

УДК 524.352

ГАЛИЛЕЙ ПРОТИВ АРИСТОТЕЛЯ: СЛУЧАЙ СВЕРХНОВОЙ 1987A<sup>1</sup>© 2017 П. Галеотти<sup>1</sup>, Дж. Пиццелла<sup>2\*</sup><sup>1</sup>INFN и OATO-INAФ, Турин, I-10133 Италия<sup>2</sup>Национальный институт ядерной физики, Национальная лаборатория Фраскати, Рим, I-00044 Италия

Поступила в редакцию 11 мая 2017 года; принята в печать 21 июня 2017 года

Согласно большинству современных теорий сверхновых, это явление длится несколько секунд и заканчивается большим взрывом звезды. Однако этими теориями не принимаются в расчёт некоторые экспериментальные результаты, которые были получены на детекторах нейтрино и гравитационных волн во время взрыва SN 1987A — единственной сверхновой, наблюдаемой в близкой галактике в современную эпоху. Согласно этим результатам, данный феномен гораздо сложнее, чем представляется в современных теориях, и длится несколько часов. Действительно, SN 1987A взорвалась 23 февраля 1987 года, и в те же сутки были зарегистрированы две нейтринные вспышки с интервалом в 4.7 часа: первая в 2<sup>h</sup> 52<sup>m</sup> UT, вторая в 7<sup>h</sup> 35<sup>m</sup> UT. Более того, корреляции между нейтринным и двумя гравитационными детекторами, проигнорированные большей частью научного сообщества, наблюдались во время более длительного времени коллапса. Так как современные *стандартные* теории, основанные на нескольких грубых упрощениях, являются явным примером аристотелевского подхода, все ещё присутствующего в наши дни, мы считаем, что необходим более галилеевский подход, будучи единственно верным путём прогресса науки.

Ключевые слова: *сверхновые: индивидуальные: 1987A — нейтрино — гравитационные волны*

## 1. ВВЕДЕНИЕ

21 августа 1609 года Галилео Галилей показал людям в Венеции чудеса своего нового телескопа: корабли в море, которые было сложно увидеть невооружённым глазом, кратеры Луны, спутники Юпитера, тёмные пятна на Солнце.

Спустя несколько месяцев он поехал во Флоренцию, чтобы показать великому герцогу Козимо Медичи четыре спутника Юпитера, которые он назвал светилами Медичи. Его не беспокоило отсутствие некоторых университетских профессоров, которые, хотя и были приглашены, предпочли не приходить на мероприятие: не по причине зависти, а из-за того, что они оставались верны аристотелевскому видению Вселенной и не замечали ничего, что могло бы изменить их собственные прогрессивные мнения.

Даже разумным людям было сложно убедить себя в том, что то, что они видят в телескоп, реально, особенно те объекты, которые невозможно потрогать руками, такие, как небесные тела. Похоже, что человеческая природа создана таким

образом, чтобы не принимать что-либо новое, если оно уводит с уже протоптанной тропы, и это свойство человеческой природы не менялось веками.

В данной работе мы хотим привести доводы того, что многие учёные в попытке объяснить, что произошло с SN 1987A, следуют в некотором смысле аристотелевской точке зрения, игнорируя или пытаясь игнорировать факты, основанные на наблюдениях.

Взрыв сверхновой SN 1987A был уникальным событием для нашего времени, поскольку современные инструменты для изменения вызванных им феноменов уже были доступны. Напомним, что первое событие вспышки нейтрино было зарегистрировано в реальном времени 23 февраля 1987 года, в 2<sup>h</sup> 52<sup>m</sup> UT на очень глубоком подземном жидком сцинтилляционном детекторе нейтрино (LSD — Liquid Scintillation Detector), в лаборатории внутри горы Монблан. Новость об этом событии была распространена в циркуляр МАС № 4323 от 28 февраля 1987 года сразу после того, как стала доступна визуальная информация о сверхновой, и вскоре, 2 марта, обсуждалась на конференции Rencontres de Physique de la Valle d'Aoste.

