

УДК 551.51

## РОЖДАЮТСЯ ЛИ РЕЛЯТИВИСТСКИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ В МОЛНИЕВЫХ РАЗРЯДАХ?

© 2017 г. А. Чилингарян

*Национальная лаборатория имени А. Алиханяна (Ереванский физический институт), Армения  
E-mail: chili@aragats.am*

В течение летней кампании 2016 года на Арагаце мониторировались сигналы от атмосферных разрядов и спектрометров на основе кристалла NaI и счетчиков нейтронного монитора. Сигналы с детекторов частиц были синхронизированы с грозowymi явлениями с точностью не хуже десяти наносекунд. Все сигналы с детекторов частиц были идентифицированы как электромагнитные помехи (EMI), а не сигналы от заряженных или нейтральных элементарных частиц. Таким образом, мы приходим к выводу, что релятивистские элементарные частицы не рождаются во время молниевых разрядов.

DOI: 10.7868/S0367676517020144

### ВВЕДЕНИЕ

Многочисленные наблюдения наземных грозвых превышений (TGE, [1, 2]), т.е. связанных с грозовой активностью потоков электронов, гамма-лучей и нейтронов, регистрируемых детекторами частиц, расположенных на поверхности Земли ставят проблему их происхождения. В соответствии с моделью TGE [3] электрическое поле нижнего диполя в грозвом облаке эффективно передает энергию вторичным электронам космических лучей. При достаточно сильном электрическом поле электроны “убегают” [4], создают лавины и генерируют гамма-лучи; гамма-лучи в фото-ядерных реакциях рожают нейтроны [5]. Интенсивные TGE длятся минуты и происходят во время больших отрицательных значений приземного электростатического поля. Амплитуда TGE пропорциональна абсолютному значению напряженности электрического поля. Для регистрации высокоэнергичных TGE облака должны быть не более чем на несколько сотен метров выше детекторов частиц. При околосемных температурах вблизи порога замерзания и высоких значениях влажности возможны крупные TGE. Многолетние наблюдения на Арагаце показывают, что во время больших TGE молниевая активность подавляется; молнии резко прерывают потоки частиц, а не создают их [6].

Тем не менее есть и другая точка зрения на “грозвое” происхождения частиц, связанная с гипотетической реакцией ядерного синтеза в теле молнии. В [7, 8] утверждается, что потоки нейтронов, зарегистрированных на Тянь-Шаньской станции космических лучей связаны с атмосферными разрядами. В лаборатории ФИАН при разрядах в

