets is of great importance for development of a theory for the consistent description of all observed spin phenomena in strong interactions.

Polarization observables are important characteristics of elementary particle interactions and nuclear reactions. Formally, measurement of spin-dependent parameters imposes additional limitations on the presumed reaction mechanism, structure of the investigated micro-object, and character of the fundamental interaction. It should be mentioned that modern experiments aimed at the search of CP- and T-invariance violation effects beyond the Standard Model, as well as CPT-symmetry violation, are based on the polarization measurements.

Due to the complexity of polarization experiments, this area began to extensively develop quite recently, following the progress of experimental techniques. Nowadays, almost all modern accelerators of protons, deu-

взаимодействия. Следует отметить, что современные эксперименты по поиску эффектов нарушения СР-инвариантности и Т-инвариантности вне Стандартной модели, а также СРТ-симметрии основываются на поляризационных измерениях.

Ввиду трудности поляризационных экспериментов это направление стало активно развиваться сравнительно недавно по мере совершенствования экспериментальной методики. В настоящее время почти все современные ускорители протонов, дейтронов и электронов имеют поляризованные пучки и, соответственно, программы поляризационных измерений. Активно разрабатываются мишени поляризованных протонов, дейтронов, ^3He и более тяжелых ядер. Совершенствуются используемые на накопительных кольцах газовые поляризованные мишени высокой плотности (накопительные ячейки). Развивается техника трековых приборов, что позволяет строить эффективные и быстрые поляриметры. Вся эта индустрия делает сегодня доступными всё более сложные поляризационные измерения.

Огромный объем экспериментальных данных по сечениям ядерных реакций, накопленный за десятилетия исследований, не является, тем не менее, исчерпывающим без учета зависимости от спинов взаимодей-

ствующих частиц. Только с помощью поляризационных экспериментов можно выделить все независимые амплитуды, характеризующие конкретную реакцию. Другими словами, только поляризационные измерения позволяют получить полную экспериментальную информацию о любом исследуемом физическом процессе.

Современный поляризационный эксперимент предполагает наличие поляризованного пучка, поляризованных нуклонов мишени и поляриметра продуктов реакции. В настоящее время такая комбинация имеется в распоряжении только коллаборации A2, выполняющей эксперименты по программе GDH на базе ускорителя MAMI в Институте ядерной физики в Майнце (Германия). Это делает возможной реализацию программы «полного опыта» для бинарных реакций. Идея «полного опыта» была впервые сформулирована в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ Л. Д. Пузиковым, Р. М. Рындиным и Я. А. Смородинским [3]. В случае фоторождения псевдоскалярных мезонов на нуклоне для полного описания каждого канала реакции (π^0 , π^+ , π^- , η , η' и т. д.) необходимо измерение дифференциального сечения и по меньшей мере семи (из 15 возможных) правильно подобранных независимых поляризационных наблюдаемых.

terons and electrons produce polarized beams and are used in polarization experiments. Targets of polarized protons, deuterons, ^3He , and heavier nuclei are being actively developed. High-density gas polarized targets (storage cells) used at the storage rings are being improved. Advanced track devices are developed which allow building effective and fast polarimeters. This technical progress makes more and more intricate polarization measurements accessible now.

The vast amount of experimental data on nuclear reaction cross sections accumulated during the decades of measurements is not exhaustive without consideration of the dependence on spins of interacting particles. Only polarization experiments permit selecting all independent amplitudes that describe a specific reaction. In other words, only polarization measurements allow obtaining complete information about any physical process under study.

The modern polarization experiment assumes availability of a polarized beam, polarized target nucleons, and a polarimeter of reaction products. At the moment, this combination is only available to the A2 collaboration that performs experiments under the GDH program at the MAMI accelerator of the Nuclear Physics Institute

in Mainz (Germany). This allows implementation of the “complete experiment” program for binary reactions. The concept of the “complete experiment” was originally formulated at DLNP by L. D. Puzikov, R. M. Ryndin, and Ya. A. Smorodinsky [3]. In the case of pseudoscalar meson photoproduction on the nucleon it is necessary to measure the differential cross section and at least 7 (out of 15 possible) properly chosen independent polarization observables for every reaction channel (π^0 , π^+ , π^- , η , η' , etc.). These measurements should be performed in broad energy and angle ranges. This extensive and ambitious program is being implemented by the A2 collaboration with the use of the Dubna–Mainz proton–deuteron polarized target (Figs. 1 and 2). The aim of the program is to study the internal structure of the nucleon, especially its spin structure. Moreover, the program includes measurements of nucleon spin polarizabilities in doubly polarized Compton scattering reactions. These experiments allow studying the response of the nucleon spin to incoming polarized photon. In addition, within the framework of a separate agreement, the DLNP team produces the cryostat with $^3\text{He}/^4\text{He}$ refrigerator for the new polarized target to be