Несколько дней спустя было объявлено, что вспышки нейтрино также наблюдались в то же время на детекторах Kamiokande (KND) и IMB, и —

<sup>1</sup>Данная работа была представлена на международной конференции «SN 1987A, Quark Phase Transition in Compact Objects and Multimessenger Astronomy» в Баксанской нейтринной обсерватории 2-8 июля 2017

\*E-mail: Guido.Pizzella@lnf.infn.it

спустя короткое время — в Баксанской обсерватории. Тем не менее, некоторые важные экспериментальные данные были и остаются игнорируемыми многими учёными, которые разрабатывали модели вспышки сверхновой. Далее мы обращаем внимание читателя на три таких наблюдения, которые не были учтены надлежащим образом, при том, что они состоят в числе наиболее важных:

- а) длительная нейтринная вспышка, зарегистрированная Kamiokande;
- б) совпадения времени регистрации событий на детекторах LSD и Baksan;
- в) корреляция между детекторами нейтрино и гравитационных волн.

## 2. ДВЕ НЕЙТРИННЫЕ ВСПЫШКИ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫЕ НА КАМИОКАНДЕ

От коллаборации Kamiokande мы получили список зарегистрированных событий, указывающий для каждого события время и  $N_{hit}$ , где  $N_{hit}$  — число фото-умножителей, сработавших во время каждого события. Например, событие с энергией 10 MeV даёт  $N_{hit} = 26$ , а событие с энергией 30 MeV даёт  $N_{hit} = 73$ ; на детекторе (KND) был установлен порог на  $N_{hit} = 20$ , что примерно соответствует энергии 7.5 MeV. В сумме список содержит 1937 событий с энергиями выше  $N_{hit} = 20$ , зарегистрированных в течении полного дня (23 февраля), что даёт частоту импульсов примерно 0.024 событий в секунду.

Хорошо известно, что на KND наблюдалась вспышка из одиннадцати нейтринных событий в 7<sup>h</sup> 35<sup>m</sup> UT длительностью в 12.4 секунды, с очень низким имитационным сигналом от фона, которая совпала, даже с учетом плохой привязки по времени, со вспышкой из восьми нейтринных событий, зарегистрированной детектором IMB [1, 2]. Тщательный поиск вспышек [3], однако, показывает ещё одну совокупность из семи пульсаций на KND примерно через 20 минут после первой, начиная с 7<sup>h</sup> 54<sup>m</sup>, длительностью в 6.2 секунд с энергиями  $22 < N_{hit} < 33$  и имитационным фоновым сигналом в одно событие на каждые 669 лет. Можно найти намёк на эту вторую группу сигналов на рис. 4 в [2], однако, данные недостаточно детальны, чтобы обнаружить, что совокупность состоит из семи импульсов, сильно превышающих уровень фона, с длительностью всего шесть секунд, как показано в таблице 1. Мы полагаем, что этот второй сигнал, показанный на рис. 1, остался незамеченным командой KND.

Так как детектор IMB имеет энергетический порог выше 20 MeV, он зарегистрировал группу

**Таблица 1.** Вермя UT и  $N_{hit}$  семи импульсов второй нейтринной вспышки, зарегистрированной на KND. Эта группа имеет длительность 6.2 секунд и один фоновый имитационный сигнал в 669 лет

Час	мин	сек	$N_{hit}$
7	54	22.26	33
7	54	24.11	29
7	54	25.33	28
7	54	25.34	27
7	54	27.13	22
7	54	28.37	22
7	54	28.46	22

импульсов одновременно с первой группой, зарегистрированной KND в 7<sup>h</sup> 35<sup>m</sup> UT, которая была вызвана несколькими импульсами высоких энергий, однако у него не хватило чувствительности для регистрации второй группы импульсов, детектированной на KND в 7<sup>h</sup> 54<sup>m</sup> и состоящей из сигналов с энергией порядка или менее 15 MeV.

## 3. СОВПАДЕНИЯ МЕЖДУ БАКСАНСКИМ НЕЙТРИННЫМ ДЕТЕКТОРОМ И LSD

Среди всех нейтринных детекторов, LSD и Баксанский подземный скинтилляционный телескоп (в дальнейшем БПСТ) имеют очень похожие характеристики. Данные, зарегистрированные на этих двух детекторах, показывают необычайную корреляцию [4–6] во время вспышки LSD.

