

## УСТАНОВКА ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ В ВЕЩЕСТВЕ МОНОХРОМАТИЧЕСКИХ ПОЗИТРОНОВ НЕПРЕРЫВНОГО ПОТОКА

*Е. В. Ахманова<sup>а</sup>, М. К. Есеев<sup>а, б</sup>, В. И. Хилинов<sup>а</sup>, П. Хородек<sup>а, в</sup>,  
А. Г. Кобец<sup>а, з</sup>, В. В. Кобец<sup>а</sup>, И. Н. Мешков<sup>а</sup>, О. С. Орлов<sup>а, 1</sup>, К. Семек<sup>а, в</sup>,  
А. А. Сидорин<sup>а</sup>*

<sup>а</sup> Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

<sup>б</sup> Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, Архангельск, Россия

<sup>в</sup> Институт ядерной физики Польской академии наук, Краков, Польша

<sup>з</sup> Институт электрофизики и радиационных технологий НАН Украины, Харьков, Украина

В докладе предлагаются схема и конструкция установки формирования непрерывного потока монохроматических позитронов с контролируемым временем прихода на мишень, не зависящим от момента времени старта в ограниченном интервале времени. Принцип в основе метода описан в работе [1]. Установка предназначена для проведения экспериментов по измерению времени жизни позитронов в веществе методом позитронной аннигиляционной спектроскопии (Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy — PALS). Этот метод позволяет различать типы дефектов в материалах, возможно варьирование энергии позитронов, что позволяет анализировать распределение дефектов по глубине образца. Обсуждаются схемы генерации периодического ВЧ-напряжения заданной формы и измерения времени жизни позитрона.

The report proposes the scheme and installation design for formation of a continuous monochromatic positron flux with controlled time of arrival at the target, independent of the launch time in a limited time interval (principle of method is in the report of I. N. Meshkov, “The Formation of an orderly flow of positrons”). The installation is designed to perform experiments to measure the positron lifetime in the positron annihilation spectroscopy method (Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy — PALS). PALS method allows one to distinguish defect types in the materials. It is possible to vary the positron energy in the present variant that allows us to analyze the distribution of defects in depth of the sample. The schemes of periodic RF voltage generation by a given form and measurement of the positron lifetime are discussed.

PACS: 29.27.Fh; 29.27.-h; 61.72.Ff

### ВВЕДЕНИЕ

В позитронной аннигиляционной спектроскопии наиболее информативным, а поэтому и более привлекательным для применений считается метод, основанный на измерении времени жизни позитрона в образце исследуемого материала, — метод PALS. Эффективность метода существенно увеличивается при использовании непрерывного потока позитронов с контролируемым временем их прихода в образец. Подробнее принцип формирования такого потока представлен в работе [1].

---

<sup>1</sup>E-mail: orlov@jinr.ru

## 1. ФОРМИРОВАНИЕ УПОРЯДОЧЕННОГО ПОТОКА ПОЗИТРОНОВ

Создание упорядоченного потока позитронов осуществляется с помощью ВЧ-напряжения специальной формы. Позитроны из криогенного источника монохроматических позитронов (КРИММП) [2, 3] поступают на вход резонатора (рис. 1), формирующего напряжение специальной формы. Пройдя резонатор, позитроны попадают в ускоряющий зазор со статическим электрическим полем и затем в образец. Время прихода позитронов в образец одинаково для всех позитронов (см. [1], рис. 1), поступающих в резонатор в течение некоторого интервала времени  $T_0$ .

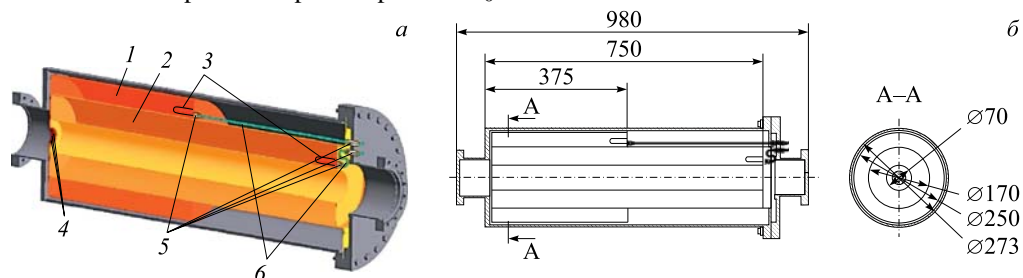


Рис. 1. 3D-модель (а) и схема резонатора (б). 1 — резонатор первой и третьей гармоник; 2 — резонатор второй гармоники; 3 — петля ввода ВЧ-мощности; 4 — сетки; 5 — ВЧ-разъемы; 6 — коаксиальный ВЧ-кабель

## 2. ВЧ-СИСТЕМА

Формирование ВЧ-напряжения необходимой формы можно осуществить с помощью трех резонаторов, настроенных на частоты  $nf_0$ ,  $n = 1, 2, 3$ ;  $f_0 = 1/T_0$ . Это дает удовлетворительные результаты при выборе оптимальных значений энергии позитронов  $E_0$  и других параметров канала [1].

