

ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА ДЕМОНСТРАЦИОННОГО И УЧЕБНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

УДК 539.1.073.24

ПОРТАТИВНАЯ КАМЕРА ВИЛЬСОНА ДЛЯ НАТУРНОЙ ДЕМОНСТРАЦИИ ЯВЛЕНИЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ¹

© 2023 г. С. Л. Шергин^{а,*}, Н. Н. Достовалов^{а,**}

^а Сибирский государственный университет геосистем и технологий
Россия, 630108, Новосибирск, ул. Плеханова, 10

*e-mail: serkron@mail.ru

**e-mail: dostovalov@ssga.ru

Поступила в редакцию 02.12.2022 г.

После доработки 09.03.2023 г.

Принята к публикации 12.05.2023 г.

Представлена портативная конструкция камеры Вильсона. Приведено описание устройств, входящих в состав конструкции камеры, и их основные технические характеристики. Проведены многократные испытания установки, выявлены ее основные параметры функционирования, а также требуемые параметры системы охлаждения. Данная конструкция камеры Вильсона применяется в качестве научного, лабораторного и демонстрационного оборудования.

DOI: 10.31857/S003281622305035X, EDN: WXWPYR

1. ВВЕДЕНИЕ

Разработана и испытана портативная конструкция камеры Вильсона [1] для проведения научных исследований и демонстрации треков различных заряженных частиц в образовательных целях. Данная камера способна визуализировать естественный радиационный фон и высокоэнергетические частицы космических лучей, а также излучение объектов (рис. 1), которые располагаются как внутри камеры, так и вне ее.

2. ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ

Установка собрана в корпусе системного блока персонального компьютера. В состав разработанной портативной конструкции камеры Вильсона (рис. 2) входят система охлаждения, блок питания, блок управления и защитный стеклянный куб. Регистрация треков, запись видео и его вывод на проектор для демонстрации широкой аудитории осуществляются веб-камерой Logitech c920 со штативом.

Охлаждаемая поверхность камеры Вильсона размерами $80 \times 80 \text{ мм}^2$ располагается на восьми элементах Пельтье с общей потребляемой мощностью 500 Вт, установленных через термопасту марки GD-900 на алюминиевом водяном блоке размерами $80 \times 80 \times 12 \text{ мм}^3$. Элементы Пельтье

ТЕС1-12706 и ТЕС1-12710 размещены в два слоя, по четыре в каждом слое. В нижнем слое располагаются более мощные элементы для охлаждения верхнего слоя элементов с пониженной мощностью. Водяной блок состоит из пластины с просверленными продольными каналами диаметром 8 мм и штуцерами для подключения к остальным компонентам системы водяного охлаждения. Циркуляция воды осуществляется насосом мощностью 3.6 Вт с максимальной производительностью 4 л/мин, расположенным в баке объемом 6 л. Из бака вода поступает в водяной блок, далее проходит через датчик расхода воды YF-S401 и возвращается обратно в бак. На входе и выходе из водяного блока расположены датчики температуры DS18B20. Для продления времени автономной работы в бак с водой добавляется заранее приготовленный лед. Для сброса излишков воды предусмотрен кран.

В данную конструкцию входит блок питания HP DPS-800GBA, обеспечивающий максимальный ток 65.8 А по линии 12 В, что достаточно для подключения элементов Пельтье, насоса системы охлаждения, источника высокого напряжения и светодиодов освещения рабочей камеры.

Блок управления камерой Вильсона разработан на базе микроконтроллера AT Mega328. К блоку управления подключены датчики расхода воды и температур охлаждаемой поверхности, внешней среды и воды на входе и выходе водяного блока. Регистрируемые датчиками значения параметров передаются на компьютер через USB-

¹ Дополнительные видеоматериалы к статье размещены на сайтах <https://link.springer.com/> (английская версия) и <https://elibrary.ru> (русская версия).

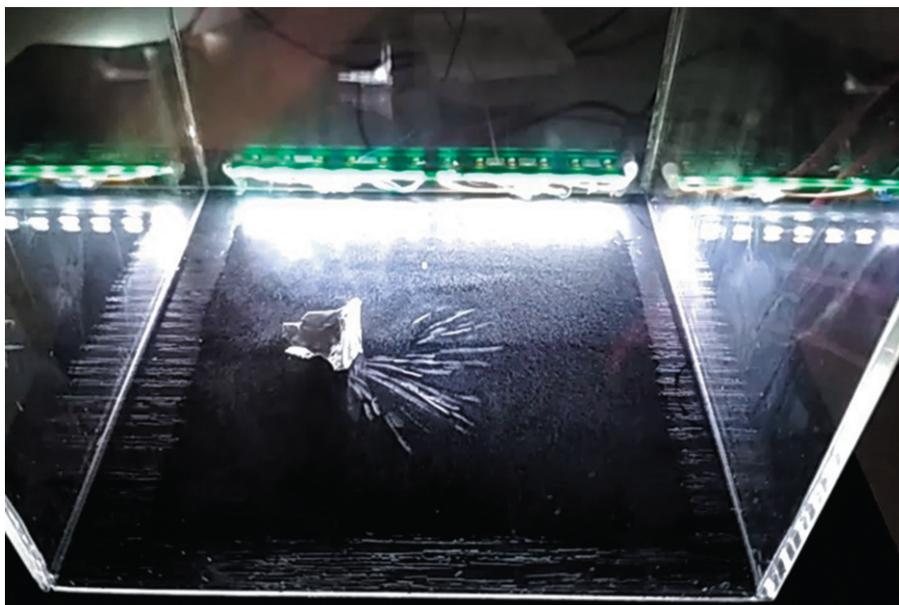


Рис. 1. Фотография камеры Вильсона в процессе функционирования.