Начнём с замечания о том, что баксанские моменты времени событий, записанные на магнитных лентах, имеют ошибку +2 с, –54 с по отношению к UT. Вспомним также, что БПСТ зарегистрировал вспышку нейтрино, первая из которых записана в 7<sup>h</sup> 36<sup>m</sup> 1<sup>s</sup>.8. Сравнив это время со временем регистрации вспышки на IMB, найдем, что зарегистрированное время БПСТ нужно скорректировать на –30.4 с.

На рис. 2 показано число совпадений между LSD и БПСТ на интервале в один час в зависимости от времени коррекции  $t_c$  для трёх значений окна совпадений  $\delta t = \pm 0.5, 1.5, 2.5$  с.

Заметим поразительный избыток совпадений <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Проф. А. Е. Чудаков был очень удивлён этим неожиданным результатом и решил проанализировать данные LSD и BST лично. Результаты его независимого анализа подтверждают тот же избыток совпадений по времени Монблан [6]. Чудаков даже написал письмо Ф. Рейнзу [7] с просьбой обсудить этот «безумный» факт совпадений событий между LSD и Баксанским детектором.

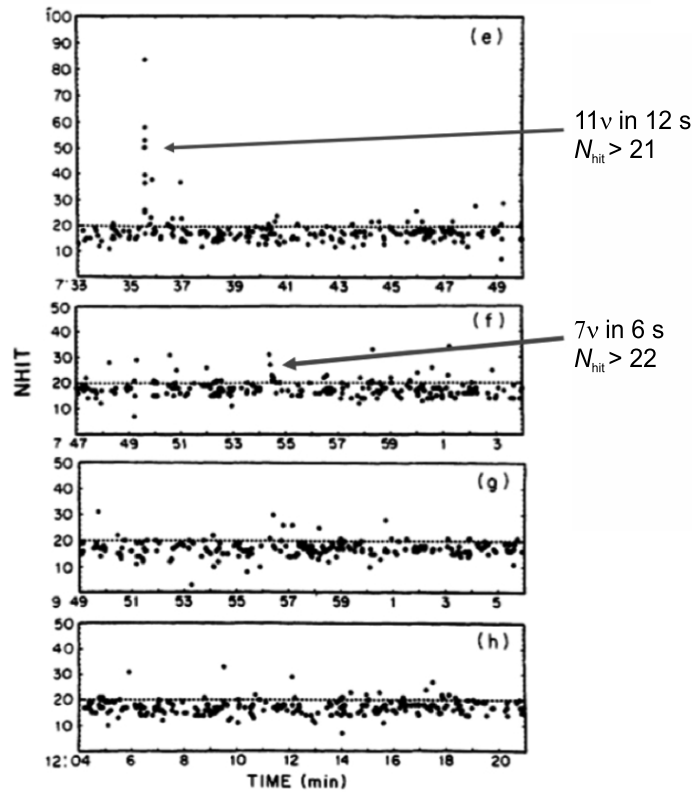


Рис. 1. Зависимость распределения  $N_{hit}$  от времени из рис. 4 работы [2]. Второй сигнал еле виден, но становится хорошо заметным если обработать данные.

Таблица 2. Вероятность  $p$  получить  $n_c$  случайных совпадений для трёх окон совпадений

$\delta t$	$\bar{n}$	$n_c$	$p$
0.5	1.52	8	$4.4 \times 10^{-3}$
1.5	4.56	17	$7.6 \times 10^{-5}$
2.5	7.6	21	$1.4 \times 10^{-4}$

для  $t_c$  в интервале, который согласуется со вспышкой IMB в  $7^h 35^m 41^s.4$ .

