

М.И. Баранов

АНТОЛОГИЯ ВЫДАЮЩИХСЯ ДОСТИЖЕНИЙ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ. ЧАСТЬ 37: ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ ПО ФИЗИКЕ ЗА 2000-2004 гг.

Наведено короткий аналітичний огляд основних наукових досягнень вчених світу, які відмічені Нобелівською премією по фізиці за період 2000-2004 рр. У число таких досягнень увійшли розробка напівпровідникових гетероструктур для високочастотної техніки і оптоелектроніки, винахід інтегральної мікросхеми, отримання конденсації Бозе-Ейнштейна в розріджених газах лужних металів, виявлення космічних нейтрино, відкриття космічних джерел рентгенівського випромінювання, розробка теорії надпровідників і надтекучих рідин і відкриття асимптотичної свободи в теорії сильних взаємодій елементарних частинок. Бібл. 36, рис. 16.

Ключові слова: сучасна фізика, досягнення, напівпровідникова гетероструктура, інтегральна мікросхема, конденсація Бозе-Ейнштейна в розріджених газах лужних металів, космічні нейтрино, космічні джерела рентгенівського випромінювання, теорія надпровідників і надтекучих рідин, асимптотична свобода в теорії сильних взаємодій елементарних частинок.

Приведен краткий аналитический обзор выдающихся научных достижений ученых мира, отмеченных Нобелевской премией по физике за период 2000-2004 гг. В число таких достижений вошли разработка полупроводниковых гетероструктур для высокочастотной техники и оптоэлектроники, изобретение интегральной микросхемы, получение конденсации Бозе-Эйнштейна в разреженных газах щелочных металлов, обнаружение космических нейтрино, открытие космических источников рентгеновского излучения, разработка теории сверхпроводников и сверхтекучих жидкостей и открытие асимптотической свободы в теории сильных взаимодействий элементарных частиц. Библ. 36, рис. 16.

Ключевые слова: современная физика, достижения, полупроводниковая гетероструктура, интегральная микросхема, конденсація Бозе-Ейнштейна в разреженных газах щелочных металлов, космические нейтрино, космические источники рентгеновского излучения, теория сверхпроводников и сверхтекучих жидкостей, асимптотическая свобода в теории сильных взаимодействий элементарных частиц.

Введение. Нобелевские премии являются уникальными международными наградами, престиж которых в мире чрезвычайно высок. Нобелевскому лауреату в торжественной обстановке в присутствии короля Швеции 10 декабря ежегодно, начиная с 1901 г., вручается диплом, золотая медаль (рис. 1) и крупное денежное вознаграждение, сумма которого с годами изменялась. На лицевой стороне медали изображен профиль известного шведского инженера-бизнесмена Альфреда Нобеля (1833-1896 гг.), а на оборотной – по ее периметру надпись «Способствует облагораживанию жизни открытиями в области искусств» [1]. Эта надпись была взята из стиха «Энеиды» римского поэта Марона Вергилия (70-19 гг. до н.э.). Там же изображена природа в образе богини, сходящей с облаков и держащей в руке «рог изобилия». Ее вуаль приподнимает женщина, олицетворяющая «гений науки».



Рис. 1. Внешний вид золотой медали лауреата Нобелевской премии по физике (слева – лицевая сторона медали, а справа – оборотная; диаметр медали – 65 мм, а вес – 205 г.) [1]

Для первого Нобелевского лауреата по физике за 1901 г. Вильгельма Конрада Рентгена (1845-1923 гг.)

размер денежного вознаграждения составлял 150 тыс. шведских крон. В 2005 г. эта сумма составляла уже 10 млн. этих крон или около 1,3 млн. долларов США [1].

1. Создание полупроводниковых гетероструктур для высокочастотной техники и оптоэлектроники. В 2000 г. Нобелевской премии по физике были удостоены результаты важных исследований россиянина Жореса Алфёрова (рис. 2), немца Герберта Крёмера (рис. 3) и американца Джека Килби (рис. 4).



Рис. 2. Выдающийся российский физик, академик АН СССР и РАН Жорес Иванович Алфёров (1930 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2000 г.

