

М.И. Баранов

## АНТОЛОГИЯ ВЫДАЮЩИХСЯ ДОСТИЖЕНИЙ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ. ЧАСТЬ 39: ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ ПО ФИЗИКЕ ЗА 2011–2015 ГГ.

*Наведено короткий аналітичний огляд основних наукових досягнень вчених світу, які відмічені Нобелівською премією по фізиці за період 2011-2015 рр. До числа таких досягнень увійшли відкриття прискорення розширення Всесвіту, створення проривних технологій маніпулювання квантовими системами, теоретичне виявлення механізму походження маси субатомних частинок, винахід енергоефективних джерел світла – синіх світлодіодів і відкриття осциляцій нейтрино.* Бібл. 17, рис. 14.

*Ключові слова:* сучасна фізика, досягнення, прискорене розширення Всесвіту, технології маніпулювання квантовими системами, механізм походження маси субатомних частинок, енергозберігаючі джерела світла, сині світлодіоди, осциляції нейтрино.

*Приведен краткий аналитический обзор выдающихся научных достижений ученых мира, отмеченных Нобелевской премией по физике за период 2011-2015 гг. В число таких достижений вошли открытие ускорения расширения Вселенной, создание прорывных технологий манипулирования квантовыми системами, теоретическое обнаружение механизма происхождения массы субатомных частиц, изобретение энергоэффективных источников света – синих светодиодов и открытие нейтринных осцилляций.* Библ. 17, рис. 14.

*Ключевые слова:* современная физика, достижения, ускоренное расширение Вселенной, технологии манипулирования квантовыми системами, механизм происхождения массы субатомных частиц, энергосберегающие источники света, синие светодиоды, нейтринные осцилляции.

**Введение.** Физика в завещании известного шведского инженера-изобретателя и бизнесмена Альфреда Нобеля (1833-1896 гг.) была упомянута первой из пяти областей научных знаний и общественных движений (физика, химия, медицина, литература и борьба за укрепление мира между народами), по которым следовало в ближайшем будущем учредить премии за выдающиеся научные исследования, революционные изобретения, крупный вклад в культуру и развитие человеческого общества [1]. Отметим, что первая Нобелевская премия по физике была присуждена немцу Вильгельму Рентгену (1845-1923 гг.) в 1901 г. «за открытие X-лучей (рентгеновских лучей)» [2]. С 1901 г. по 2011 г. Нобелевская премия по физике вручалась 190 ученым мира. При этом 58 раз премия присуждалась двум или трем исследователям одновременно (по существующему положению в авторском коллективе претендентов на нее должно находиться не более трех ученых) [1]. Американец Джон Бардин (1908-1991 гг.) пока оказался единственным ученым, удостоенным в составе подобной группы ученых Нобелевской премии по физике дважды – в 1956 г. («за исследования полупроводников и открытие транзисторного эффекта») и в 1972 г. («за разработку теории сверхпроводимости») [2, 3]. Женщины-ученые становились лауреатами Нобелевской премии по физике всего лишь дважды – французка польского происхождения Мария Склодовская-Кюри (1867-1934 гг.) в 1903 г. («за исследование явления радиоактивности») и американка Мария Гепперт-Майер (1906-1972 гг.) в 1963 г. («за создание оболочечной модели ядра») [2].

**1. Открытие ускорения расширения Вселенной.** Лауреатами Нобелевской премии по физике в 2011 г. стали американцы Сол Перлмуттер (рис. 1), Адам Рисс (рис. 2) и Брайан Шмидт (рис. 3) «за открытие ускорения расширения Вселенной путем наблюдения далеких сверхновых» [1]. Их фундаментальный вывод об ускоренном расширении Вселенной со временем был получен в ходе очень тонких и акку-

ратных наблюдений сверхновых звезд, проводимых С. Перлмуттером из Калифорнийского университета (г. Беркли, США), А. Риссом из Научного института космического телескопа (г. Балтимор, США) и Б. Шмидтом из известной обсерватории Маунт-Стромо при Австралийском национальном университете [1].



Рис. 1. Выдающийся американский физик-астроном Сол Перлмуттер (Saul Perlmutter, 1959 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2011 г.

Свои многолетние астрономические наблюдения С. Перлмуттер, А. Рисс и Б. Шмидт осуществляли с использованием исключительно сверхновых звезд типа Ia, расположенных в далеких галактиках нашей Вселенной. Для указанных наблюдений ими использовались несколько больших телескопов, в том числе 3,6-метровый телескоп типа NTT (New Technology Telescope) и 8,2-метровый телескоп типа VLT из всемирно известной южноамериканской обсерватории Ла Силья (ESO, Чили) [1]. На рис. 4 приведена серия фотографий сверхновой звезды 1995K, сделанных рассматриваемыми лауреатами 3 апреля 1995 г. при помощи 3,6-метрового телескопа NTT [1]. На основе анализа подобных снимков ими и было сделано научное открытие, удостоенное столь высокой наградой.

