

Ю. А. Усов

Юбилейный год реализации метода получения сверхнизких температур путем растворения ^3He в ^4He

Юбилейный для ОИЯИ 2016 г. стал юбилейным и для принципиально нового метода получения сверхнизких температур, который впервые был наиболее успешным образом реализован в Лаборатории ядерных проблем Б.С.Негановым, Н.С.Борисовым и М.Ю.Либургом. 50 лет назад, в 1966 г. были опубликованы первые положительные результаты авторов [1]. Следует сказать, что аналогичные работы по реализации этого метода, предложенного теоретиками Х.Лондоном, Г.Кларком, Э.Мендозой в 1962 г. [2], проводились в разных местах, но именно в ОИЯИ был сразу получен абсолютно лучший результат ($T = 0,02$ К). Позднее здесь же той же группой авторов был получен уже совсем фантастический по тем временам и вошедший во все справочники результат ($T = 5,5$ мК). Надо сказать также, что сразу после появления

теоретической публикации [2] ее привез в ОИЯИ чехословацкий физик С.Шафрата [3]. Так как эти события происходили в физическом институте — ОИЯИ, естественно, возникли предложения по использованию этого метода в эксперименте.

Метод действительно обладал удивительными качествами. Кроме низкой температуры это такие важные для экспериментальной физики параметры, как непрерывность и достаточно высокая хладопроизводительность. Именно у Б.С.Неганова возникло предложение использовать этот метод для создания поляризованных твердотельных мишеней с новыми параметрами. В ОИЯИ к тому времени уже были созданы две экспериментальные установки [4], где поляризация ядер получалась при температуре около 1 К. Так как время релаксации (падение) поляризации

Yu. A. Usov

Jubilee Year of Implementation of a Method for Obtaining Ultralow Temperatures by Dissolving ^3He in ^4He

The current year 2016, jubilee for JINR, is also an anniversary of a fundamentally new method for obtaining ultralow temperatures, which was first implemented in the most successful way at the Laboratory of Nuclear Problems by researchers B. S. Neganov, N. S. Borisov and M. Yu. Liburg. Fifty years ago, in 1966, the first successful results of the authors were published [1]. It should be said that similar work was carried out in different places to implement this method proposed by theorists H. London, G. R. Clarke and E. Mendoza in 1962 [2], but it was at JINR that the best result was obtained ($T = 0.02$ K).

Later, the same authors got quite a fantastic result for the time, which was included in all reference books

($T = 5.5$ mK). It should also be noted that this “fresh” theoretical publication [2] was brought to JINR by Czechoslovak physicist S. Šafrata [3]. Since these events took place in the institute of physics — JINR, there were, of course, proposals for the use of this method in the experiment.

The method really had wonderful qualities. In addition to the low temperatures, these are such important parameters for experimental physics as continuity and a sufficiently high cooling capacity. It emerged from B. S. Neganov’s proposal to use this method to create polarized solid state targets with the new parameters. At JINR, two pilot setups had already been established [4], where the polarization of nuclei was obtained at about 1 K. Since the relaxation time

ядер при таких температурах совершенно незначительное, процесс поляризации вынужденно происходил постоянно, а такие мишени именовались как «динамические». Самые элементарные прикидки по времени релаксации поляризации ядер для более низких температур, которые становились возможными при использовании нового метода охлаждения, давали уже совершенно другие — значительно более высокие значения.

В 1974 г. в секторе Б.С.Неганова были начаты работы по созданию поляризованной мишени с использованием нового метода получения сверхнизких температур. Созданная установка [5] немедленно была использована на синхроциклотроне ЛЯП для исследований поляризационных процессов в *pp*-взаимодействиях в диапазоне 550–630 МэВ [6]. Конечно, установка «поляризованная мишень» включает в себя не только криогенную систему: необходима ЯМР-аппаратура, системы СВЧ и измерения температуры, а также должны быть созданы условия для химического приготовления поляризуемого материала. Тем не менее криогеника является ключевым, влияющим на основные параметры установки фактором, и получение принципиально новых параметров означало и создание поляризованных мишеней нового типа:

под воздействием сверхнизких температур ядерная релаксация поляризации мишени практически приостанавливалась, поэтому такой тип мишени получил название «замороженные».