Первых два физика-экспериментатора (российский Ж.И. Алфёров и немецкий Г. Крёмер) этой

© М.И. Баранов

высокой премии были удостоены «за развитие физики полупроводниковых гетероструктур для высокочастотной техники и оптоэлектроники», а третий физик (американский инженер-изобретатель Дж.К. Килби) – «за вклад в открытие интегральной схемы» [1-4].

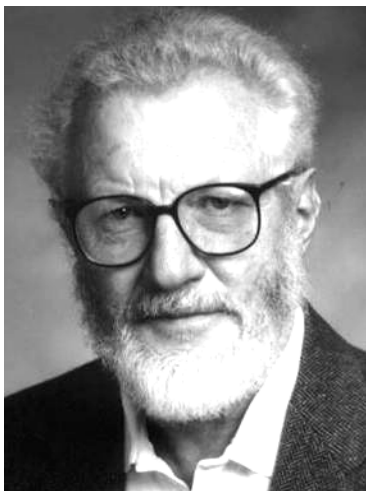


Рис. 3. Выдающийся немецкий физик-теоретик и экспериментатор Герберт Крёмер (Herbert Krömer, 1928 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2000 г.

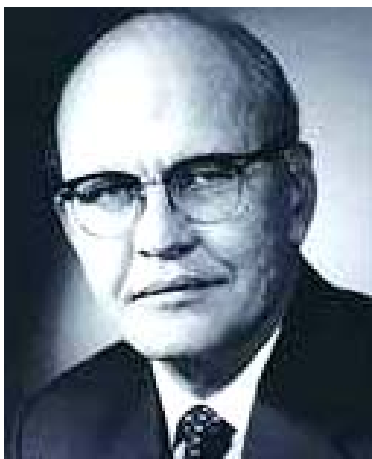


Рис. 4. Американский физик и инженер-изобретатель Джек Клейр Килби (Jack Kleyn Kilby, 1923 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2000 г.

Нобелевские лауреаты по физике Ж.И. Алфёров и Г. Крёмер стали одними из основателей современной информационной быстродействующей техники, способной передавать большой объем информации за короткий промежуток времени. Именно для этой техники они открыли и создали быстродействующие опто- и микроэлектронные устройства на базе полупроводниковых гетероструктур [2-4]. Данные устройства включают быстродействующие транзисторы, лазерные диоды для систем передачи информации в оптоволоконных сетях и мощные эффективные световоспринимающие диоды. Общеизвестно, что большинство полупроводниковых приборов основано на использовании $p-n$ - перехода, образующегося между поверхностями (частями) одного и того же полупроводника с разными типами его проводимости («электронной» или «дырочной»), создаваемыми за счет внедрения (введения) в них (эти поверхности или части) соот-