© М.И. Баранов



Рис. 2. Выдающийся американский физик-астроном Адам Г. Рисс (Adam G. Riess, 1969 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2011 г.



Рис. 3. Выдающийся австралийско-американский физик-астроном Брайан П. Шмидт (Brian P. Schmidt, 1967 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2011 г.

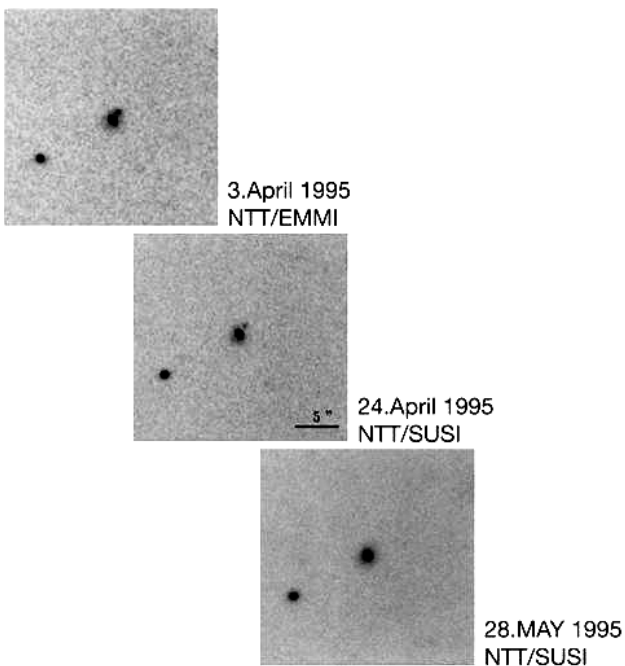


Рис. 4. Серия астрономических фотоизображений очень далекой сверхновой звезды в нашей Вселенной, имеющей международный регистрационный номер 1995K [1]

Считается, что ускоренное расширение Вселенной обусловлено наличием в ней «темной» энергии («черных дыр») [1, 4]. Происхождение этой энергии в космическом пространстве и ее природа для ученых остаются пока глубоко загадочными феноменами. В научном мире принято считать, что данное открытие, совершенное физиками-астрономами, одно из немногих в последнее время по-настоящему больших научных открытий в физике и астрономии [1]. Оно для человечества может иметь серьезное мировоззренческое значение. Здесь нам следует заметить, что ранее совершенное на основе астрономических наблюдений известным американским ученым-астрономом Эдвином Пауэллом Хабблом (1889-1953 гг.) фундаментальное открытие о расширении Вселенной осталось практически вне «поля зрения» Нобелевского комитета при Шведской Королевской академии наук [1]. Интересным фактом является то, Э.П. Хаббл в свое время возглавлял движение многочисленных ученых за установление Нобелевской премии по астрономии. Надо сказать, что особых успехов данное движение не имело, но оно, видимо, все-таки повлияло определенным образом на членов Нобелевского комитета, принявших все же решение о том, что астрономы мира могут получать Нобелевские премии по физике [1, 2].

Напомним, что за 111 лет вручения Нобелевских премий (за период 1901-2011 гг.) ученые-астрономы 11 раз были удостоены этой престижной награды [1].

**2. Открытие способа измерения микрочастиц и квантовых систем без их разрушения.** Лауреатами Нобелевской премии по физике за 2012 г. стали работающие в области квантовой физики француз Серж Арош (рис. 5) и американец Дэвид Вайнленд (рис. 6) «за передовые открытия экспериментальных методов, которые позволяют измерять индивидуальные квантовые системы» [5]. С. Арош и Д. Вайнленд заложили научную основу для нового поколения экспериментов в квантовой физике, которые позволяют «напрямую наблюдать индивидуальные квантовые частицы, не уничтожая их». С. Арош и Д. Вайнленд проводили свои квантовые эксперименты независимо друг от друга. Этим ученым удалось разработать оригинальные физико-технические решения для манипулирования отдельными квантовыми микрочастицами без разрушения их квантово-механической природы. Многие физики-экспериментаторы полагали, что подобные исследования просто невозможны. Американский физик использовал метод ионных «ловушек», манипулируя ионами с помощью квазичастиц-фотонов (квантов электромагнитного поля или света, не имеющих массу покоя [6]). Его французский коллега, напротив, измерял кванты света, направляя поток атомов вещества через фотонную «ловушку» [5].

Д. Вайнленд научил специалистов улавливать микрочастицы, которые несут электрический заряд (например, атомы и ионы), а также контролировать и измерять их состояние при помощи квантов света [5].