## 3. СИГНАЛЫ «СТАРТ» И «СТОП»

Применение непрерывного потока позитронов требует организации стартовых и стоповых сигналов. В предлагаемом методе такие сигналы можно генерировать с помощью привязки к фазе основной гармоники ( $f_0 = 100$  МГц в примере, рассмотренном в [1]), например, к нулю импульса напряжения и к сигналу детектора, регистрирующего  $\gamma$ -квант при аннигиляции позитрона в исследуемом образце. В одном из вариантов схемы измерения времени жизни позитрона в образце предлагается использовать сигнал детектора в качестве «старта», а сигнал, привязанный к нулю ВЧ-напряжения, как команду «стоп». Этот сигнал может управляться с помощью линии задержки, которая компенсирует время пролета позитрона от выхода из ВЧ-системы до образца. Время жизни позитрона вычисляется по формуле  $\tau_{\text{life}} = T_0 - (t_{\text{stop}} - t_{\text{start}})$ .

## 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СБОРКА ТРАНСПОРТИРОВОЧНОГО КАНАЛА

Для размещения резонатора, дрейфовых промежутков вакуумной камеры с вводом для оптимального расположения измерительной аппаратуры на комплексе ЛЕРТА в ОИЯИ был спроектирован новый канал транспортировки позитронов (рис. 2).

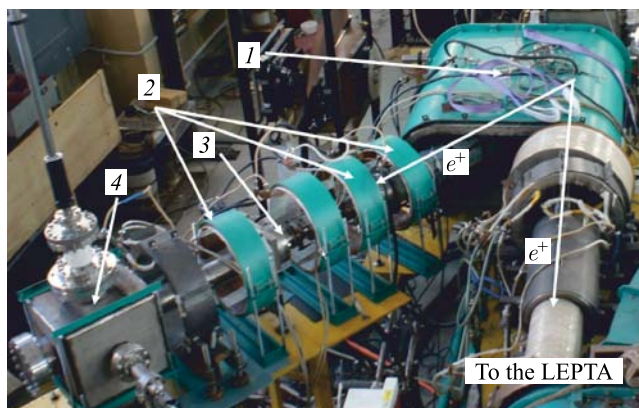


Рис. 2. Специализированный канал транспортировки позитронов: 1 — секция разведения позитронных пучков; 2 — соленоиды канала транспортировки; 3 — канал транспортировки; 4 — станция ПАС

Канал позволяет осуществить вариант PALS на упорядоченном потоке монохроматических позитронов. Канал состоит из четырех частей, это

- криогенный позитронный источник, оборудованный замкнутой системой циркуляции жидкого гелия на основе криогенного охладителя (производства Sumitomo Co);
- трехрезонаторный блок формирования ВЧ-напряжения заданной формы;
- электростатический ускоряющий зазор.

Позитрон проходит по каналу из источника до мишени в продольном магнитном поле напряженностью до 400 Гс и доходит до образцов, подвешенных под отрицательный потенциал до 60 кВ.

Новый криогенный источник медленных монохроматических позитронов на замкнутой системе жидкого гелия содержит источник на основе изотопа  $^{22}\text{Na}$  активностью 30 мКи (производства Themba LAB, Южная Африка) и криогенный охладитель. Источник смонтирован на комплексе и функционирует в штатном режиме (температура 5,3 К), генерируя поток позитронов  $10^6 \text{ с}^{-1}$ . Поток позитронов был проведен по каналу транспортировки в ноябре 2016 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание и введение в эксплуатацию транспортного канала медленных позитронов позволит создать предлагаемую схему упорядочивания потока монохроматических позитронов и применить метод PALS в исследованиях, что существенно сократит время исследования образцов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мешков И. Н. Формирование упорядоченного потока позитронов // XII Междунар. семинар по проблемам ускорителей заряженных частиц памяти проф. В. П. Саранцева, Алушта, Крым, Россия, 3–8 сент. 2017 г.; Письма в ЭЧАЯ. 2018. Т. 15, № 7(219).

2. Horodek P., Kobets A. G., Meshkov I. N., Sidorin A. A., Orlov O. S. Slow Positron Beam at JINR, Dubna // *Nucleonica*. 2015. V. 60, No. 4. P. 725.
3. Horodek P., Bugdol M., Kobets A. G., Meshkov I. N., Orlov O. S., Rudakov A. Yu., Sidorin A. A., Yakovenko S. L. Development of Positron Annihilation Spectroscopy at the LEPTA Facility // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2014. V. 11, No. 5. P. 708.