**Оптимизация масс-сепараторов**

***В. В. Лукашевич***

**Аннотация**

В настоящей работе методом фазовых диаграмм исследованы ионно-оптические свойства аксиально-симметричных, квадрупольных и трансаксиальных линз, а также магнитных систем. Показано, что нелинейности в фазовых диаграммах для первых двух типов линз, проявляющиеся как аберрации фокусирующей системы, ограничивают разрешающую способность масс-сепараторов. Степени свободы трансаксиальной линзы позволяют сделать ее свободной от аберраций, что в несколько раз увеличивает разрешающую способность сепаратора.

Получены величины оптимальных (предельных) разрешений для магнита скандинавского типа и для системы двух магнитов в зависимости от ширины пучка при заданном эмиттансе. Эти величины ограничены исключительно аберрациями магнитов. Для их устранения в трансаксиальные линзы добавляются электроды-корректоры, так что функции фокусировки   
в линзе и корректировка абeрраций становятся независимыми, что позволит достичь рекордных разрешающих способностей в новых установках.

Работа выполнена в Отделении физики высоких энергий (ЛКЯ).

**Optimization of the Mass Separators**

**V.V. Lykashevich**

**Abstract**

In the present work, the ion-optical properties of axially symmetric, quadrupole and transaxial lenses, as well as magnetic systems, were studied by the phase diagram method. It is shown that the non-linearities in the phase diagrams for the first two types of lenses, manifested as aberrations of the focusing system, limit the resolving power of the separator. The degrees of freedom available for   
a transaxial lens make it possible to eliminate the aberrations, which several times increases the resolving power of the separator.

Further, the values of the optimal (limiting) resolutions for a magnet of the Scandinavian type and for a system of two magnets are obtained, depending on the beam width for a given emittance.

These quantities are limited solely to aberrations of magnets. To eliminate them, corrector electrodes are added to transaxial lenses, so that the focusing functions in the lens and adjusting the aberrations become independent. This will achieve record resolution in new installations.

The work has been performed at the High Energy Physics Division (SLNL).

Препринт № 3013, 27.11.2017 г.

E-mail: [lukashevich\_vv@pnpi.nrcki.ru](mailto:lukashevich_vv@pnpi.nrcki.ru)

**Измерение времени жизни нейтрона   
при помощи большой гравитационной ловушки   
для ультрахолодных нейтронов**

***А. П. Серебров, Э. А. Коломенский, А. К. Фомин,   
И. А. Краснощекова, А. В. Васильев, Д. М. Прудников,   
И. В. Шока, А. В. Чечкин, М. Е. Чайковский, В. Е. Варламов,***

***С. Н. Иванов, А. Н. Пирожков, П. Гельтенборт, O. Циммер,   
T. Дженке, M. ван дер Гринтен, M. Такер***

**Аннотация**

Время жизни нейтрона является одной из ключевых физических величин, служащей для определения параметров слабого взаимодействия и предсказаний теории первичного нуклеосинтеза. Измерения времени жизни нейтрона в проводимом эксперименте осуществляются методом хранения нейтронов в материальной ловушке с гравитационным затвором. Используются две геометрические конфигурации ловушки для изменения частоты соударений нейтронов со стенками ловушки. Время жизни нейтрона определяется экстраполяцией к нулевой частоте соударений. Новая установка позволяет изменять число соударений нейтронов со стенками при помощи погружения вставки в объем хранения без разборки спектрометра и нарушения вакуума. В качестве покрытия используется безводородный фторсодержащий полимер Fomblin grease UT 18. Проведено исследование устойчивости покрытия к многократным охлаждениям до температуры 80 К и отогревам до 300 К. Вероятность потерь в ловушке составляет всего лишь 1,5 % от вероятности распада нейтрона. Новая установка позволила получить результат , находящийся в хорошем соответствии с общепринятым значением , представленным Particle Data Group. В заключение представлен анализ имеющихся на сегодняшний день данных о времени жизни нейтрона.

**Neutron Lifetime Measurements with the Big Gravitational Trap  
 for Ultracold Neutrons**

***A.P. Serebrov, E.A. Kolomensky, A.K. Fomin, I.A. Krasnoschekova,   
A.V. Vasiljev, D.M. Prudnikov, I.V. Shoka, A.V. Chechkin,   
M.E. Chaikovskiy, V.E. Varlamov, S.N. Ivanov, A.N. Pirozhkov,   
P. Geltenbort1, O. Zimmer1, T. Jenke1, M. van der Grinten2, M. Tucker2,***