Рис. 5. Выдающийся французский физик-экспериментатор Серж Арош (Serge Haroche, 1944 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2012 г.

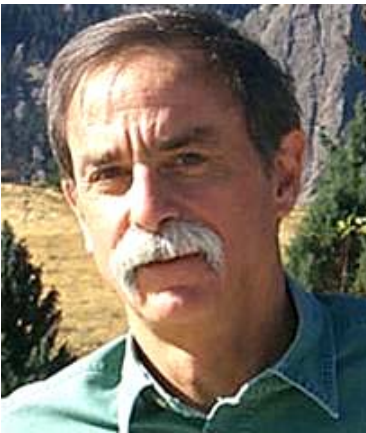


Рис. 6. Выдающийся американский физик-экспериментатор Дэвид Дж. Вайнлэнд (David J. Wineland, 1944 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2012 г.

С. Арош разработал противоположный научный подход, который позволяет разобраться в физических чудесах квантового мира. Он придумал способ контроля и измерения свойств «пойманных» фотонов при помощи засланных в «ловушку» атомов [5]. При этом С. Арош и его коллеги в своих опытах использовали «ридберговские» атомы, которые больше обычных атомов вещества примерно в тысячу раз [6]. Они отправляли их в фотонную «ловушку» со строго определенной скоростью, заставляя контактировать такие атомы с присутствующими там микроволновыми фотонами (квантами света). Из-за данного взаимодействия квантовое энергетическое состояние самих «ридберговских» атомов, названных в честь известного шведского физика Й.Р. Ридберга (1854-1919 гг.) [2, 7], при этом изменялось. Измерение состояния данных атомов происходило на выходе из указанной «ловушки». В итоге физики получали информацию о «пойманных» в «ловушку» фотонах, не разрушая их. Как все, на первый взгляд, просто! А за этой кажущейся простотой кроется многолетний кропотливый труд многих ученых-физиков, связанный с высокоточными измерениями на атомарном уровне. Описанный способ, как выяснилось, можно использовать и для подсчета количества фотонов, оказавшихся в «ловушке». Впоследствии физики-лауреаты, основываясь на этих

достижениях, научились отслеживать изменения квантового состояния отдельного фотона в реальном времени [5, 8]. Благодаря их исследованиям появилась возможность создания в будущем сверхвысокоточных часов и супербыстродействующих квантовых компьютеров. В случае создания в обозримом будущем квантового компьютера с большим объемом кубитов информации его вычислительная мощность ожидается поистине громадной, что приведет к настоящему информационно-технологическому прорыву в мире.

**3. Теоретическое обнаружение механизма происхождения массы субатомных частиц.** Нобелевская премия по физике за 2013 г. была присуждена двум физикам-теоретикам – бельгийцу Франсуа Энглеру (рис. 7) и британцу Питеру Хиггсу (рис. 8) [9].

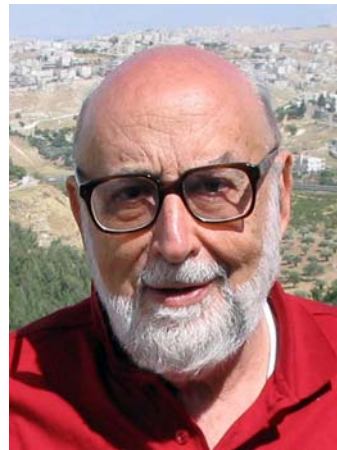


Рис. 7. Выдающийся бельгийский физик-теоретик Франсуа Энглер (Francois Englert, 1932 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2013 г.

Этой премии Ф. Энглер и П. Хиггс были удостоены «за теоретическое обнаружение механизма, который помогает понять происхождение массы субатомных частиц, подтверждённого в последнее время обнаружением предсказанной элементарной частицы в экспериментах на детекторах ATLAS и CMS Большого адронного коллайдера в CERN» [9]. Важно подчеркнуть то, что указанные физики эту престижную и высокооплачиваемую (1,2 млн. долларов США на двоих [5]) премию получили не за предсказание «хиггсовского» бозона, экспериментально открытого в 2012 г. на самой крупной ускорительной электрофизической установке мира – Large Hadron Collider (LHC) в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН), расположенном под г. Женева (Швейцария) [3], а за сам «хиггсовский» механизм, «отголоском» которого «хиггсовский» бозон и является. История построения теорий слабых и сильных взаимодействий микрочастиц в области физики элементарных частиц и физики высоких энергий достаточно сложна, требует специального рассмотрения и для нас сейчас особо не интересна. Безусловно, она интересна в части научного приоритета для не одного десятка физиков-теоретиков, приложивших свою голову и руки к созданию подобных теорий и разработке «хиггсовского» механизма (например, для Р. Браута, Чж. Янга, Р. Миллса, Г. Гуральника, К. Хагена Т. Киббла и др.) [9].