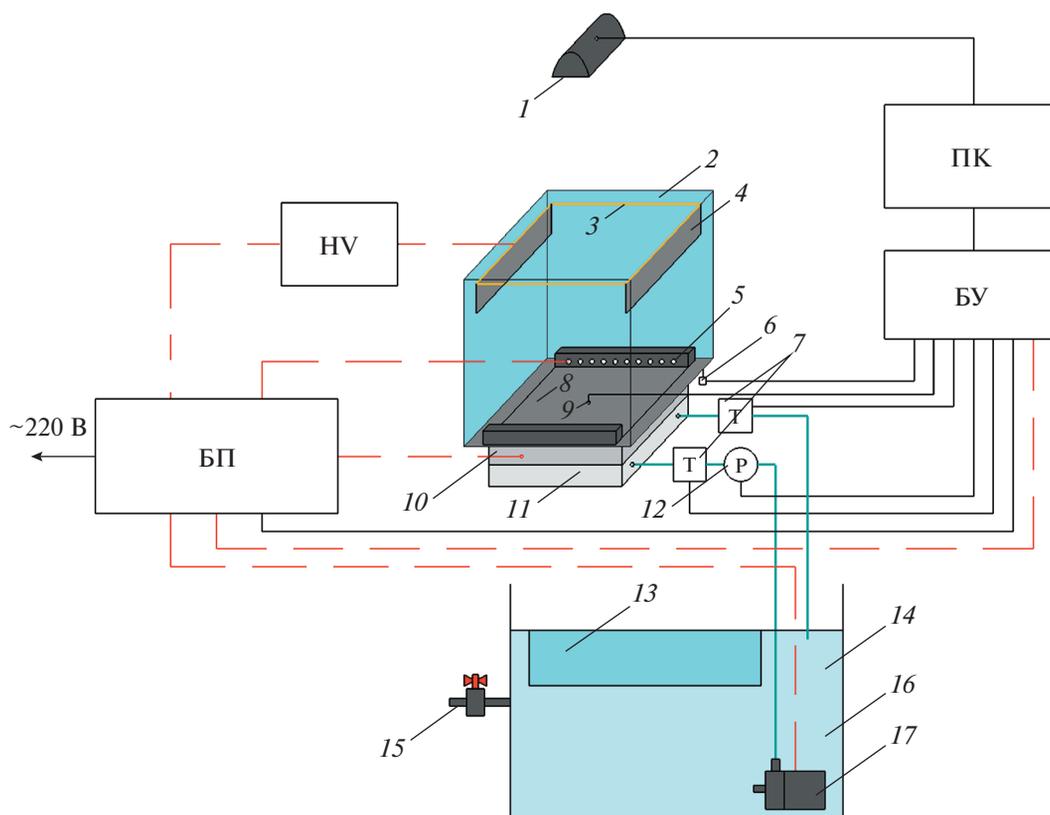


Рис. 2. Схема портативной камеры Вильсона: цепи электропитания – красные штриховые линии, сигнальные цепи – черные линии, трубки водяного охлаждения – зеленые линии, ПК – компьютер, HV – источник высокого напряжения, БУ – блок управления, БП – блок питания, 1 – веб-камера, 2 – стеклянный куб, 3 – рамка, 4 – испарители, 5 – подсветка, 6 – концевой выключатель, 7 – датчики температуры воды, 8 – охлаждаемая поверхность, 9 – датчик температуры охлаждаемой поверхности, 10 – элементы Пельтье, 11 – водяной блок, 12 – датчик расхода воды, 13 – лед, 14 – вода, 15 – кран, 16 – бак, 17 – насос.