ветствующих примесей (например, атомов фосфора Р или бора В) [5, 6]. Напомним, что транзисторный эффект был открыт в 1947 г. американскими физиками Джоном Бардиным (1908-1991 гг.), Уолтером Браттейном (1902-1987 гг.) и Уильямом Брэдфордом Шокли (1910-1989 гг.), а первые в мире полупроводниковые устройства-транзисторы с $p-n-p$ переходом (кристаллические германиевые триоды-усилители с точечным контактом) были созданы в 1949 г. [4]. В 1956 г. указанным ученым-физикам США «за исследование полупроводников и открытие транзисторного эффекта» была присуждена Нобелевская премия по физике [1]. Кроме того, У.Б. Шокли в 1949 г. предсказал возможность осуществления полупроводникового диода с $p-n$ - переходом и разработал его теорию, а в 1951 г. он предложил использовать в транзисторах гетеропереходы [1]. Гетеропереход в полупроводниковой структуре является, по существу, контактной зоной между двумя разными по своему химическому составу полупроводниками с различными ширинами их запрещенных энергетических зон [4, 7]. Практическая реализация гетеропереходов давала возможность создания электронных и оптоэлектронных приборов чрезвычайно малых размеров вплоть до атомных масштабов. Попытки создания таких высокоэффективных гетеропереходов в физике и технике полупроводников долгие годы оставались безрезультатными. Для создания идеального гетероперехода физикам необходимо было подобрать два разных полупроводника с практически одинаковыми на атомарном уровне размерами элементарных ячеек их кристаллических решеток. Первому в мире решить эту физико-техническую задачу в конце 1960-х годов удалось нашему отечественному ученому – тогда еще к.ф.-м.н. Ж.И. Алфёрову (свою кандидатскую диссертацию, посвященную получению сверхчистых германиевых и кремниевых кристаллов, он защитил в 1961 г.), работавшему во всемирно известном Ленинградском физико-техническом институте (ЛФТИ) им А.Ф. Иоффе [4, 8]. Заметим, что позже с 1987 по 2003 гг. д.ф.-м.н. (свою докторскую диссертацию он защитил в 1970 г. в ЛФТИ по результатам исследований гетеропереходов в полупроводниках) Ж.И. Алфёров, став в 1979 г. академиком РАН (в период 1990-2013 гг. он был также вице-президентом АН СССР и РАН), был директором этого института [8, 9]. Он со своими коллегами по ЛФТИ им. А.Ф. Иоффе к 1970 г. на основе галлия Ga и мышьяка As создал эффективный гетеропереход из полупроводников с близкими периодами кристаллической решетки – вида GaAs и далее, используя алюминий Al, – тройное полупроводящее соединение с гетеропереходом вида AlGaAs [4]. Развитие технологии получения гетеропереходов путем эпитаксиального роста в вакууме кристаллической пленки одного полупроводника на поверхности другого привело в мире к дальнейшей миниатюризации радиоэлектронных устройств вплоть до нанометрических размеров [4, 8]. Было установлено, что в полупроводниковой активной среде с линейными размерами (толщиной) от 50 мкм до 1 мм можно было добиваться очень больших показателей оптического усиления света, необходи-

мых для создания в области квантовой электроники мощного лазерного излучения. Следует отметить, что в полупроводниковых лазерах используются квантовые переходы между энергетическими уровнями *гетероструктурного* полупроводника [8]. Однако, физики долго не могли решить очень важную проблему, связанную с тем, что полупроводниковые лазеры устойчиво работали только при низких температурах. Так, первые полупроводниковые лазеры, созданные на соединениях галлия Ga и мышьяка As, работали в низкотемпературном диапазоне от 4 до 20 К [8]. Благодаря разработкам Ж.И. Алфёрова полупроводниковые лазеры надежно заработали (с 1969 г.) и при комнатных температурах. Советские ученые-физики, активно работавшие рядом с Ж.И. Алфёровым, понимали, что в условиях острой конкуренции с западными фирмами соответствующие отечественные разработки в области физики и техники полупроводников необходимо было выполнять в крайне сжатые сроки. На примере самоотверженного труда выдающегося ученого-физика современности Ж.И. Алфёрова убеждаешься, что успех в жизни и науке приходит не просто к талантливому человеку, а к талантливому и трудолюбивому человеку [2, 4, 9]. Невиданные перспективы открываются сейчас перед людьми благодаря новым способам обработки и передачи информации, включая оптоэлектронику. На смену микроэлектронике приходит наноэлектроника. Свой весомый вклад в эти важнейшие области физики внесли указанные нобелевские лауреаты за 2000 г. [1].

Укажем, что в 1952 г. Г. Крёмер защитил докторскую диссертацию в Гёттингенском университете на тему, связанную с изучением эффекта «горячих» электронов в транзисторах [3]. В 1950-х годах им была разработана теория биполярного транзистора, выполненного на основе *гетероструктур* и который мог работать в гигагерцовом частотном диапазоне. В 1963 г. он независимо от советского ученого-физика Ж.И. Алфёрова разработал физические основы построения полупроводниковых лазеров, использующих двойные *гетероструктуры*. Данные разработки на многие годы опережали развитие радио- и квантовой электроники [3]. Свое практическое применение они нашли лишь в период 1970-1980-х годов с развитием в мире атомной (молекулярной) *эпитаксии* – ориентированного роста в вакууме одного кристалла на поверхности другого (подложке) [3, 10]. В середине 1970-х годов Г. Крёмер, работая профессором Калифорнийского университета (г. Санта-Барбара, США), с помощью метода молекулярной *эпитаксии* изучал новые комбинации полупроводниковых *гетероструктур* на кремниевой подложке, включающие галлий Ga и фосфор P – соединение вида GaP, а также предложенное Ж.И. Алфёровым в ЛФТИ им. А.Ф. Иоффе соединение вида GaAs. С 1985 г. Г. Крёмер свои научные интересы направил на изучение других полупроводниковых *гетероструктур*, включающих комбинации индия In с мышьяком As – соединение вида InAs, галлия Ga с сурьмой Sb – соединение вида GaSb и алюминия Al с сурьмой Sb – соединение вида AlSb [3, 8].