Рис. 8. Выдающийся английский физик-теоретик Питер Хиггс (Peter Higgs, 1929 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2013 г.

Роль бозона, впервые упомянутого в явном виде (в виде новой массивной бесспиновой частицы) в теоретической работе П. Хиггса (1964 г.), как удобного для экспериментального наблюдения «отголоска» рассматриваемого механизма взаимодействия в микромире была по-настоящему осознана физиками только в 1970-е годы [9]. Вот к нему (этому бозону), а также к самому механизму взаимодействия элементарных частиц навсегда и пристал удобный и краткий, но не вполне справедливый эпитет «хиггсовский». Именно после того, как была построена теория электрослабых взаимодействий, которая опиралась, среди прочего, на этот механизм, а также после того как было показано, что эта теория перенормируема (самоогласованна и годится для расчетов) и возник массовый интерес среди физиков к свойствам и к поиску бозона Хиггса [9].

Физики-теоретики принялись рассчитывать процессы рождения и распада этого бозона, а физики-экспериментаторы стали искать его в продуктах ядерных реакций на всех крупнейших коллайдерах мира (например, в Европе на электронно-позитронном ускорителе LEP с энергией до 104 ГэВ в ЦЕРН и в США на гигантском протонно-антипротонном ускорителе «Тэватрон» с энергией до 1 ТэВ в Национальной лаборатории ядерных исследований им. Э. Ферми [3]). Шли годы наблюдений, а требуемого бозона никто не находил. Подавляющее большинство ведущих физиков мира на основе накопленных научных данных к началу 21-го столетия убедили себя в том, что бозон Хиггса должен существовать. Им не хватало последнего штриха – прямого открытия «хиггсовского» бозона в эксперименте. И вот на сверхмощном протонном коллайдере LHC в ЦЕРН, реально запущенном в работу в 2009 г., бозон Хиггса в 2012 г. был экспериментально обнаружен. Произошло это важное научное событие практически спустя 50 лет после теоретического открытия этой элементарной частицы [9].

В чем же суть «хиггсовского» механизма и за что в микромире отвечает «хиггсовский» бозон? Согласно [9] в основе «хиггсовского» механизма для релятивистских теорий взаимодействия элементарных частиц лежит идея о том, что при «контакте» безмассовой скалярной частицы с безмассовым переносчиком взаимо-

действия рождается частица-переносчик с массой (некий неизвестный массивный бозон). Для приближения к исторической правде в вопросе рождения в физике элементарных частиц этой идеи, сформулированной П. Хиггсом лишь в 1964 г., заметим, что в 1963 г. известный американский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1936 г. («за открытие в космических лучах позитрона» [2]) Карл Андерсон (1905-1991 г.), опубликовал подобную идею применительно к нерелятивистской теории взаимодействия микрочастиц [9]. Поэтому автором указанной выше научной идеи, которая легла в дальнейшем в базис «хиггсовского» механизма взаимодействия частиц, наверное, следовало бы считать физика из США К. Андерсона.

Что касается возможной ответственности для неискушенного читателя «хиггсовского» бозона за массу всех частиц нашей Вселенной, то здесь сразу следует однозначно сказать то, что никому и ничему в природе массу этот бозон не дает [9]. Оказывается, что массу частицам дает «хиггсовское» поле. «Хиггсовский» бозон является лишь микроскопической «рябью» и своеобразным энергетическим возмущением этого «хиггсовского» поля [9]. Кроме того, «хиггсовское» поле дает массу только электронам, мюонам и некоторым другим тяжелым частицам [6, 9]. Массу протонов и нейтронов, входящих в состав ядер всех химических элементов из периодической системы элементов Д.И. Менделеева [3, 6] и определяющих их массовые числа  $A$  и соответственно до 99 % массу любого вещества, определяют совершенно иные физические механизмы [9]. В этой связи «хиггсовское» поле отвечает примерно за 1 % массы окружающего нас вещества [9]. «Черные дыры», присутствующие в космосе, а также неоткрытые пока людьми частицы «темной» материи [4] и, возможно, нейтрино получают свою массу тоже за счет иных физических источников [9]. На сегодня в физике элементарных частиц на общечеловеческом уровне общения между учеными принято считать, что «хиггсовский» бозон – ничто, а «хиггсовское» поле – все [9]. Получить и исследовать это поле без рассматриваемого нами бозона пока невозможно. Поэтому «хиггсовский» бозон должен помочь человечеству узнать свойства и происхождение «хиггсовского» поля. А для этого необходимы многочисленные эксперименты на Большом адронном коллайдере LHC, сопровождающиеся рождением и распадом бозона Хиггса. Статистическая обработка полученных при этих процессах результатов должна «пролить» свет на его природу и природу «хиггсовского» поля. В настоящее время физики считают, что «хиггсовское» поле не порождает гравитацию, связанную с полной энергией физического тела. «Хиггсовское» поле может переводить часть энергии физического тела в энергию покоя (в его массу). Однако, на гравитационное взаимодействие тел оно влияния не оказывает [9].