Для вычисления вероятности того, что наблюдаемый избыток совпадений был получен случайно, оценим фон с помощью хорошо известной формулы

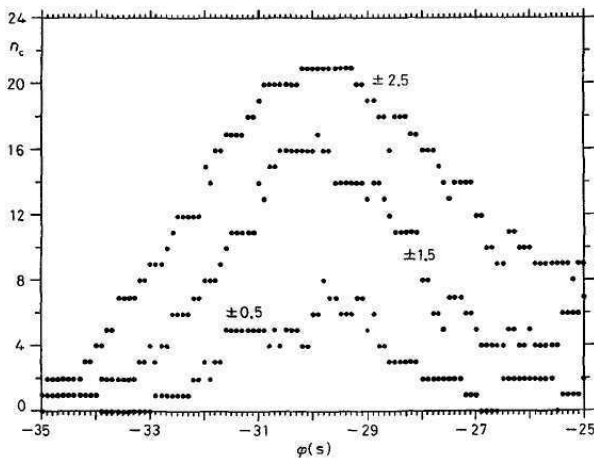
$$n_{bk} = \frac{N_1 N_2 \delta t}{\text{one hour}},$$

где  $N_1$  и  $N_2$  показывают нейтринные события на LSD и БПСТ на интервале в один час.

#### 4. КОРРЕЛЯЦИЯ МЕЖДУ ДЕТЕКТОРАМИ НЕЙТРИНО И ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

Детекторы гравитационных волн (ГВ) в Риме и в Мэриленде зарегистрировали несколько сигналов, совпадающих по времени между собой и со временем обсерватории LSD в течении длительного периода времени, включающего в себя время события на LSD:  $2^h 52^m$  UT. Сигналы ГВ опережали сигналы LSD на 1.1–1.2 с с абсолютной систематической ошибкой привязки времени порядка 0.5 с [8–10]. Величина оценки вероятности того, что такая корреляция случайна, очень мала, порядка  $10^{-6}$  [11]. Краткая сводка корреляций между нейтринными и гравитационно-волновыми детекторами приводится, например, в [12].

Данное наблюдение было неожиданным, так как чувствительность детекторов представлялась слишком малой для регистрации гравитационных волн, предположительно рождённых данной внегалактической сверхновой. Действительно, классическое сечение взаимодействия гравитационных



**Рис. 2.** Совпадения LSD–БПСТ для различных окон совпадений  $\delta t = \pm 0.5, 1.5, 2.5$  с в зависимости от коррекции времени БПСТ. Интервал в один час, с  $2^h$  до  $3^h$ . Рисунок 11 из [12].

волн с веществом сильно меньше того, при котором детектирование ГВ было бы возможным [13–15].

Изучение корреляций производилось с помощью алгоритма<sup>2</sup>, называющегося *методом суммарного возбуждения* и детально описанного в [11, 16], основанного на идее использования *всех доступных данных* с подземных детекторов, а не только тех, которые считаются следствием нейтринных событий.

В используемом алгоритме вначале рассчитывается величина

$$E_{RM}(t) = E_R(t) + E_M(t),$$

где  $E_R$  и  $E_M$  — измеренные энергии (называемые также энергетическими вкладами, измеряются в Кельвинах) *событий*, зарегистрированных на Римском (RO) и Мэрилендском (MA) детекторах в одно и то же время  $t$ , 3600 значений  $E_{RM}(t)$  в час.

Далее считается сумма  $E(t) = \sum_i E_{RM}(t_i)$ , где  $t_i$  — время события  $i$  на нейтринном детекторе LSD. Суммирование производится по заданному интервалу времени (например, один час), во время которого на нейтринном детекторе происходят  $N_\nu$  событий (большинство из них, конечно, обусловлено фоном).

Фон в данном алгоритме рассчитывается по формуле  $E(t_1, t_2) = \sum_j (E_R(t_{1j}) + E_M(t_{2j}))$  для  $2N_\nu$  на временах  $t_{1j}$  и  $t_{2j}$ , выбранных случайным образом внутри интервала. В течение часа можно получить гораздо больше независимых значений  $E(t_1, t_2)$  чем  $3600 \times 3600$ .

Анализ состоял из сравнения значения  $E(t)$  с очень большим числом фоновых значений, определённых с учетом независимых сигналов RO и MA, регистрируемых в моменты времени, не связанные с нейтринными событиями. В отсутствие какого-либо реального сигнала ожидаемое значение  $E(t)$  будет лишь одним из многих фоновых значений  $E(t_1, t_2)$  и в среднем половина фоновых значений будет больше  $E(t)$ , половина меньше.

