

УДК 539.16:550.348.43

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ЗАЛЕ НА СКОРОСТЬ СЧЕТА ФОНОВЫХ СОБЫТИЙ ДЕТЕКТОРА LVD

© 2023 г. Н. Ю. Агафонова¹, В. В. Ашихмин¹, Е. А. Добрынина^{1, *}, Р. И. Еникеев¹,
Н. А. Филимонова^{1, 2}, И. Р. Шакирьянова¹, В. Ф. Якушев¹ от имени коллаборации LVD

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

“Институт ядерных исследований Российской академии наук”, Москва, Россия

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

“Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)”,

Долгопрудный, Россия

*E-mail: dobrynina@inr.ru

Поступила в редакцию 25.12.2022 г.

После доработки 12.02.2023 г.

Принята к публикации 29.03.2023 г.

В эксперименте LVD (Гран Сассо, Италия) изучаются вариации скорости счета фоновых импульсов детектора, вызванные инъекцией радона из грунта в экспериментальный зал. Мы представляем зависимости изменения атмосферного давления на поверхности и в экспериментальном зале установки, а также вариаций скорости счета событий LVD, связанных с изменением концентрации радона.

DOI: 10.31857/S0367676523701879, EDN: OTAUYU

ВВЕДЕНИЕ

В эксперименте LVD [1], расположенном в Лаборатории LNGS, Италия, помимо основной задачи — поиска нейтрино от всплеск Сверхновых в нашей Галактике [2, 3], проводится изучение вариаций темпа счета фоновых импульсов детектора, связанных с инъекцией радона от естественной радиоактивности грунта в экспериментальный зал [4]. Изменение темпа счета LVD по нижнему порогу связано с изменением концентрации радона вблизи установки [5]. Установка LVD регистрирует гамма-кванты от распадов дочерних ядер радона, период полураспада которого 3.8 дня. Гамма-излучение создается, в основном, ядрами ²¹⁴Pb (энергия гамма-квантов до 3 МэВ) [6, 7].

Настоящая работа посвящена изучению долговременного поведения радоновых полей и их связи с давлением и вентиляцией в подземном экспериментальном зале, а также связи с атмосферным давлением на поверхности.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ЗАЛ LVD

Национальная лаборатория LNGS INFN расположена в горном массиве Гран Сассо в Центральной Италии под толщей скальной породы около одного километра и примерно на такой же

высоте над уровнем моря. Экспериментальные подземные залы лаборатории располагаются поблизости, в 50–100 м, от двух параллельных транспортных туннелей (около 10 км каждый) для проезда из центральной части Италии. Подземный зал, где находится эксперимент LVD имеет объем 24000 м³. Ввоз-вывоз оборудования производится через двое ворот. При закрытых воротах и выключенной вентиляцией зал практически герметичен. Приток свежего воздуха обеспечивается приточной вентиляцией с мощностью 8000 м³/ч, так что в зале создается небольшое избыточное давление. Забор воздуха идет “из долины” и содержание радона в нем незначительно. Вентиляция, по требованиям техники безопасности, работает постоянно, она выключается регулярно для смены нагнетающих насосов или, в редких случаях, по технической необходимости. При выключенной вентиляции примерно через час начинается заметное нарастание концентрации радона. Температуру в зале можно считать постоянной на уровне $+(19 \pm 1)^\circ\text{C}$ [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для детального изучения поведения температуры, влажности и давления (T , H , P)_{hall} в экспериментальном зале в структуру установки LVD

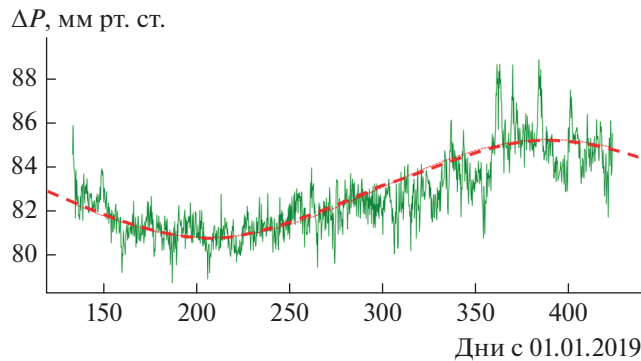


Рис. 1. Сезонный ход разницы атмосферного давления на поверхности и давления в зале LVD. Пунктирная линия — аппроксимация $f(t) = 2.2 \cdot \cos(2\pi(t - 390)/365) + 83$.