**4. Изобретение синих светодиодов – энерго-сберегающих источников света.** В 2014 г. Нобелевскую премию по физике «за создание нового энерго-эффективного и экологически чистого источника света – синих светодиодов» получили три японских физика-экспериментатора: Исаму Акасаки (рис. 9),

Хироси Аmano (рис. 10) и Сюджи Накамура (рис. 11) [10-13]. Заметим, что до 1990 г. мировые производители светодиодов могли выпускать лишь красные, желтые и зеленые диоды. Известно, что только комбинация синего, зеленого и красного цветов способна давать чистый белый цвет. Поэтому актуальной проблемой в физике и технике полупроводников для ведущих мировых производителей светодиодных изделий оставалась та, которая была связана с изобретением светодиодов, дающих яркий синий цвет [10].



Рис. 9. Выдающийся японский физик-экспериментатор Исаму Акасаки (Isamu Akasaki, 1929 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2014 г.



Рис. 10. Выдающийся японский физик-экспериментатор Хироси Аmano (Hiroshi Amano, 1960 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2014 г.



Рис. 11. Выдающийся японский физик-экспериментатор Сюджи Накамура (Shuji Nakamura, 1954 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2014 г.

Фундаментальные и прикладные физико-технические исследования И. Акасаки, Х. Аmano и С. Накамура показали, что одним из перспективных полупроводниковых соединений, на основе которого

возможно создание таких излучателей света, может быть нитрид галлия GaN [10-13]. Вначале 1990-х годов указанными японскими физиками на основе нитрида галлия GaN были созданы как двухслойные, так и многослойные гетероструктуры с *p-n*-переходами проводимости, обеспечивающие создание и промышленный выпуск светодиодов синего свечения [10-13]. Это научно-техническое событие явилось большим прорывом в области мировых световых технологий.

В 1993 г. корпорации Nichia Chemical Industries (NCI) (г. Токусима, Япония) первой в мире удалось начать индустриальный выпуск синих светодиодов [10]. Эти светодиоды сделали возможным изготовление новых энергосберегающих источников белого цвета. Изобретение И. Акасаки, Х. Аmano и С. Накамурой синих светодиодов, необходимых для получения в светодиодных устройствах всех оттенков световой гаммы, явилось настоящей технической революцией для наружных светодиодных видеоэкранов [10].

С. Накамура прославился не только изобретением синих светодиодов повышенной яркости, но и выиграл в 2005 г. у корпорации NCI судебный иск на выплату ему вознаграждения по результатам внедрения его патентов на сумму около 9 млн. долларов США (крупнейший для ученых японский бонус!) [13].

**5. Открытие нейтринных осцилляций.** Нобелевская премия по физике за 2015 г. была присуждена двум физикам-экспериментаторам: канадцу Артуру Брюсу Макдональду (рис. 12) и японцу Такааки Кадзита (рис. 13) «за открытие нейтринных осцилляций, показывающее, что нейтрино имеют массу» [14]. Данные ученые возглавляли две ведущие научные группы SNO (Sudbury Neutrino Observatory, Канада) и Super-Kamiokande (Япония), занимающиеся изучением самых легчайших, загадочных и трудноуловимых измерительными приборами-детекторами элементарных частиц – нейтрино [6, 7]. Эти частицы, чрезвычайно слабо взаимодействующие с веществом, относятся к лептонам [6]. Они возникают при бета-распадах атомных ядер и распадах элементарных частиц и характеризуются спином  $S_v = \pm 1/2$  [6, 7]. Их измерения показали, что нейтрино бывают трех сортов: электронное  $\nu_e$ , мюонное  $\nu_\mu$  и тау-нейтрино  $\nu_\tau$  [6, 14].

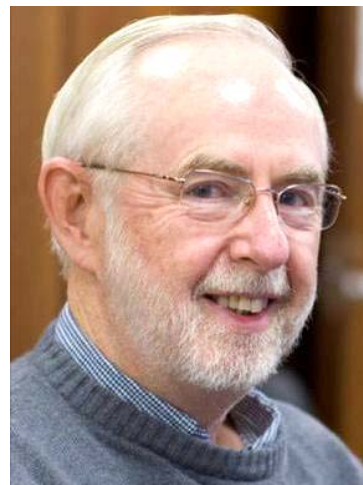


Рис. 12. Выдающийся канадский физик-экспериментатор Артур Брюс Макдональд (Arthur Bruce McDonald, 1943 г. рождения), лауреат Нобелевской премии за 2015 г.