В экспериментальных установках такого типа стало возможным не только получать предельную поляризацию ядер для большинства используемых веществ за счет низкой температуры поляризуемого вещества при воздействии СВЧ-облучения, но и помещать мишень в слабое и менее однородное магнитное поле на длительное время во время экспозиции мишени на пучке. Это обстоятельство имеет уже принципиальное значение, так как позволяет проводить совершенно другие эксперименты с поляризованными мишенями и пучками при условии охлаждения вещества мишени ниже 0,05 К. Метод получения сверхнизких температур посредством растворения жидкого гелия-3 в гелии-4 стал фундаментом для развития таких направлений, как создание крупных поляризованных мишеней замороженного типа для проведения экспериментов с частицами высоких энергий, проведение исследований с нестабильными изотопами ядер (проект «Спин» в ОИЯИ), разработка нового типа тепловых детекторов элементарных частиц и т. д.

(the drop) of nuclear polarization at these temperatures is quite small, the polarization process is forced to occur constantly, and these targets are named “dynamic”. The most basic estimations on the relaxation time of the nuclear polarization for lower temperatures, which were made possible by using the new cooling method, gave completely different, much higher values.

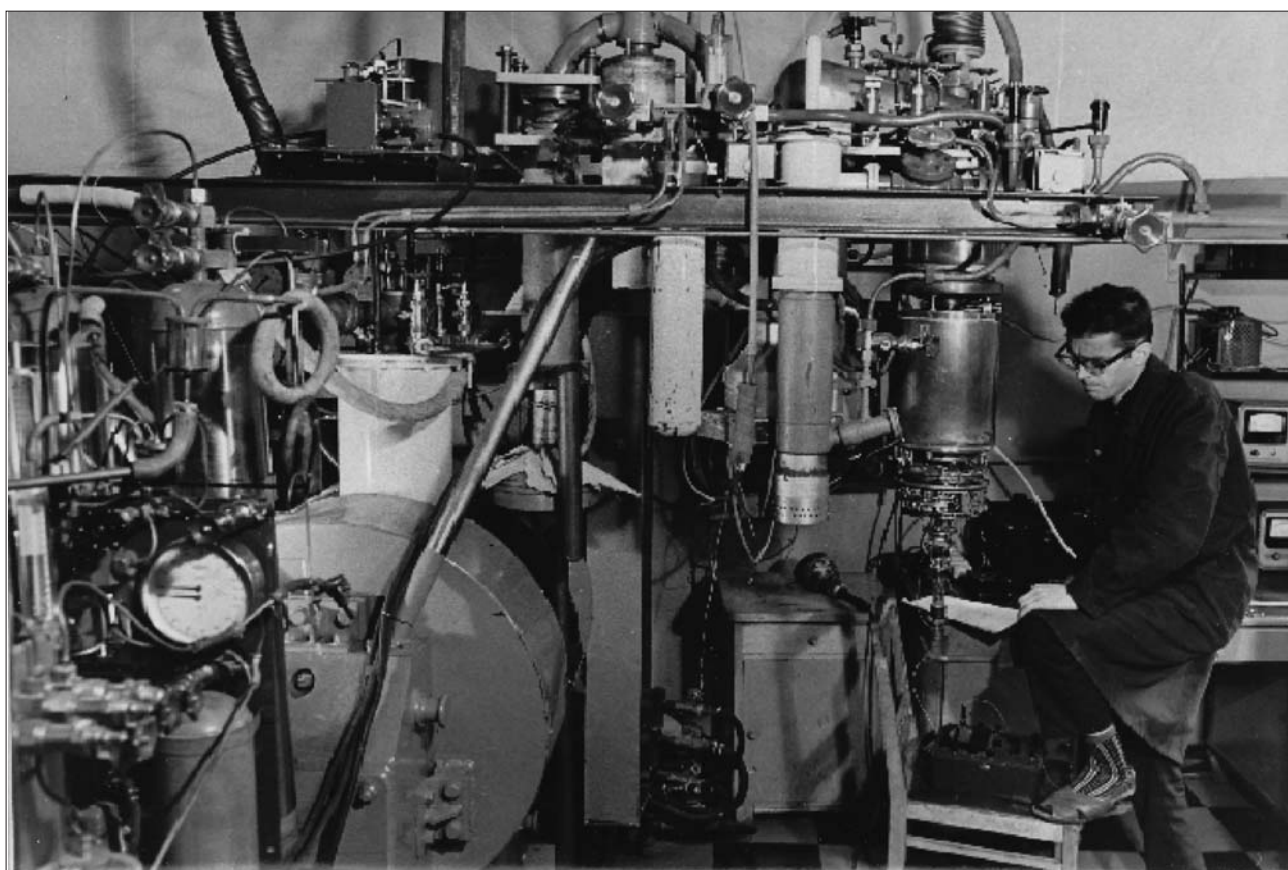
In 1974 the work to produce a polarized target with the new method for ultralow temperatures was started in Neganov’s sector. The developed setup [5] was used immediately at the phasotron of LNP to study the polarization effects in *pp* interactions in the range of 550–630 MeV [6]. Of course, the “polarized target” installation includes not only cryogenics: there must be NMR apparatus, the microwave and temperature measurement systems, and the conditions for chemical preparation of the polarizable material. Nevertheless, cryogenics is the key factor influencing the basic parameters of the installation, so generating radically new parameters meant the creation of a new type of polarized targets — “frozen”; i.e., under the influence of ultralow temperature the nuclear destruction (relaxation) of target polarization was virtually suspended and this type of target is called “frozen”.