**Abstract**

Neutron lifetime is one of the most important physical constants which determines parameters of the weak interaction and predictions of primordial nucleosynthesis theory. There remains the unsolved problem of a 3.9σ discrepancy between measurements of this lifetime using neutrons in beams and those with stored neutrons. In our experiment we measure the lifetime of neutrons trapped by Earth’s gravity in an open-topped vessel. Two configurations of the trap geometry are used to change the mean frequency of ultracold neutrons collisions with the surfaces – this is achieved by plunging an additional surface into the trap without breaking the vacuum. The trap walls are coated with a hydrogenless fluorine-containing polymer to reduce losses of ultracold neutrons. The stability of this coating to multiple thermal cycles between 80 and 300 K was tested. At 80 K, the probability of ultracold neutrons loss due to collisions with the trap walls is just 1.5% of the probability of beta-decay. The free neutron lifetime is determined by extrapolation to an infinitely large trap with zero collision frequency. The result of these measurements is which is consistent with the conventional value of 880.2 ± 1.0 s presented by the Particle Data Group. Future prospects for this

experiment are in further cooling to 10 K which will lead to an improved accuracy of measurement. In conclusion we present an analysis of currently-available data on various measurements of the neutron lifetime.

1 *Institute Laue-Langevin, Grenoble, France*

2 *Science and Technology Facilities Council, Rutherford Appleton Laboratory, UK*

Preprint № 3014, 06.12.2017 г., англ. текст

E-mail: [serebrov\_ap@pnpi.nrcki.ru](mailto:serebrov_ap@pnpi.nrcki.ru)

**Измерение времени жизни нейтрона при помощи   
большой гравитационной ловушки для ультрахолодных нейтронов**

***А. П. Серебров, Э. А. Коломенский, А. К. Фомин,   
И. А. Краснощекова, А. В. Васильев, Д. М. Прудников, И. В. Шока,  
 А. В. Чечкин, М. Е. Чайковский, В. Е. Варламов, С. Н. Иванов,   
А. Н. Пирожков, П. Гельтенборт1, О. Циммер1,   
Т. Дженке1, М. ван-дер-Гринтен2, М. Такер2.***

**Аннотация**

Время жизни нейтрона является одной из ключевых физических величин, служащей для определения параметров слабого взаимодействия и предсказаний теории первичного нуклеосинтеза. Измерения времени жизни нейтрона в проводимом эксперименте осуществляются методом хранения нейтронов в материальной ловушке с гравитационным затвором. Используются две геометрические конфигурации ловушки для изменения частоты соударений нейтронов со стенками ловушки. Время жизни нейтрона определяется экстраполяцией к нулевой частоте соударений. Новая установка позволяет изменять число соударений нейтронов со стенками при помощи погружения вставки в объем хранения без разборки спектрометра и нарушения вакуума. В качестве покрытия используется безводородный фторсодержащий полимер Fomblin grease UT 18. Проведено исследование устойчивости покрытия к многократным охлаждениям до температуры 80 К и отогревам до 300 К. Вероятность потерь в ловушке составляет всего лишь 1,5 % от вероятности распада нейтрона. Новая установка позволила получить результат , находящийся в хорошем соответствии с общепринятым значением , представленным Particle Data Group. В заключение представлен анализ имеющихся на сегодняшний день данных о времени жизни нейтрона.

1 *Институт им. Лауэ – Ланжевена, Гренобль, Франция*

2 *Лаборатория Резерфорда – Эпплтона Совета по науке и технологиям, Великобритания*

**Neutron lifetime Measurements with the Big Gravitational Trap  
 for Ultracold Neutrons**

***A.P. Serebrov, E.A. Kolomensky, A.K. Fomin, I.A. Krasnoschekova,   
A.V. Vasiljev, D.M. Prudnikov, I.V. Shoka, A.V. Chechkin, M.E. Chaikovskiy,   
V.E. Varlamov, S.N. Ivanov, A.N. Pirozhkov, P. Geltenbort, O. Zimmer,   
T. Jenke, M. van der Grinten, M. Tucker***

**Abstract**

Neutron lifetime is one of the most important physical constants which serves for determining parameters of weak interaction and predictions of primordial nucleosynthesis theory. There is still unsolved problem of 3.9 standard deviation discrepancy of measurements with beam method and storage method. In our experiment the measurements of neutron lifetime are carried out using method of storing neutrons in material trap with gravity barrier on top. Two geometry configurations of the trap are used in order to vary mean frequency of UCN collisions with surface. Free neutron lifetime is determined by extrapolation to infinite trap with zero collision frequency. To vary the collision frequency an additional surface – the insert is used. It can be plunged into the trap without apparatus deconstruction and breaking the vacuum. Covering of the trap walls is made of hydrogenless fluorine- containing polymer Fombling grease UT 18. Covering stability to multiple cooling to 80 K and heating to 300 K was tested. Loss probability in the trap is just 1.5% probability of beta-decay. The result of the measurements is which is consistent with conventional value

880.2 ± 1.0 presented in Particle Data Group. The prospects of the experiment are in cooling to 10 K which leads to increase accuracy of measurement. In conclusion we present the analysis of presently available data on measurements of mean neutron lifetime.