Рис. 13. Выдающийся японский физик-экспериментатор Такааки Кадзита (Takaaki Kajita, 1959 г. рождения), лауреат Нобелевской премии за 2015 г.

Причем, эти три сорта нейтрино не обособлены друг от друга в микромире и соответственно в макромире. Они способны взаимно осциллировать – самопроизвольно превращаться «на лету» друг в друга. Именно за доказательство реальности этого физического эффекта (нейтринных осцилляций) и была вручена указанным ученым-физикам Нобелевская премия за минувший год. Экспериментальная демонстрация подобного факта в области физики элементарных частиц и измерение параметров нейтринных осцилляций с использованием космических лучей способствовали активному развитию нейтринной физики и прогрессу в этой научной области наших знаний. Взаимные превращения нейтрино в атмосфере Земли (рис. 14) из-за их очень маленьких масс на расстояниях в единицы (десятки) километров – чисто квантовый эффект [14, 15]. Заметим, что основными вехами в области нейтринной физики до рассматриваемых нами работ А.Б. Макдональда и Т. Кадзиты стали [2, 14]: достижения, удостоенные Нобелевских премий по физике за 1988 г. («за открытие мюонных нейтрино»), за 1995 г. («за открытие электронных нейтрино») и за 2002 г. («за открытие солнечных нейтрино»). Несмотря на это, до открытия А.Б. Макдональда и Т. Кадзиты ученым-физикам ни массы нейтрино, ни их осцилляционные параметры известны не были [2].

На рис. 14 в схематическом виде показаны процессы «рождения» при прохождении высокоэнергетических космических лучей (в основном, потока протонов  $p$ ) сквозь земную атмосферу пи-мезонов ( $\pi$ ), мюонов ( $\mu$ ), электронов ( $e$ ), мюонных  $\nu_\mu$  и электронных  $\nu_e$  нейтрино, измеряемых глубоко расположенными под землей в шахтах детекторами (detector) [14]. В ходе измерений было установлено, что после протекания ряда приведенных на рис. 14 распадов до Земли долетают нейтрино в соотношении  $\nu_\mu/\nu_e \approx 1,2/1$ .

Оценочные расчетные данные, выполненные физиками-теоретиками в 1991 г., говорили о том, что для приведенного соотношения мюонных  $\nu_\mu$  и электронных  $\nu_e$  нейтрино должно численно выполняться равенство вида  $\nu_\mu/\nu_e \approx 2/1$  [14-16].

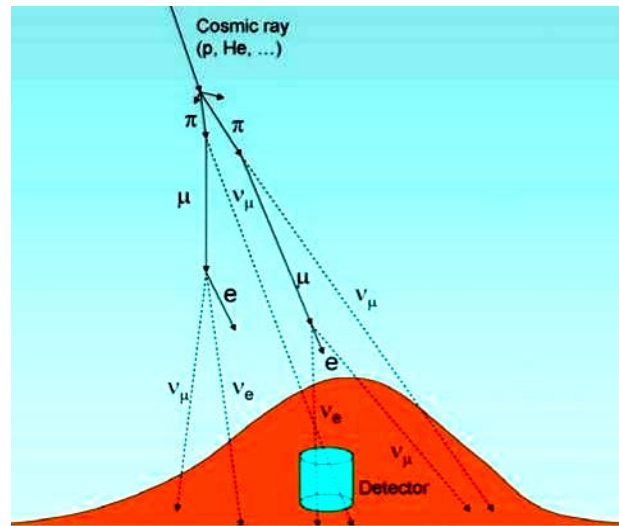


Рис. 14. Схематическое изображение процессов «рождения» мюонных и электронных нейтрино в атмосфере Земли [12]