был помещен термогигрометр. Он работал с 15.05.19 по 03.03.20. После измерений параметров (T , H , P_{hall}) на разных уровнях установки [8] прибор располагался стационарно (в центре установки) в одном положении в течение нескольких месяцев. Среднее давление в зале детектора составило $\langle P_{hall} \rangle = 680 \pm 5$ мм рт. ст.

Был проведен сравнительный анализ хода атмосферного давления (P_{atm}) и давления (P_{hall}) в подземном экспериментальном зале. Давление P_{atm} взято из базы данных Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) в точке рядом с лабораторией (50 км от входа) на поверхности в пересчете к уровню моря [9].

Временные ряды P_{atm} и P_{hall} за период мая 2019 по апрель 2020 повторяют друг друга и имеют

очень сильную корреляцию ($r = 0.95$). Разница давлений практически постоянна $\langle P_{atm} - P_{hall} \rangle = 82.1 \pm 1.6$ мм рт. ст. Мы обнаружили, что разница давлений имеет сезонную вариацию, минимум которой приходится на конец июля, максимум — на конец января, и составляет порядка 2%. На рис.1 показан ход разницы давлений на поверхности и в зале: $\Delta P = P_{atm} - P_{hall}$. Такая же амплитуда и фаза вариаций получена для других трех ближайших ECMWF точек для разницы $P_{atm} - P_{hall}$.

Учитывая хорошую корреляцию между атмосферным давлением и давлением в экспериментальном зале, для долгосрочного анализа зависимости скорости счета фоновых событий LVD по нижнему порогу (CR_{LVD}) от давления было решено использовать базу данных Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды. Метод регистрации и отбора фоновых “радоновых” событий LVD подробно описан в [6, 7].

На рис. 2 показан ход величины атмосферного давления и ход величины скорости счета CR_{LVD} за период с 2016 по 2020 годы. На поведении кривых можно увидеть антикорреляцию, а в выделенном эллипсе сильную антикорреляцию. Эти зависимости имеют не сезонный характер. Мы предполагаем, что изменение величины атмосферного давления влияет на плавный тренд выхода радона и будем пытаться найти более четкие характеристики этой зависимости. В то же время резкие выбросы в данных LVD, связанные с аномальным поведением радоновых полей (заштрихованная область рис. 2), являются предметом дальнейших исследований.

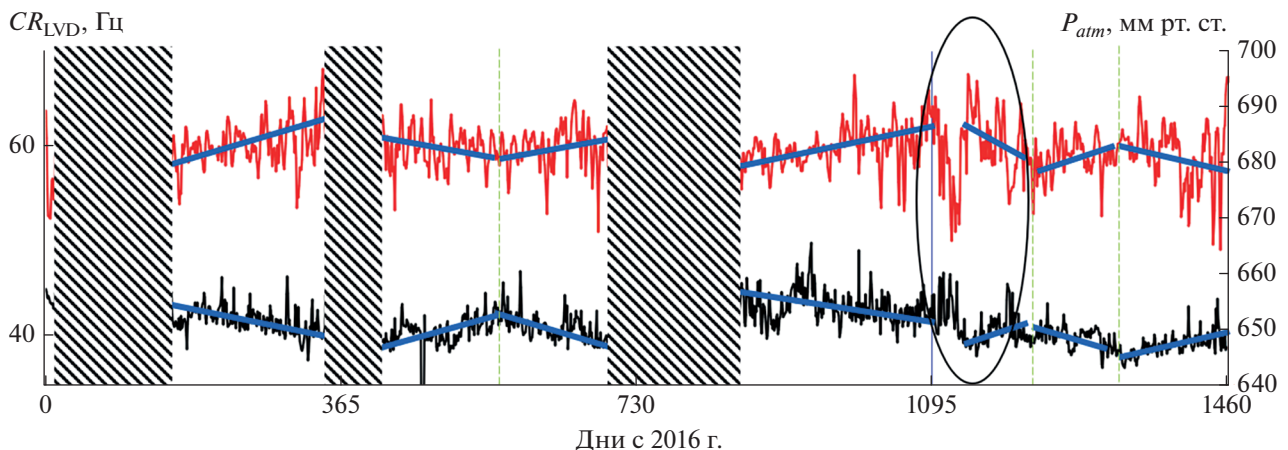


Рис. 2. Временные ряды атмосферного давления P_{atm} на поверхности (верхняя кривая, значения справа) и CR_{LVD} скорости счета LVD (нижняя кривая, значения слева) за 4 года наблюдений. Заштрихованные области — периоды аномальных выбросов в данных LVD, связанных, вероятно, с тектонической активностью в регионе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В подземной лаборатории LNGS проводятся эксперименты по поиску редких событий. Детектор LVD имеет уникальную конструкцию для изучения вариаций фоновых условий в подземном зале и событий, связанных с изменением концентрации радона под землей.