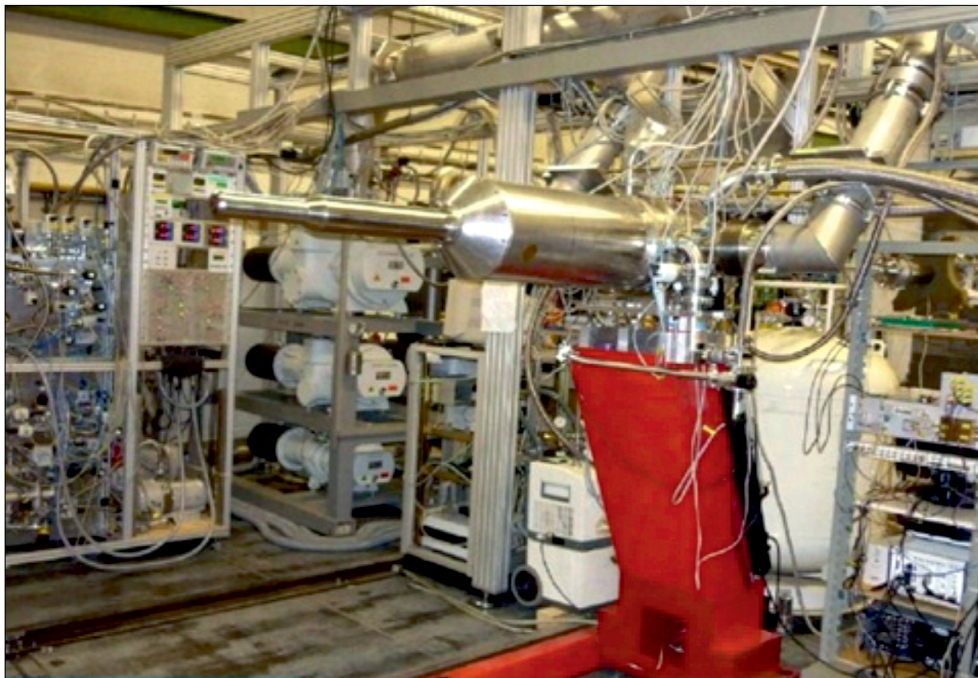


Рис. 1. Поляризованная мишень на пучке ускорителя MAMI-C в Майнце

Fig. 1. Polarized target exposed to the beam of the MAMI-C accelerator in Mainz

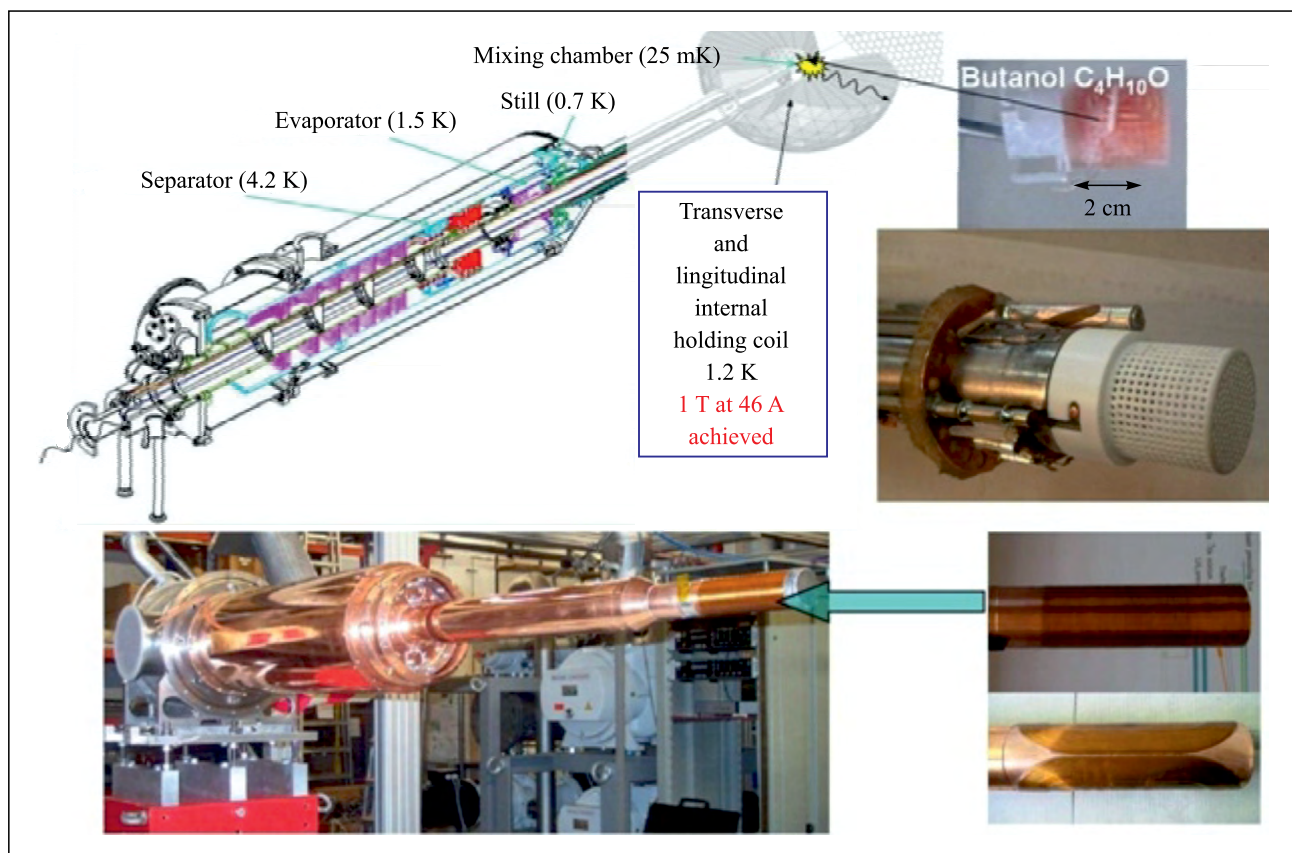


Рис. 2. Детали поляризованной мишени, созданной в ОИЯИ, Майнце и ИЯИ (Москва)

Fig. 2. Details of the polarized target created at JINR, Mainz, and INR (Moscow)

При этом измерения должны быть выполнены в широком диапазоне энергий и углов. Такая масштабная и амбициозная программа реализуется коллаборацией A2 с использованием протонно-дейтронной поляризованной мишени Дубна–Майнц (рис. 1, 2). Целью программы является исследование внутренней структуры нуклонов и, в особенности, их спиновой структуры. Кроме того, проводятся измерения спиновых поляризуемостей нуклонов в реакциях дважды поляризованного комптоновского рассеяния. Такие измерения позволяют изучать, как спин нуклона реагирует на налетающий поляризованный фотон. В настоящее время сотрудники ЛЯП ОИЯИ в рамках отдельного договора также создают криостат с рефрижератором растворения ${}^3\text{He}$ в ${}^4\text{He}$ новой поляризованной мишени для совместных экспериментов на ускорителе ELSA Боннского университета (Германия).

Обновленный проект SPASCHARM [4, 5] — «Спиновые асимметрии в образовании чармония» — является частью создаваемого совместно Российской Федерацией и Германией распределенного центра по тяжелым ионам и антипротонам, включающего в себя проекты FAIR в Германии, NICA в Дубне и PANDA-like — эксперименты на ускорителе U-70 в Протвино. Последний проект условно называется SPASCHARM–