Причина выявленных расхождений в соотношении  $\nu_\mu/\nu_e$  для физиков была на тот момент неизвестной и непонятной. В 1998 г. на международной конференции по астрофизике Т. Кадзитой от имени коллаборации японских ученых Super-Kamiokande был сделан доклад, из результатов которого вытекало, что в подземные нейтринные детекторы сверху (от ближайшей земной поверхности) и снизу (от удаленной противоположной земной поверхности) Земли прилетают существенно различные количества мюонных нейтрино  $\nu_\mu$ . Нейтринный детектор Super-Kamiokande представлял собой большую подземную цистерну, расположенную в старой шахте внутри горы и заполненную сверхчистой обычной водой [16]. Внутренние стенки детектора сплошь были покрыты чувствительными фотоумножителями, которые регистрировали световые вспышки от ядерных событий, протекающих внутри его рабочего вещества-воды. Энергетическое космическое нейтрино (с энергией порядка 100 МэВ) электронного или мюонного сорта, сталкиваясь с атомным ядром воды, превращается в электрон  $e$  или мюон  $\mu$ , который летит вперед с большой скоростью и излучает свет за счет эффекта Вавилова-Черенкова [6, 14-16]. Благодаря этому, нейтринный детектор Super-Kamiokande не только обнаруживал бомбардирующее его нейтрино, но и определял их сорт, энергию и направление прилета к Земле. Напомним, что вещество нашей планеты для нейтрино является практически полностью «прозрачным» [14]. Поэтому на основании полученных опытных данных японскими физиками был сделан важный вывод о том, что на своем тысячекилометровом пути сквозь твердую кору, полужидкую мантию и жидкое ядро Земли [17] существенная часть мюонных нейтрино  $\nu_\mu$ , пронизывающих нашу планету с противоположной месту размещения детекторов стороны, смогли превратиться в другие сорта нейтрино [14]. Причем, не в измеряемые детекторами электронные нейтрино  $\nu_e$ , а в неизмеряемые ими – тау-нейтрино  $\nu_\tau$ . Аналогичные результаты в части нейтринных осцилляций (применительно к электронным  $\nu_e$ , мюонным  $\nu_\mu$  и тау-нейтрино  $\nu_\tau$ , идущим от Солнца) в период 2001-2002 гг. были получены коллаборацией канадских ученых SNO с помощью подземных нейтринных детекторов элементарных частиц, емкости которых были

заполнены тяжелой водой, ядра которой (дейтроны) содержали слабо связанную систему из протона и нейтрона [14, 15]. При энергии воздействующих на детекторы нейтрино SNO в несколько МэВ дейтроны их тяжелой воды распались на протоны и нейтроны. По высвечиванию в нейтринных детекторах гамма-квантов, сопровождающих захват ядрами дейтерия образовавшихся нейтронов, физики судили о протекающих в них ядерных превращениях. Так физики из коллабораций Super-Kamiokande и SNO получили неопровержимые экспериментальные доказательства в пользу существования нейтринных осцилляций [14]. Эти опытные результаты подтверждали и справедливость разработанной физиками-теоретиками «солнечной модели», описывающей протекающие внутри нашего светила термоядерные реакции и «рождающиеся» при этом потоки солнечных нейтрино, пронизывающие космическое пространство и планету Земля.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://www.biguniverse.ru/posts/nobelevskaya-premiya-po-fizike-2011>.
2. Храмов Ю.А. История физики. – Киев: Феникс, 2006. – 1176 с.
3. Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике: Монография в 2-х томах. Том 1. – Х.: НТМТ, 2011. – 311 с.
4. Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике: Монография в 2-х томах. Том 2. – Х.: НТМТ, 2013. – 333 с.
5. <http://news.21.by/other-news/2012/10/09/635932.html>.
6. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики / Отв. ред. В.К. Тартаковский. – Киев: Наукова думка, 1989. – 864 с.
7. Большой иллюстрированный словарь иностранных слов. – М.: Русские словари, 2004. – 957 с.
8. <http://www.newizv.ru/lenta/2012-10-09/171050-francuz-i-amerikanec-stali-laureatami-nobelevskoj-premii-po-fizike.html>.
9. <http://physiclib.ru/news/item/f00/s04/n0000439/index.shtml>.
10. <http://rian.com.ua/dossier/20141009/358062370.html>.
11. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Акасаки\\_Исаму](https://ru.wikipedia.org/wiki/Акасаки_Исаму).
12. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Аmano\\_Хироши](https://ru.wikipedia.org/wiki/Аmano_Хироши).
13. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Накамура\\_Сюдзи](https://ru.wikipedia.org/wiki/Накамура_Сюдзи).
14. [http://www.nanometer.ru/2015/10/09/nobelevskaa\\_premia\\_465746.html](http://www.nanometer.ru/2015/10/09/nobelevskaa_premia_465746.html).
15. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Макдональд,\\_Артур](https://ru.wikipedia.org/wiki/Макдональд,_Артур).
16. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Кадзита\\_Такааки](https://ru.wikipedia.org/wiki/Кадзита_Такааки).
17. Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики. Том 3: Теория и практика электрофизических задач. – Х.: Изд-во «Точка», 2014. – 400 с.