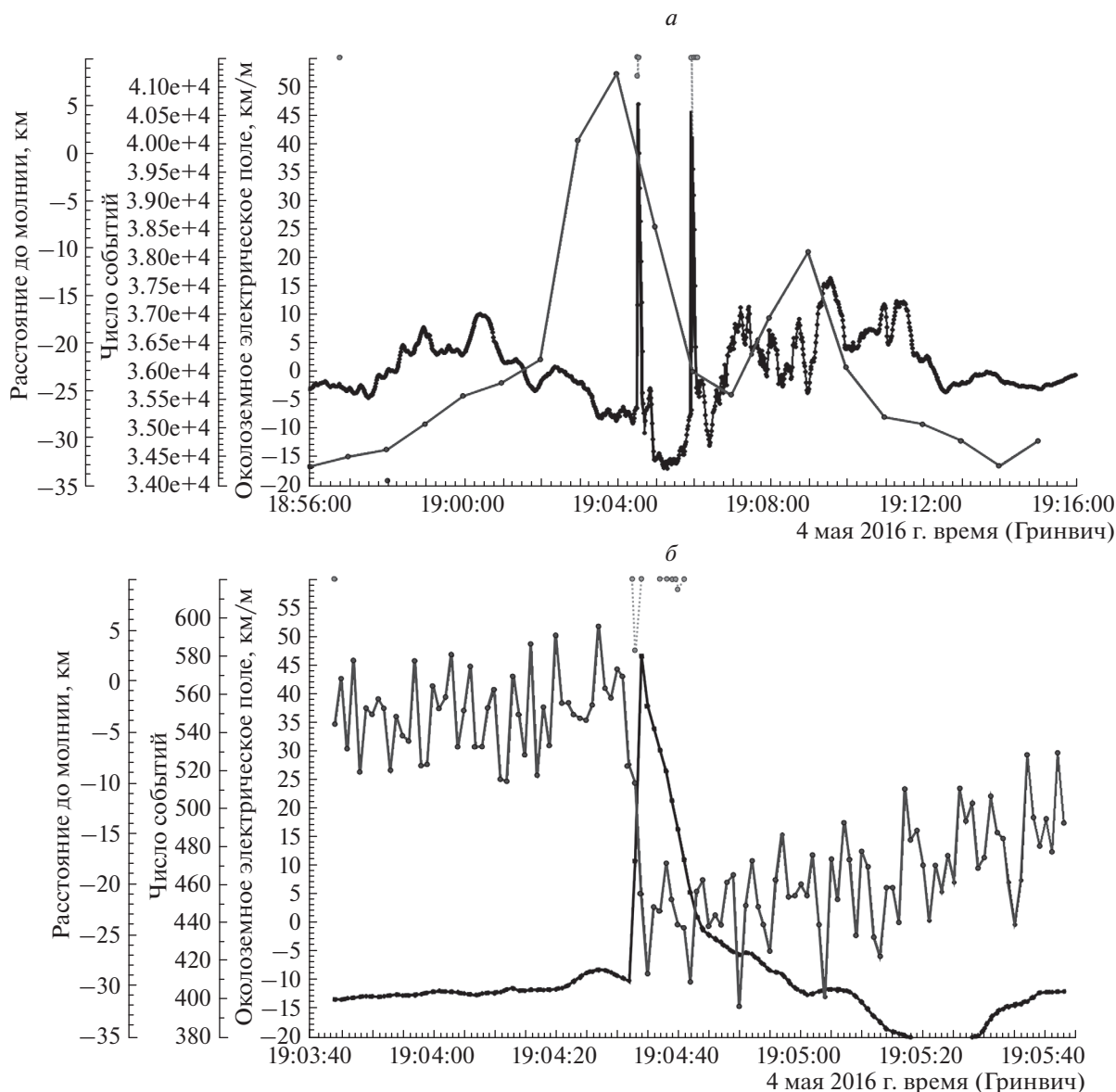
1-метровом зазоре (напряжение 1 млн вольт) наблюдались потоки нейтронов с энергиями, превышающими 10 МэВ [9, 10].

Интенсивный поток гамма-лучей, “рожденных молнией,” наблюдали в Международном центре исследования молний в Северной Центральной Флориде [11]. Гамма-всплеск, произошедший 15 августа 2014 г., был настолько велик, что в течение 50 мкс электроника была полностью насыщена. Авторы утверждают, что основным фактором, который вызвал этот интенсивный поток гамма-лучей, был положительный лидер молнии, движущийся вверх к основному отрицательно заряженному слою.

Для исследования вопроса о происхождении атмосферных грозвых частиц мы провели эксперименты с регистрацией формы импульса с детекторов частиц и одновременно – от атмосферных разрядов. Прямые сравнения синхронизированных импульсов от грозвых разрядов и от детекторов частиц позволяют ответить на вопрос о “грозвой” природе атмосферной радиации.

### ИЗМЕРЕНИЯ “ГРОЗОВЫХ” ЧАСТИЦ НА АРАГАЦЕ

4 мая 2016 года возмущения приземного электростатического поля начались в 18:45 Гринвичского времени (см. рис. 1а). Атмосферное давление составляло 686.4 мбар; относительная влажность воздуха – 97%, скорость ветра 8.5 м/с в направлении  $\sim 200^\circ$  N, температура  $-0.6^\circ\text{C}$ ; без осадков. Характерная форма возмущений электростатического поля: (нахождение электростатического поля в отрицательной области в тече-



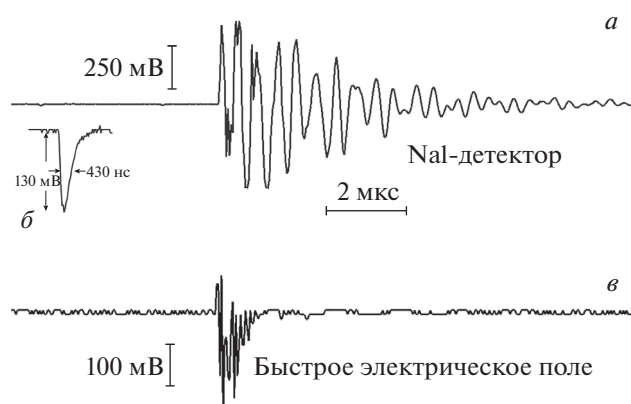
**Рис. 1.** *a* – возмущения приземного электростатического поля (жирные кривые); расстояние до молнии и 1-минутная скорость счета верхнего сцинтиллятора детектора STAND; пороговая энергия ~1 МэВ; *б* – то же, что на рис. *a*, только 1-минутные временные ряды заменены на одно-секундные того же детектора.