2. Создание интегральной схемы. Прежде всего, следует заметить, что под *интегральной схемой* в

слаботочной электронике понимается микроминиатюрное электронное устройство, элементы которого нераздельно связаны между собой конструктивно, технологически и электрически [10]. Микроэлектроника, выросшая на интегральных схемах, стала основой многих современных технологий. Поэтому недаром 1/2 часть Нобелевской премии по физике за 2000 г. в области фундаментальных работ по информационным и коммуникационным технологиям Шведская Королевская академия наук присудила американскому физика и изобретателю Дж. К. Килби (компания Texas Instruments, г. Даллас, США) за изобретение интегральной микросхемы. А начиналось вся эта работа в 1958 г., когда Дж. К. Килби создал первую простейшую интегральную схему на кристалле германия. В феврале 1959 г. он подал в Патентное ведомство США заявку на интегральную схему (патент ему был выдан в 1964 г.), в которой транзистор изготавливался с послойно выполненными *p-n-p* или *n-p-n* переходами [1, 8]. Фундаментальная разработка талантливого физика и инженера-изобретателя Дж. К. Килби оказалась истинно бесценной для бурного развития во всем нашем мире современных информационных технологий. В настоящее время на микрочипах (микросхемах) выпускается широчайший ассортимент электронных аппаратов, начиная от часов до компьютеров, управляющих сложными наземными и космическими объектами. По меткому высказыванию члена указанной выше Академии наук Г. Гриммайса [8]: «... *Без разработок Дж. К. Килби по интегральным микросхемам невозможно было бы создание персональных компьютеров, а без разработок Ж.И. Алфёрова и Г. Крёмера по полупроводниковым гетероструктурам было бы невозможным быстро передавать огромные потоки информации через спутники связи*».

3. Открытие конденсации Бозе-Эйнштейна. Очередным проникновением пытливого ума человеческого в тайны окружающего нас микромира материи стало открытие в 1995 г. американскими и немецкими физиками-экспериментаторами нового состояния вещества в экстремальных температурных условиях – *Бозе-Эйнштейновского конденсата* [11]. Этими учеными-первопроходцами стали талантливые физики – американцы Эрик Аллин Корнелл (рис. 5), Карл Виман (рис. 6) и немец Вольфганг Кеттерле (рис. 7) [1].



Рис. 5. Выдающийся американский физик-экспериментатор Эрик Аллин Корнелл (Eric Allin Cornell, 1961 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2001 г.

Материальная субстанция, впервые полученная опытным путем работавшими в различных американских научно-исследовательских учреждениях (Э.А. Корнелл в Национальном институте стандартов; К. Виман в Колорадском университете; В. Кеттерле в Массачусетском технологическом институте) указанными учеными-физиками в результате так называемой конденсации Бозе-Эйнштейна при сверхнизких температурах (около $20 \cdot 10^{-9}$ К), в природе сама по себе не существует [12-15]. Возможность существования вещества в таком новом физическом состоянии предсказали еще в 1920-х годах выдающиеся физики-теоретики из Индии Шатъендрнат Бозе (1894-1974 гг.) и Германии Альберт Эйнштейн (1879-1955 гг.) [1, 16]. В июне 1995 г. Э.А. Корнелл и К. Виман экспериментально получили маленькое «пятнышко» субстанции Бозе-Эйнштейна, состоящее из 2000 переохлажденных атомов щелочного элемента рубидия Rb.