Мы применили этот алгоритм к данным RO, MA и LSD. Полученный результат показан на рис. 3а, где мы сравниваем наши *сигналы*  $E(t)$  с одним миллионом рассчитанных значений фона. Алгоритм применён к набору периодов длительностью в один час с шагом в 0.1 часа<sup>3</sup>.

В случае получения неожиданного экспериментального результата, такого, как на рис. 3а, обычно эксперимент требуется повторить с другими данными, но в нашем случае вспышка сверхновой произошла лишь однажды. Однако у нас есть другие независимые данные, а именно те, что были получены в эксперименте KND. Поэтому, в ожидании следующей галактической сверхновой, мы попросили проф. Масатоши Кошиба предоставить данные KND для нового анализа.

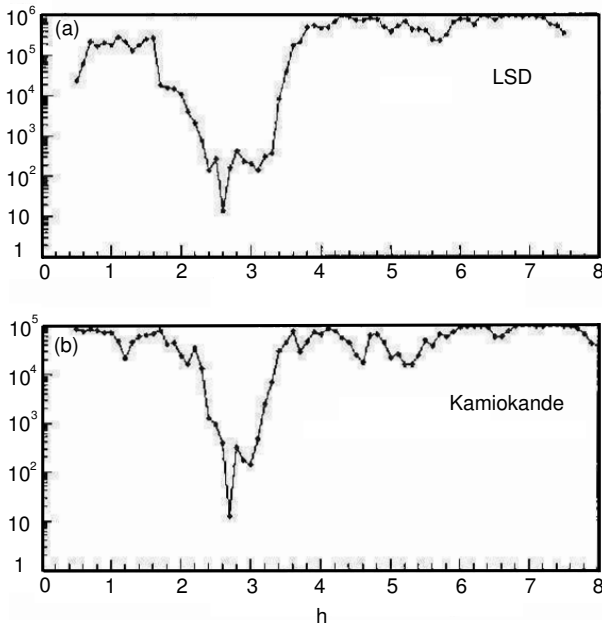
Кошиба был рад сотрудничеству и сразу же предоставил данные, которые мы получили 27 января 1988 года. Мы повторили анализ, применяя ту же процедуру, что и для данных Монблан и, что поразительно, нашли такую же корреляцию в то же время (см. рис. 3б).

Наконец, чтобы оценить общую вероятность случайности результата, показанного на рис. 3, мы повторили тот же корреляционный анализ для четырёх независимых файлов данных: RO, MA, LSD и KND [16]. Для улучшения временного разрешения в этом анализе мы использовали получасовые периоды с шагом в 0.1 часа и получили результат, показанный на рис. 4. В интервале с  $2^h 36^m$  UT до  $3^h 6^m$  UT, который содержит пятинейтринное событие LSD, произошедшее в 2.87 часа UT, в сумме имеется 83 независимых срабатывания (32 на LSD и 51 на KND). Сумма соответствующих 83 энергетических вкладов в Риме плюс 83 энергетических вкладов в Мэриленде, совмещенная с 83 нейтринными событиями, поделёнными на 83, даёт 74.349 К, тогда как средний фон (взятого из расчета случайного набора 83 значений энергетического вклада в Риме плюс 83 значений в Мэриленде, не связанных с данными LSD и KND) составляет 51.771 К в данном получасовом периоде.

Разница между сигналом и средним фоном равна  $74.349 - 51.771 = 5.5\sigma$ , что даёт вероятность,

<sup>2</sup>Предложено Серджио Фраска.

<sup>3</sup>См. также [17].