Preprint № 3014, 10.11.2017 г.,

E-mail: [serebrov\_ap@pnpi.nrcki.ru](mailto:serebrov_ap@pnpi.nrcki.ru)

**Нейтроноводная система ультрахолодных и холодных нейтронов   
на реакторе ВВР-М**

***А. П. Серебров, В. А. Лямкин, В. М. Пусенков, М. С. Онегин, А. К. Фомин,   
О. Ю. Самодуров, А. Т. Опрев, В. А. Илатовский, Ю. Н. Журавлев, А. Ф. Щебетов,   
В. Г. Сыромятников, Г. П. Гордеев, Л. А. Аксельрод, В. Н. Забенкин, И. В. Голосовский,   
О. П. Смирнов, В. Т. Лебедев, Ю. П. Черненков, В. В. Рунов***

**Аннотация**

Представлены результаты расчета нейтронных потоков ультрахолодных, очень холодных   
и холодных нейтронов на выходах нейтроноводов источника ультрахолодных нейтронов   
со сверхтекучим гелием на реакторе ВВР-М. В результате оптимизации параметров  
источника получена плотность ультрахолодных нейтронов в ловушке ЭДМ-спектрометра   
ρ35л = 1,3 · 104 cм–3, на два порядка величины превышающая плотность ультрахолодных нейтронов на выходе существующих источников ультрахолодных нейтронов. Плотность потока холодных нейтронов (2–20 Å) на выходе нейтроновода с сечением 30 × 200 мм2 составит 1,1 · 108 cм–2 · с–1, потока очень холодных нейтронов (50–100 Å) – 2,3 · 105 cм–2 · с–1. На источнике запланирована обширная научная программа в области фундаментальной   
и прикладной физики.

Работа выполнена в Отделении нейтронных исследований (ОНФ).

**Neutron Guide System for Ultracold and Cold Neutrons at WWR-M-Reactor**

***A.P. Serebrov, V.A. Lyamkin, V.M. Pusenkov, M.S. Onegin, А.К. Fomin,   
О.Yu. Samodurov, А.Т. Oprev, V.A. Ilatovskiy, Yu.N. Zhuravlev, А.F. Schebetov,   
V.G. Syromyatnikov, G.P. Gordeev, L.A. Akselrod, V.N. Zabenkin, I.V. Golosovsky,   
О.P. Smirnov, V.T. Lebedev, Yu.P. Chernenkov, V.V. Runov***

**Abstract**

The calculation is made on neutron fluxes of ultracold, very cold and cold neutrons at the outlets of ultracold neutrons source neutron guides with superfluid He at WWR-М. As a result of optimized source parameters, ultracold neutrons density in EDM spectrometer has become equal to ρ35l = 1.3 · 104 cm–3. The obtained density of ultracold neutrons in EDM spectrometer exceeds by two orders of value that of ultracold neutrons at the outlet of available ultracold neutrons sources. The flux density of cold neutrons (2–20 Å) at the outlet of a neutron guide with cross section of 30 × 200 mm2 will be 1.1 · 108 cm–2 · s–1. The flux density of cold neutrons (50–100 Å) at the outlet of a neutron guide with cross section of 30 × 200 mm2 will be equal to 2.3 · 105 cm–2 · s–1. An extensive research project is expected to be implemented in fundamental and applied physics by employing the source concerned.

Preprint № 3015, 08.12.2017 г.

E-mail: [serebrov\_ap@pnpi.nrcki.ru](mailto:serebrov_ap@pnpi.nrcki.ru)

**Нейтроноводная система ультрахолодных и холодных нейтронов   
на реакторе ВВР-М**

***А. П. Серебров, В. А. Лямкин, В. М. Пусенков, М. С. Онегин,   
А. К. Фомин, О. Ю. Самодуров, А. Т. Опрев, В. А. Илатовский,   
Ю. Н. Журавлев, А. Ф. Щебетов, В. Г. Сыромятников, Г. П. Гордеев,   
Л. А. Аксельрод, В. Н. Забенкин, И. В. Голосовский, О. П. Смирнов,   
В. Т. Лебедев, Ю. П. Черненков, В. В. Рунов***