PANDA-like. Он нацелен на исследование спиновой структуры нуклона и спиновой зависимости сильного взаимодействия антивещества и вещества при энергии до 50 ГэВ. К 2022 г. предполагается создание поляризованных протонного и антипротонного пучков, что позволит на установке SPASCHARM решать масштабные научные проблемы, связанные со спином. Кроме поляризованных пучков для реализации проекта планируется создать поляризованную твердотельную мишень с замороженными спинами нуклонов. Предполагается, что в этих работах основную роль будет играть группа из сектора низких температур ЛЯП ОИЯИ, имеющая уникальный опыт и достижения в этой области, подтверждением чему служат действующие установки подобного типа в Гатчине, Протвино, Праге и Майнце. Безусловно, потребуются также активное участие соответствующих специалистов из ИФВЭ и немецких коллег (Майнц, Бонн). Использование в проекте SPASCHARM–PANDA-like уже готовых узлов и общих технологий изготовления основных детекторов будет способствовать плодотворности и эффективности такого сотрудничества. Проект в настоящее время рассматривается как дополнительный к уже утвержденным проектам класса мегасайенс, с объявленным размером бюджета 4,0 млрд рублей (окончательное

used in collaborative experiments at the ELSA accelerator of Bonn University (Germany).

The updated SPASCHARM project (SPin ASymmetries in CHARMonium production) [4, 5] is a part of the Distributed Center on Heavy Ions and Antiprotons, being established together by the Russian Federation and Germany. This center includes projects FAIR in Germany, NICA in Dubna, and PANDA-like experiments at the U-70 accelerator in Protvino. The latter project has a tentative name SPASCHARM–PANDA-like. The project is aimed at the study of the nucleon spin structure and the spin dependence of the strong interaction of matter and antimatter at energies up to 50 GeV. By 2022, it is planned to establish polarized proton and antiproton beams, which will permit important spin-connected problems to be solved at the SPASCHARM facility. To implement the project, it is also planned to produce the Solid Polarized Target with frozen spins of nucleons. It is expected that the leading role in this work will be played by the team from DLNP JINR, Low Temperature Sector, which has unique experience and achievements in this field (functioning facilities of a similar kind in Gatchina, Protvino, Prague, and Mainz). Active participation of the experts from IHEP and

German colleagues will be undoubtedly required. The usage of the already manufactured units and general technologies for fabrication of the main detector will increase the fruitfulness and efficiency of this cooperation. The SPASCHARM–PANDA-like mega-science project is now considered to be a high-priority addition to the already supported projects, with the declared budget of 4.0 bln roubles (the final decision on this Project will be made in May–June 2018).

A specialized team of physicists and theorists is being organized for the theoretical support of the SPASCHARM experiment now. This is important for the search for spin effects in certain kinematic regions, where theoretical models developed by this team will predict the existence of such effects, and therefore experiments will not be carried out blindly. Within this project it is planned to educate participating students and thus to get young scientists ready for investigations in modern elementary particle physics.

This all will permit major spin-connected problems to be solved at the SPASCHARM–PANDA-like facility. There is no analogue of this facility for operation with polarized beams, and it is expected to remain unique for at least fifteen years.

решение по этому проекту будет принято в мае-июне 2018 г.).

В настоящее время создается специальная группа физиков для теоретического сопровождения эксперимента SPASCHARM. Это важно для поиска спиновых эффектов в определенных кинематических областях, таким образом, экспериментальные исследования будут проводиться не «вслепую». В рамках данного проекта планируется обучить студентов, участвующих в решении поставленных задач, и в результате получить молодых ученых, готовых к исследованиям в современной физике элементарных частиц.

Все это позволит в эксперименте на установке SPASCHARM–PANDA-like решать масштабные научные проблемы, связанные со спином. Аналога этой установки для работы на поляризованных пучках в мире в настоящее время нет, а ожидаемый период сохранения уникальности этой установки — не менее пятнадцати лет.

Список литературы / References

1. *Leader E.* Spin in Particle Physics. Cambridge Univ. Press, 2001.
2. *Bjorken J.D.* // Proc. Adv. Workshop on QCD Hadronic Processes. St. Croix, Virgin Islands, 1987.
3. *Пузиков Л.Д., Рындин Р.М., Смородинский Я.А.* // ЖЭТФ. 1957. Т.32. С.592.
Puzikov L., Ryndin R., Smorodinsky Ya. // Zh. Eksp. Teor. Phys. 1957. V.32. P.592.
4. *Abramov V.V. et al.* The Status of SPASCHARM Experiment with Polarized Target at U-70 Accelerator // Advanced Research Workshop on High Energy Spin Physics (17; 2017; Dubna). Dubna: JINR, 2017. P. 32.
5. *Vasiliev A.N.* SPASCHARM Project at U70 in Protvino // Panda Collaboration Meeting. Novosibirsk, Sept., 2017.