Сравнение величин атмосферного давления в подземном зале и давления на поверхности, измеренного с помощью термогигрометра в LVD, показали высокую корреляцию ($r = 0.95$).

Разница давлений $P_{atm} - P_{hall}$ имеет сезонный характер (минимум — в конце июля, максимум — в конце января) и составляет 2%. Возможно, эта вариация связана с вентиляцией подземного зала, режим которой может меняться из-за погодных условий, и нагрузкой на электросети.

С использованием данных за 4 года наблюдений получена антикорреляция между временными рядами фоновых событий LVD и атмосферного давления на поверхности. Наши результаты [8] говорят о том, что на меньших масштабах (порядка суток и недели) мы не обнаружили корреляции ($r_{\text{Пирсон}} < 0.2$) данных LVD (CR_{LVD}) с давлением (P_{atm}) и температурой. Наблюдаемые единичные случаи связи изменений P_{atm} и CR_{LVD} требуют дальнейшего изучения. Возможно, они обусловлены барометрическим пампинг-эффектом для подземных газов [10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aglietta M., Alyea E.D., Antonioli P. et al. (LVD Collaboration) // Nuovo Cimento. 1992. V. 105A. No. 12. P. 1793.
2. Агафонова Н.Ю., Бояркин В.В., Дадькин В.Л. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2009. Т. 73. № 5. С. 688; Agafonova N.Yu., Boyarkin V.V., Dadykin V.L. et al. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2009. V. 73. No. 5. P. 649.
3. Агафонова Н.Ю., Бояркин В.В., Дадькин В.Л. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2011. Т. 75. № 3. С. 445; Agafonova N.Yu., Boyarkin V.V., Dadykin V.L. et al. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2011. V. 75. No. 3. P. 416.
4. Агафонова Н.Ю., Ашихмин В.В., Добрынина Е.А. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2019. Т. 83. № 5. С. 673; Agafonova N.Yu., Ashikhmin V.V., Dobrynina E.A. et al. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2019. V. 83. No. 5. P. 614.
5. Bruno G. on behalf of the LVD Collaboration // J. Phys. Conf. Ser. 2010. V. 203. Art. No. 012091.
6. Агафонова Н.Ю., Алексеев В.А., Добрынина Е.А. и др. Препринт № 1071/2001 ИЯИ РАН, 2001.
7. Агафонова Н.Ю., Ашихмин В.В., Дадькин В.Л. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2017. Т. 81. № 4. С. 551; Agafonova N.Yu., Ashikhmin V.V., Dadykin V.L. et al. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2017. V. 81. No. 4. P. 512.
8. Агафонова Н.Ю., Ашихмин В.В., Добрынина Е.А. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2021. Т. 85. № 11. С. 1661; Agafonova N.Yu., Ashikhmin V.V., Dobrynina E.A. et al. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2021. V. 85. No. 11. P. 1320.
9. <https://cds.climate.copernicus.eu>.
10. Стенькин Ю.В., Алексеенко В.В., Громушкин Д.М. и др. // ЖЭТФ. 2017. Т. 151. № 5. С. 845; Stenkin Y.V., Alekseenko V.V., Shchegolev O.B. et al. // JETP. 2017. V. 124. No. 5. P. 718.

Effect of pressure and ventilation in the experimental hall on the background events count rate of the LVD detector

N. Yu. Agafonova^a, V. V. Ashikhmin^a, E. A. Dobrynina^{a, *}, R. I. Enikeev^a, N. A. Filimonova^{a, b}, I. R. Shakiryanova^a, V. F. Yakushev^a on behalf of the LVD collaboration

^a Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 117312 Russia

^b Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University), Dolgoprudny, 141701 Russia

*e-mail: dobrynina@inr.ru

In the LVD experiment (Gran Sasso, Italy), variations in the counting rate of detector background pulses associated with the injection of radon from the rock into the experimental hall are studied. We present dependences of changes in atmospheric pressure on the surface and in the experimental hall of the setup, as well as variations in the counting rate of LVD events associated with changes in radon concentration.