Such kind of experimental setups made it possible not only to obtain the uttermost polarization of nuclei for most of the substances when exposed to microwave radiation, but also to put the target in the weak and less homogeneous magnetic field for a long time during exposure of the target with a beam. This fact is of fundamental importance, since there are opportunities to carry out completely different experiments with polarized targets and beams, and this quality is only possible when the target material is cooled below 0.05 K. The method for obtaining ultralow temperatures by dissolving liquid helium-3 in helium-4 became the foundation for the development of such areas as the creation of large frozen polarized targets for experiments with high-energy particles; research with unstable isotopes (SPIN project); the development of new types of thermal detectors of elementary particles, etc.

To date, more than 10 frozen polarized targets have been developed in the world (CERN, the United States, Germany, Japan, and Russia). Four of them were produced at JINR [7–11] and are being used successfully at the present time with various accelerators (Gatchina, Protvino, Prague, Mainz). The installation made for Mainz has been recognized among the experts as the best in the world [12].

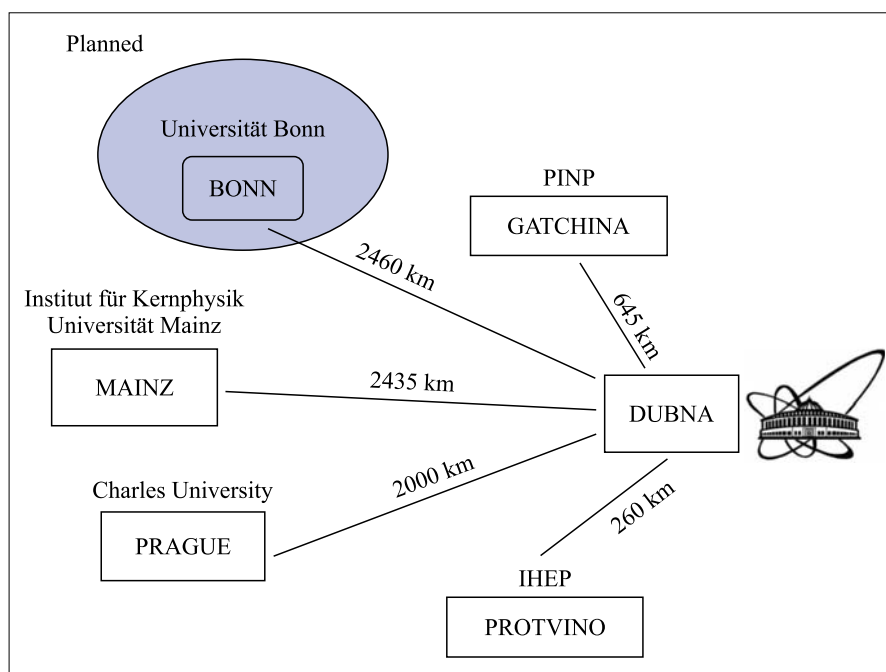
К настоящему времени в мире создано более 10 таких установок — поляризованных мишеней замороженного типа (ЦЕРН, США, Германия, Япония и Россия). Четыре из них были созданы в ОИЯИ [7–11] и теперь успешно используются на различных ускорителях (Гатчина, Протвино, Прага, Майнц). Установка, созданная для Майнца, была признана в среде специалистов как лучшая в мире [12]. Следует сказать, что основной физической тематикой, которой занимается в Майнце коллаборация A2 при помощи этой мишени, является проверка правила сумм Герасимова–Дрелла–Херна [13]. И совершенно естественно, что, когда в Боннском университете возникла необходимость в создании криостата новой поляризованной мишени, немецкие коллеги обратились в ОИЯИ. В настоящее время по контракту (ОИЯИ – Боннский университет) совместно с немецкими специалистами создается «замороженная» поляризованная мишень для проведения экспериментов на ускорителе ELSA.