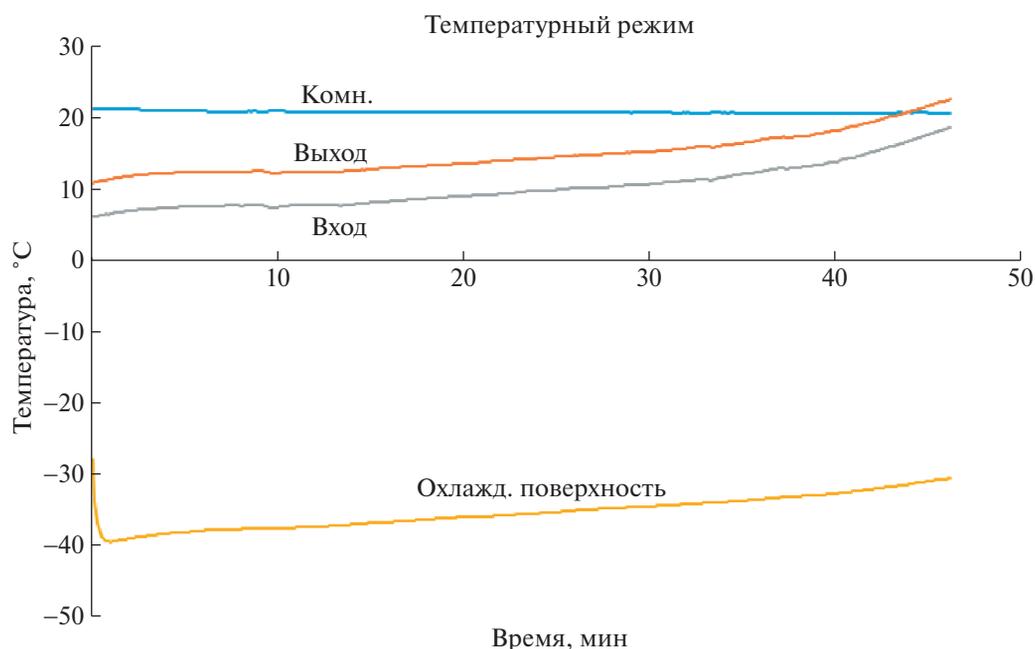


Рис. 3. Температурный режим системы охлаждения камеры Вильсона.

интерфейс для дальнейшей обработки и построения графиков. При выходе значений параметров за установленные границы рабочего режима функционирования установки питание автоматически отключается. При снятии защитного стеклянного куба происходит автоматическое отключение источника высокого напряжения, что обеспечивает безопасность эксплуатации установки.

Защитный стеклянный куб необходим для поддержания требуемых параметров среды над охлаждаемой поверхностью. Стеклянный куб представляет собой камеру размерами $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}^3$ без одной стороны с толщиной стенок 2 мм. Внутри куба располагаются испарители спирта в виде полосок хлопчатобумажной ткани, катод высокого напряжения для притягивания ионов, представляющий собой квадратную рамку из медной проволоки, расположенную в верхней части куба, и блок светодиодной подсветки.

Рабочим веществом данной конструкции камеры Вильсона являются охлажденные пары изопропилового спирта. Толщина конденсационного слоя паров спирта над охлаждаемой поверхностью составляет 8 мм при температуре поверхности -41°C . В данной области стабильно наблюдаются треки высокоэнергетических частиц. Градиент температуры по высоте (удалению от охлаждаемой поверхности) составляет примерно $1.5^\circ\text{C}/\text{мм}$. Высокое качество визуализации достигается соотношением параметров температуры и давления паров спирта в рабочем объеме камеры Вильсона. В данной конструкции камеры Вильсона отсут-

ствует управление давлением внутри рабочего объема, и оно незначительно отличается от атмосферного.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

При проведении испытаний портативной камеры Вильсона зафиксированы треки высокоэнергетических частиц космических лучей и естественного радиационного фона. Система охлаждения обеспечила автономную работу данной конструкции камеры Вильсона в течение 10 мин при начальной температуре воды 8°C и температуре окружающей среды 20°C . При загрузке 3 кг льда и 3 л воды время работы установки достигло 45 мин (рис. 3). Температура льда в момент загрузки составила -15°C . Время выхода на рабочий режим камеры Вильсона составило 2 мин. Под рабочим режимом подразумевается функционирование камеры с момента достижения минимальной температуры охлаждаемой поверхности камеры до момента окончания визуализации треков. Минимальная температура на охлаждаемой поверхности камеры Вильсона составила -39°C , она стабильно повышалась со скоростью $0.2^\circ\text{C}/\text{мин}$ до температуры -30°C . Разность температур воды между входом и выходом водяного блока составила 4.6°C . Разность температур воды в системе охлаждения и на охлаждаемой поверхности составила 48°C . Для регистрации треков на всем протяжении рабочего режима потребовалось не более 4 мл изопропилового спирта.



Рис. 4. Фотография портативной камеры Вильсона.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Портативная камера Вильсона (рис. 4) используется в качестве демонстрационного оборудования на лекционных занятиях при изучении раздела “Ядерная физика” и на различных мероприятиях вуза. Камеру планируется применить в качестве лабораторного оборудования, например, для определения параметров заряженных частиц (знак заряда частицы, заряд, энергия и масса частицы) по направлению и радиусу кривизны изгиба трека

частиц, пролетающих в магнитном поле, или для регистрации рентгеновского излучения [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Das Gupta N.N., Ghosh S.K.* // *Rev. Mod. Phys.* 1946. V. 18. P. 225.
<https://doi.org/10.1103/RevModPhys.18.225>
2. *Долгов А.Н., Клячин Н.А., Прохорович Д.Е.* // *ПТЭ.* 2019. № 2. С. 104.
<https://doi.org/10.1134/S003281621902006X>