ние нескольких минут сопровождается несколькими короткими “всплесками,” доходящими до положительных значений и одной–двумя отрицательными молниями с большими амплитудами (см. рис. 1) – указывает на образование нижней положительно заряженной области (LPCR, [12]) прямо над детекторами частиц в грозовом облаке. Перечисленные атмосферные параметры приводят к грозовому превышению потоков частиц с двумя пиками.

TGE показан на рис. 1*a* в минутных временных рядах скорости счета пластикового сцинтиллятора толщиной 1 см и площадью 1 м<sup>2</sup> (верхний

сцинтиллятор детектора STAND, состоящего из трех помещенных друг над другом однотипных сцинтилляторов). Увеличение скорости счета для первого и второго пиков TGE было 21% (42σ) и 11.7% (23.7σ) соответственно (в процентах от средней скорости счета и в числе стандартных отклонений). Сильные молнии, произошедшие в 19:04:34 и 19:05:57 (см рис. 1*a*) 2 раза прерывали TGE. Отрицательная молния переносит отрицательный заряд на землю и создает положительное изменение электростатического поля, как показано на рис. 1.

При молнии электростатическое поле вырастает за несколько сотен миллисекунд и восста-



**Рис. 2.** Регистрация высокочастотных импульсов после молнии 15 мая 2016 года, 12:48:25. Спектрограммы выхода детектора NaI: *a* – быстрое электрическое поле; *b* – типичная форма отклика спектрометра NaI на прошедшую частицу (однополярный импульс); *в* – двухполярные импульсы, электромагнитная помеха.

навливается в течение нескольких секунд. “Механизм разделения зарядов” в грозовом облаке продолжал работу, и поток частиц снова повышался до генерации второго пика TGE. Внезапное прекращение потока частиц, вызванное первой молнией (расстояние до молнии 2.7 км) показано на рис. 1б с помощью секундных временных рядов того же верхнего сцинтиллятора детектора STAND. Скорость счета сцинтиллятора уменьшается от 569 в 19:04:33 до 483 (15%) и до 446 (22%) в 19:04:34 и 19:04:35 соответственно.

События TGE с лета 2016 г. регистрируются на Арагаце с высоким временным разрешением. Мы приводим основные этапы развития молнии и потоков частиц с миллисекундным разрешением; импульсы от отдельных частиц и атмосферных разрядов приводятся на наносекундной временной шкале. В 19:04:33.592 сигнал от датчика регистрации молнии (коммерческая MFJ-1022 активная штыревая антенна) запустил цифровой осциллограф (PicoScope 5244B с частотой дискретизации 25 миллионов выборок в секунду), который записывает быстрые волновые формы электрических сигналов. Блок myRIO фирмы National Instruments обеспечивает абсолютную временную синхронизацию измеряемых сигналов [13]. Отрицательная молния была также зафиксирована всемирной сетью локаций молний (WWLLN) в 19: 04:33.646; поверхностное электростатическое поле начало расти в 19:04:33.650 от  $-4.5 \text{ кВ} \cdot \text{м}^{-1}$  и достигло  $65.5 \text{ кВ} \cdot \text{м}^{-1}$  в 19:04:33.750 (амплитуда –  $70 \text{ кВ} \cdot \text{м}^{-1}$ ). Поток частиц начал снижаться в 19:04:33.615.

Во время этого события некоторые из детекторов частиц показали большие пики в пределах 50 мс от времени регистрации удара молнии сетью WWLLN. Вероятно, эти пики не были обу-