Таким образом, традиции использования сверхнизких температур в поляризационных исследованиях имеют в ОИЯИ глубокую основу. К этому необходимо добавить и достижение предельно низких рабочих температур в разработанных в ОИЯИ поляризованных мишенях [14]. С другой стороны, эти установки за многие годы доказали свою чрезвычайную надежность — даже самая первая поляризованная мишень до сих пор успешно используется в ПИЯФ. В настоящее время уже ряд коммерческих фирм («Oxford Instruments», JANIS, «BlueFors») предлагают лабораторные установки для получения сверхнизких температур с использованием метода растворения $^3\text{He}/^4\text{He}$, с вполне хорошими параметрами. Можно с уверенностью констатировать, что этот метод стационарного получения сверхнизких температур, успешно развиваемый в ЛЯП ОИЯИ, юбилей первой успешной реализации которого приходится на 2016 г., заслуженно получил очень широкое применение в экспериментальной физике.



Дубна, 1966 г. Н. С. Борисов у комбинированной установки, включающей динамическую поляризованную мишень при 1 К и рефрижератор растворения, на котором была достигнута температура 5 мК

Dubna, 1966. N. S. Borisov near a compound setup, including a 1 K dynamic polarized target and a dilution refrigerator where a temperature of 5 mK was obtained



Карта, представляющая активность ОИЯИ
в создании замороженных поляризованных мишеней

The map of JINR's frozen polarized target activities

It is necessary to say that the basic physics task which is implemented in Mainz by the A2 collaboration with the use of the frozen spin polarized target is the test of the Gerasimov–Drell–Hearn sum rule [13]. And obviously, when there was a necessity in the Bonn University to create a new polarized target the colleagues apply to JINR. Presently, the frozen spin polarized target is being created in cooperation with German specialists (JINR – Bonn University contract) for experiments at the accelerator ELSA. I think that in this case the two sides complement each other well.

Thus, the tradition of using ultralow temperatures in polarization studies at JINR has a deep foundation. It is necessary to add the achievement of the extremely low operating temperatures for the polarized targets developed at JINR [14]. On the other hand, these facilities show extreme reliability for many years — even the first polarized target is still used successfully at PNPI.

Presently, a number of commercial companies (Oxford Instruments, JANIS, BlueFors) offer the laboratory facilities for production of ultralow temperatures using $^3\text{He}/^4\text{He}$ dissolution method with quite good parameters. Thus, at present, we can say that this method of stationary obtaining of ultralow temperatures, successfully developed at JINR DLNP, whose anniversary of the first successful implementation is in 2016, has deservedly received very wide application in experimental physics.

Список литературы / References

1. Neganov B. S., Borisov N. S., Liburg M. Yu. // JETP. 1966. V. 50. P. 1445.
2. London H., Clarke G. R., Mendoza E. // Phys. Rev. 1962. V. 128. P. 1992.
3. Šafrata S. // Čs. Čas. Phys. A. 1968. V. 19. P. 489.
4. Luschnikov V. I., Neganov B. S., Parfenov L. B., Taran Yu. V. et al. // Sov. Phys. JETP. 1966. V. 22. P. 285.
5. Borisov N. S. et al. JINR Preprints 13-10253, 10-10257. Dubna, 1976; Prib. Tekh. Eksp. 1978. V. 2. P. 32.
6. Borisov N. S. et al. // Zh. Eksp. Teor. Fiz. 1977. V. 73. P. 1679–1683.
7. Usov Yu. A. // Nucl. Instr. Meth. A. 2004. V. 526. P. 153.
8. Borisov N. S. et al. JINR Commun. 1-80-98. Dubna, 1980.
9. Borisov N. S. et al. // J. Phys. E: Sci. Instr. 1988. V. 21. P. 1179.
10. Borisov N. S. et al. // Nucl. Instr. Meth. A. 1994. V. 345. P. 421.
11. Bazhanov N. A. et al. // Nucl. Instr. Meth. A. 1996. V. 372. P. 349.
12. Thomas A., Borisov N. S., Fedorov A. N., Lazarev A. B., Mironov S. V., Neganov A. B., Pavlov V. N., Usov Yu. A. et al. The New Frozen-Spin Target at MAMI // Phys. Part. Nucl. 2013. V. 44, No. 6. P. 77.
13. Gerasimov S. B. // Yad. Fiz. 1966. V. 2. P. 598; Ahrends J. et al. (GDH and A2 Collab.) // Phys. Rev. B. 2006. V. 74. P. 134418.
14. Usov Yu. A. Frozen Spin Targets Developed at Dubna. History and Traditions // PoS (PSTP2015-21).