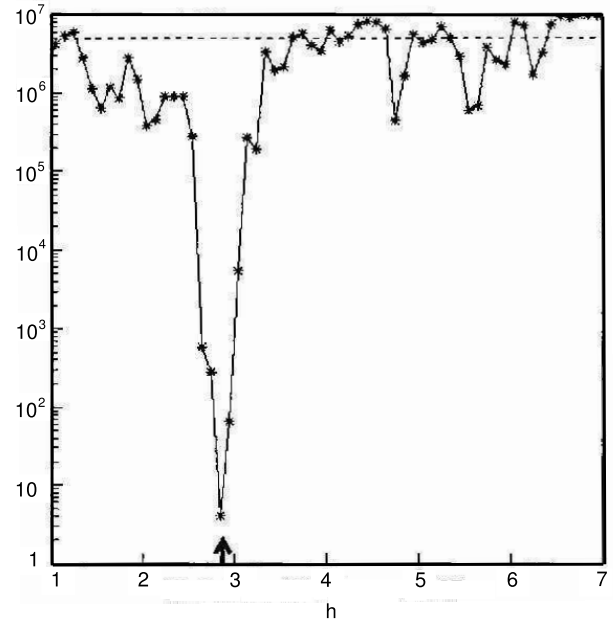


**Рис. 3.** (а): Значения  $n$  для  $N = 1\,000\,000$ , полученные для корреляций Мэрилендских и Римских данных с LSD, в часовых интервалах с  $0^h$  по  $7^h 5$  23 февраля. (б): Тот же алгоритм, но для  $N = 100\,000$ , применённый к корреляции между RO, MA и KND. Отметим, что все наилучшие корреляции происходят в обоих случаях по времени LSD. Эти две корреляции независимы, так как в этих двух случаях мы пользуемся разными данными для RO и MA.

равную  $1.9 \times 10^{-8}$ , того, что этот результат случаен при нормальном распределении шума. Если распределение данных не совсем гауссово [16], вероятность случайности этих результатов немного выше:  $4 \times 10^{-7}$ .

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Серьезные затруднения, связанные со взрывом сверхновой, вызывает определение значения длительности коллапса внутреннего ядра. Согласно большинству теорий взрывов сверхновых, коллапс происходит за несколько секунд, но все экспериментальные данные по сверхновой 1987A, как показано в данной работе, указывают на длительность порядка нескольких часов. Разногласия между экспериментальными данными и теориями могут быть вызваны, по нашему мнению, тем фактом, что большинство теорий не учитывают вращение ядра и магнитные поля, несмотря на то, что пульсары, возможно возникшие в результате коллапса, обладают сильнейшими магнитными полями и являются наиболее быстровращающимися объектами Вселенной. Кроме того, эти теории игнорируют некоторые экспериментальные результаты, некоторые из которых были описаны здесь.



**Рис. 4.** Метод суммарного возбуждения применён на временных интервалах в 30 минут, сдвигаемых с шагом в 0.1 часа от 0 до 8 часов UT 23 февраля, отложенных по абсциссе. Как и в нашем предыдущем анализе [4, 11], мы ввели задержку в 1.1 с между сигналами нейтрино и ГВ. По ординате отложено количество раз  $N$  из  $10^7$ , когда фон ГВ превышал или равнялся энергетическим вкладам ГВ, совпадающим с нейтринными событиями, по данным LSD и KND. По времени LSD  $N = 4$ , что соответствует вероятности  $4 \times 10^{-7}$  того, что корреляция случайна. Пунктирная линия показывает ожидаемое значение в случае отсутствия корреляции.

Несколько нестандартных моделей, основанных на быстром вращении и фрагментации коллапсирующего ядра были предложены вскоре после взрыва, чтобы объяснить экспериментальные данные, полученные на детекторах нейтрино и ГВ [18–21]. Эти модели подтверждаются недавними наблюдениями остатка сверхновой SN 1987A, сделанными NuSTAR (Nuclear Spectroscopic Telescope Array — спутник, запущенный NASA в июне 2012 года для изучения рентгеновского неба), которые указывают на явно асимметричный коллапс [22]. Асимметрия взрыва является необходимым условием для двухэтапного коллапса ядра и последующего за ним излучения ГВ.

Типичная теория для объяснения большой длительности взрыва сверхновой приводится, например, в [21], где рассматривается вращательный механизм данного явления, приводящий к двухэтапному коллапсу с разностью фаз порядка пяти часов. Однако сигналы, зарегистрированные на детекторах ГВ, до сих пор остаются без объяснения.