словлены частицами, рожденными в молнии, потому что аналогичные расположенные рядом счетчики частиц не демонстрировали превышения счета. Скорее всего, это были электромагнитные помехи (EMI, наводки), вызванные очень сильным широкополосным радиоизлучением близкой молнии. Для того чтобы проверить, является ли сигнал от детектора частиц помехой, мы подключили выход детектора частиц на второй канал высокочастотного осциллографа. Таким образом, наряду со спектрограммами атмосферных разрядов мы синхронно измеряем сигнал от детектора частиц. На рис. 2 показана одновременная регистрация быстрых электрических форм от круглой плоской антенны диаметром 52 см и от NaI-спектрометра. Из рис. 2 видно, что биполярные импульсы, зарегистрированные детектором NaI, вызваны сильным атмосферным разрядом, а не потоком частиц. Сигналы от заряженных или нейтральных частиц, регистрируемых NaI-спектрометрами, пропорциональными счетчиками нейтронного монитора, или пластиковыми сцинтилляторами всегда однополярные (см рис. 2б). После мониторинга в 2016 г. многочисленных летних штормов мы не наблюдали ни одной частицы в любом из тестируемых детекторов в корреляции с атмосферными разрядами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ форм импульсов от грозовых разрядов и частиц показал, что все дополнительные импульсы, зарегистрированные детекторами во время грозы, были наводками, а не частицами, рожденными в атмосферном разряде. Таким образом, мы не наблюдаем никаких свидетельств рождения нейтронов или гамма-лучей во время разряда молнии. Мы подтверждаем вывод работы [14], что только после дискриминации по форме импульса можно рассматривать данные по регистрации частиц во время гроз на предмет возможного рождения нейтронов и гамма-квантов одновременно с молниевым разрядом.

Мы согласны также с утверждением: “измерения, основанные исключительно на регистрации сигналов выше некоторого порога дискриминатора, следует рассматривать с осторожностью, так как неочевидно, что зарегистрированы высокоэнергичные гамма-кванты, а не радиочастотные помехи от молнии. Флуктуации коэффициента усиления из-за изменения напряжения в электронике также могут быть проблемой в случае близкой молнии” [15].

Наводки от близкой молнии могут быть настолько сильными, что экранирование не сможет предотвратить регистрацию ложного сигнала. Помеха может длиться сотни микросекунд, и почти невозможно выделить сигналы от частиц (ес-

ли таковые и имеются) от паразитных импульсов атмосферных разрядов.

Молнии прерывают потоки частиц, а не рожают их!

Автор благодарит коллектив высокогорной станции космических лучей Арагац за бесперебойное функционирование экспериментальных установок. Экспериментальные данные используемые в статье доступны на интернет-странице отдела космических лучей Ереванского физического института, <http://adei.crd.yerphi.am/adei>.

Автор благодарит С. Согомояна, Д. Похсра-ряна и Е. Ханикянца за обеспечение высокочастотных измерений грозовых явлений и Ю. Стенькина за полезные обсуждения и ценные замечания. Экспедиция на Арагац была поддержана правительством Армении, грант N13-1C275.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Chilingarian A., Daryan A., Arakelyan K. et al.* // Phys. Rev. D. 2010. V. 82(4). 043009.
2. *Chilingarian A., Hovsepyan G., Hovhannisyan A.* // Phys. Rev. D. 2011. V. 83(6). 062001.
3. *Chilingarian A.* // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2014. V. 107. P. 68.
4. *Gurevich A.V., Milikh G.M., Roussel-Dupre R.A.* // Phys. Lett. 1992. V. A165(5–6). P. 463.
5. *Chilingarian A., Bostanjyan N., Karapetyan T., Vanyan L.* // Phys. Rev. D. 2012. V. 86. 093017.
6. *Chilingarian A., Hovsepyan G., Khanikyanc G. et al.* // EPL. 2015. V. 110. P. 49001.
7. *Gurevich A.V., Antonova V.P., Chubenko A.P. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2012. V. 108. P. 125001.
8. *Gurevich A.V., Antonova V.P., Chubenko et al.* // Atmos. Res. 2015. V. 164. P. 339.
9. *Agafonov A.V., Bagulya A.V., Dalkarov O.D. et al.* // PRL. 2013. V. 111. P. 115003.
10. *Agafonov A.V., Bogachenkov V.A., Chubenko A.P. et al.* // 2016, e-Print: arXiv:1604.07784 [physics.plasm-ph].
11. *Hare B.M., Uman M.A., Dwyer J.R. et al.* // J. Geophys. Res. Atmos. 2016. V. 121. P. 6511.
12. *Chilingarian A., Mkrtychyan H.* // Phys. Rev. D: Part. Fields 2012. V. 86. P. 072003.
13. *Pokhsranyan D.* // 2016. Proc. TEPA workshop, Nor Amberd, Tigran Metz.
14. *Alekseenko V., Arneodo F., Bruno G. et al.* // PRL. 2015. V. 114. P. 125003.
15. *Dwyer J.R., Smith D.M., Cummer S.A.* // Space Sci. Rev. 2012. V. 173. P. 133.