#### REFERENCES

1. Available at: <http://www.biguniverse.ru/posts/nobelevskaya-premiya-po-fizike-2011> (accessed 12 June 2013). (Rus).
2. Khramov Yu.A. *Istoriia fiziki* [History of Physics]. Kiev, Feniks Publ., 2006. 1176 p. (Rus).
3. Baranov M.I. *Antologiya vydaiushchikhsia dostizhenii v nauke i tekhnike: Monografiia v 2-kh tomakh. Tom 1*. [An anthology of outstanding achievements in science and technology: Monographs in 2 vols. Vol.1]. Kharkov, NTMT Publ., 2011. 311 p. (Rus).
4. Baranov M.I. *Antologiya vydaiushchikhsia dostizhenii v nauke i tekhnike: Monografiia v 2-kh tomakh. Tom 2*. [An anthology of outstanding achievements in science and technology: Monographs in 2 vols. Vol.2]. Kharkov, NTMT Publ., 2013. 333 p. (Rus).
5. Available at: <http://news.21.by/other-news/2012/10/09/635932.html> (accessed 11 May 2013). (Rus).
6. Kuz'michev V.E. *Zakony i formuly fiziki* [Laws and formulas of physics]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1989. 864 p. (Rus).
7. *Bol'shoj illjustrirovannyj slovar' inostrannyh slov* [Large illustrated dictionary of foreign words]. Moscow, Russkie slovari Publ., 2004. 957 p. (Rus).

8. Available at: <http://www.newizv.ru/lenta/2012-10-09/171050-francuz-i-amerikanec-stali-laureatami-nobelevskoj-premii-po-fizike.html> (accessed 22 May 2013). (Rus).

9. Available at: <http://physiclib.ru/news/item/f00/s04/n0000439/index.shtml> (accessed 12 September 2014). (Rus).

10. Available at: <http://rian.com.ua/dossier/20141009/358062370.html> (accessed 23 March 2013). (Rus).

11. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Isamu\\_Akasaki](https://en.wikipedia.org/wiki/Isamu_Akasaki) (accessed 10 May 2010).

12. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Hiroshi\\_Amano](https://en.wikipedia.org/wiki/Hiroshi_Amano) (accessed 10 April 2012).

13. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Shuji\\_Nakamura](https://en.wikipedia.org/wiki/Shuji_Nakamura) (accessed 11 May 2010).

14. Available at: [http://www.nanometer.ru/2015/10/09/nobelevskaa\\_premia\\_465746.html](http://www.nanometer.ru/2015/10/09/nobelevskaa_premia_465746.html) (accessed 03 October 2013). (Rus).

15. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Arthur\\_B.\\_McDonald](https://en.wikipedia.org/wiki/Arthur_B._McDonald) (accessed 12 January 2013).

16. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Takaaki\\_Kajita](https://en.wikipedia.org/wiki/Takaaki_Kajita) (accessed 21 July 2012).

17. Baranov M.I. *Izbrannye voprosy elektrofiziki. Tom 3: Teoriya i praktika elektrofizicheskikh zadach* [Selected topics of Electrophysics. Vol. 3: Theory and practice of electrophysics tasks]. Kharkiv, Tochka Publ., 2014. 400 p. (Rus).

*Поступила (received) 11.02.2016*

*Баранов Михаил Иванович, д.т.н., г.л.н.с.,*  
НИПКИ «Молния»  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»,  
61013, Харьков, ул. Шевченко, 47,  
тел/phone +38 057 7076841, e-mail: eft@kpi.kharkov.ua

*M.I. Baranov*  
Scientific-&Research Planning-&-Design Institute «Molniya»  
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
47, Shevchenko Str., Kharkiv, 61013, Ukraine.

**An anthology of the distinguished achievements in science and technique. Part 39: Nobel Prize Laureates in Physics for 2011-2015.**

**Purpose.** Implementation of brief analytical review of the distinguished scientific achievements of the world scientists-physicists, awarded the Nobel Prize on physics for the period 2011-2015.

**Methodology.** Scientific methods of collection, analysis and analytical treatment of scientific and technical information of world level in area of astrophysics, physics of elementary particles, physics of high energies, of modern theoretical and experimental physics. **Results.** The brief analytical review of the scientific openings and distinguished achievements of scientists-physicists is resulted in area of modern physical and technical problems which were marked the Nobel Prizes on physics for the period 2011-2015.

**Originality.** Systematization is executed with exposition in the short concentrated form of the known scientific and technical materials, devoted opening of acceleration of expansion of Universe, creation of breach technologies of manipulation the quantum systems, theoretical discovery of mechanism of origin of mass of under-atomic particles, invention of effective power sources of light – blue light-emitting diodes and opening of neutrino oscillations. **Practical value.** Popularization and deepening of scientific and technical knowledges for students, engineers and technical specialists and research workers in area of modern theoretical and experimental physics, extending their scientific range of interests and cooperation in further development of scientific and technical progress in human society. References 17, figures 14.

**Key words:** modern physics, distinguished achievements, speed-up expansion of Universe, technologies of manipulation of the quantum systems, mechanism of origin of the masses of under-atomic particles, energy saving sources of light, blue light-emitting diodes, neutrino oscillations.