Среди предположений, объясняющих природу данных сигналов, помимо гравитационных волн,

порождённых асимметричным коллапсом и испущенных в сторону Земли, можно рассмотреть сигналы, вызванные экзотическими частицами.

В любом случае, мы полагаем, что данные, полученные из наблюдений, нельзя игнорировать. Такой подход впервые предложил около 400 лет назад Галилеем в мире, который был подвержен аристотелевским взглядам. Хотя как тогда, так и в современную эпоху галилеевский подход должен оставаться единственным научным.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны коллаборациям Kamiokande, LSD и Рима за предоставление своих данных.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. K. Hirata, T. Kajita, M. Koshiba, et al., Phys. Rev. Lett. **58**, 1490 (1987).
2. K. S. Hirata, T. Kajita, M. Koshiba, et al., Phys. Rev. D **38**, 448 (1988).
3. P. Galeotti and G. Pizzella, arXiv:0706.2235 (2007).
4. M. Aglietta, A. Castellina, W. Fulgione, et al., Nuovo Cimento C Geophys. Space Phys. C **14**, 171 (1991).
5. E. Amaldi, M. Bassan, E. Coccia, et al., Annals New York Academy Sci. **571**, 561 (1989).
6. A. E. Chudakov, Annals New York Academy Sci. **571**, 577 (1989).
7. Private communication. letter by Chudakov to Reins on 15 March 1990.
8. E. Amaldi, P. Bonifazi, M. G. Castellano, et al., in *Results and Perspectives in Particle Physics* (1987), pp. 59–68.
9. E. Amaldi, P. Bonifazi, M. G. Castellano, et al., Europhysics Lett. **3**, 1325 (1987).
10. M. Aglietta, G. Badino, G. Bologna, et al., Europhysics Lett. **3**, 1315 (1987).
11. M. Aglietta, G. Badino, G. Bologna, et al., Nuovo Cimento C Geophys. Space Phys. C **12**, 75 (1989).
12. G. Pizzella, Nuovo Cimento B Ser. **105**, 993 (1990).
13. R. Ruffini and S. Bonazzola, Phys. Rev. **187**, 1767 (1969).
14. S. Weinberg, *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity* (Wiley-VCH, New York, 1972).
15. G. Pizzella, Nuovo Cimento Rivista Ser. **5**, 369 (1975).
16. P. Galeotti and G. Pizzella, Europ. Phys. J. C **76**, 426 (2016).
17. G. Pizzella, Italian Phys. Soc. Proc. **100**, 31 (2010).
18. A. de Rújula, Phys. Lett. B **193**, 514 (1987).
19. L. Stella and A. Treves, Astron. and Astrophys. **185**, L5 (1987).
20. V. S. Berezinskii, C. Castagnoli, V. I. Dokuchaev, and P. Galeotti, Nuovo Cimento C Geophys. Space Phys. C **11**, 287 (1988).
21. V. S. Imshennik and O. G. Ryazhskaya, Astronomy Letters **30**, 14 (2004).
22. S. E. Boggs, F. A. Harrison, H. Miyasaka, et al., Science **348**, 670 (2015).

## Galileo Versus Aristotle: the Case of Supernova 1987A

P. Galeotti and G. Pizzella

Most current supernova theories state that this phenomenon lasts a few seconds and ends with a big final explosion. However, these theories do not take into account several experimental results obtained with neutrino and gravitational wave detectors during the explosion of SN 1987A, the only supernova observed in a nearby galaxy in modern age. According to these experimental results the phenomenon is much more complex than envisaged by current theories, and has a duration of several hours. Indeed, SN 1987A exploded on February 23, 1987, and two neutrino bursts, separated by 4.7 hours were detected: the first one at 2<sup>h</sup> 52<sup>m</sup> UT and the second one at 7<sup>h</sup> 35<sup>m</sup> UT. Furthermore, correlations between the neutrino and two gravitational wave detectors, ignored by most of the scientific community, were observed during the longer collapse time. Since the current *standard* theories, based on some rough simplifications, are a clear example of an Aristotelian attitude, still present in our days, we believe that a more Galilean attitude is necessary, being the only correct way for the progress of science.

Keywords: *supernovae: individual: 1987A—neutrinos—gravitational waves*