**Аннотация**

Представлены результаты расчета нейтронных потоков ультрахолодных, очень холодных и холодных нейтронов на выходах нейтроноводов источника ультрахолодных нейтронов со сверхтекучим гелием на реакторе ВВР-М. В результате оптимизации параметров   
источника получена плотность ультрахолодных нейтронов в ловушке ЭДМ-спектрометра   
ρ35л = 1,3 · 104 cм–3, на два порядка величины превышающая плотность ультрахолодных нейтронов на выходе существующих источников ультрахолодных нейтронов. Плотность потока холодных нейтронов (2–20 Å) на выходе нейтроновода с сечением 30 × 200 мм2 составит 1,1 · 108 cм–2 · с–1, потока очень холодных нейтронов (50–100 Å) – 2,3 · 105 cм–2 · с–1. На источнике запланирована обширная научная программа в области фундаментальной и прикладной физики.

**Neutron Guide System for Ultracold and Cold Neutrons at WWR-M-Reactor**

***A.P. Serebrov, V.A. Lyamkin, V.M. Pusenkov, M.S. Onegin, А.К. Fomin,   
О.Yu. Samodurov, А.Т. Oprev, V.A. Ilatovskiy, Yu.N. Zhuravlev, А.F. Schebetov,   
V.G. Syromyatnikov, G.P. Gordeev, L.A. Akselrod, V.N. Zabenkin, I.V. Golosovsky,   
О.P. Smirnov, V.T. Lebedev, Yu.P. Chernenkov, V.V. Runov***

**Abstract**

The calculation is made on neutron fluxes of ultracold, very cold and cold neutrons at the outlets of ultracold neutrons source neutron guides with superfluid He at WWR-М. As a result of optimized source parameters, ultracold neutrons density in EDM spectrometer has become equal to ρ35l = 1.3 · 104 cm–3. The obtained density of ultracold neutrons in EDM spectrometer exceeds by two orders of value that of ultracold neutrons at the outlet of available ultracold neutrons sources. The flux density of cold neutrons (2–20 Å) at the outlet of a neutron guide with cross section of 30 × 200 mm2 will be 1.1 · 108 cm–2 · s–1. The flux density of cold neutrons (50–100 Å) at the outlet of a neutron guide with cross section of 30 × 200 mm2 will be equal to 2.3 · 105 cm–2 · s–1. An extensive research project is expected to be implemented in fundamental and applied physics by employing the source concerned.

The work has been performed at the Neutron Research Division (NPD).

Preprint № 3015, 08.12.2017 г., англ. текст

E-mail: [serebrov\_ap@pnpi.nrcki.ru](mailto:serebrov_ap@pnpi.nrcki.ru)

**Учет неидеальности жидкой и газовой фаз при расчете коэффициента ректификационного разделения смеси двух изотопологов водорода**

***С. А. Панасенко***

**Аннотация**

В данной работе представлен метод расчета коэффициента ректификационного разделения для смеси двух изотопологов водорода с учетом неидеальности жидкой и газовой фаз. Выполнено сравнение расчетных значений коэффициента с экспериментальными. Также выполнено сравнение значений коэффициента, полученных при учете неидеальности жидкой фазы в рамках понятия регулярного раствора, со значениями, полученными при учете этого явления с помощью модели COSMOSPACE. Приведены расчетные значения коэффициентов для смесей H2–HT и D2–DT в диапазоне температур от 20 до 30 К и всего диапазона мольных долей. На примере задачи извлечения трития из тяжеловодного отражателя реактора ПИК выполнено сравнение необходимого числа единиц переноса концентрирующей части ректификационной колонны с учетом обнаруженной зависимости коэффициента разделения   
от мольной доли изотополога и без нее.

Работа выполнена в Отделе физики и техники реакторов (ЛРИВ).

**Calculation of Rectificative Separation Coefficient of Non-Ideal in Gaseous   
and Liquid Phase Mixture of Two Hydrogen Isotopologues**

***S.A. Panasenko***

**Abstract**

In the presented paper method of calculation of rectificative separation coefficient of non-ideal in gaseous and liquid phase mixture of two hydrogen isotopologues is provided. Comparisons of calculated separation coefficients with experimental ones are performed. Comparison of non-ideality within regular solution and COSMOSPACE models was performed as well. Calculated values of separation coefficient for H2–HT and D2–DT mixtures for temperature range from 20 to 30 К and full molar fractions range are provided. Comparison of necessary number of rectification column concentrating section transfer units with discovered dependence of separation coefficient on isotopologue molar fraction and without it for the PIK reactor heavy water moderator detritiation problem as an example is performed.

The work has been performed at the Reactors Physics and Technics Section (LHIS).

Препринт № 3016, 18.12.2017 г.

E-mail: [panasenko\_sa@pnpi.nrcki.ru](mailto:panasenko_sa@pnpi.nrcki.ru)