Рис. 6. Выдающийся американский физик-экспериментатор Карл Виман (Carl Wieman, 1951 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2001 г.



Рис. 7. Выдающийся немецкий физик-экспериментатор Вольфганг Кеттерле (Wolfgang Ketterle, 1957 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2001 г.

Для получения конденсации Бозе-Эйнштейна в газе этого металла, для которой характерным является то, что при очень низкой конечной температуре практически все входящие в ее состав атомы (молекулы) заполняют один энергетический уровень, соответствующий их нулевому импульсу (количеству движения), данные физики-экспериментаторы «улавливали» атомы щелочного химического элемента рубидия Rb

«магнитными ловушками», а затем путем их (атомов) сверхглубокого охлаждения (до температур порядка 10^{-5} К) «паутиной» из лазерных лучей резко замедляли их движение [15]. Заметим, что в используемых ими «магнитных ловушках» исключалось взаимодействие этих атомов со стенками низкотемпературного сосуда (роль стенки такого сосуда при этом играло магнитное поле параболической конфигурации). Используя далее технику физического эксперимента, похожую на обычное выпаривание («метод испарительного охлаждения»), эти физики избавлялись от самых «горячих» (быстрых) атомов и работали с указанными атомами в состоянии, близком к абсолютно нулю температуры (при температурах порядка 10^{-8} К) [11, 15]. В результате таких сверхтонких оптических манипуляций (в рабочий объем конденсируемого газа вводить ничего другого материального было нельзя – в противном случае «погибала» уникальная конденсируемая среда [17]) на атомарном уровне им при фантастически низкой температуре (около $2 \cdot 10^{-8}$ К) удалось получить бозе-эйнштейновскую конденсацию разреженного газа с атомами рубидия Rb [15, 17]. В 1995 г., несколькими месяцами спустя, В. Кеттерле удалось не только повторить научные результаты Э.А. Корнелла и К. Вимана, но и получить при использовании в подобных низкотемпературных опытах другого щелочного элемента из периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева натрия Na значительно большее количество бозе-эйнштейновского конденсата (до 10^5 переохлажденных атомов этого элемента) [17]. Кроме того, в 1997 г. В. Кеттерле при изучении этого уникального бозе-эйнштейновского конденсата разреженного газа щелочного металла (с его плотностью порядка 10^{21} м^{-3}) показал, что поведение атомов натрия Na в таком конденсате полностью согласовано и в нем сгусток этих атомов колеблется в унисон и когерентно. Ему удалось под действием сил земной гравитации сформировать из нового агрегатного состояния вещества своего рода лазерный «атомарный луч», состоящий не из световых квазичастиц (фотонов), а из микрочастиц, обладающих массой покоя [15]. Профессор физики Даниэл Клеппнер об открытии конденсации Бозе-Эйнштейна сказал следующие примечательные слова [15]: «... Демонстрация того факта, что атомы могут существовать в своего рода квантовомеханическом унисонном состоянии окажет значительное влияние на многие разделы физического знания. Картина слияния атомных волн и реализация, так сказать, атомного лазера поразили научное воображение множества физиков». Ученым-физикам понадобилось фактически 70 лет, чтобы экспериментально подтвердить теорию конденсата Бозе-Эйнштейна, предложенную в 1924-1925 гг. [1, 4]. Где может найти прикладное применение данное новое открытие выдающихся ученых-физиков? Прежде всего, при создании сверхпрецизионных атомных часов, ультраминиатюрных электронных схем и квантовых компьютеров, обладающих невообразимым быстродействием [15, 17]. В 2001 г. Э.А. Корнелл, К. Виман и В. Кеттерле «за экспериментальное наблюдение бозе-эйнштейновской конденсации в разреженных газах

атомов щелочных металлов и за первые фундаментальные исследования свойств таких конденсатов» были удостоены Нобелевской премии по физике [1]. Об этом важном событии в мире науки академик РАН Ю.М. Каган (РНИЦ «Курчатовский институт», РФ) сказал [17]: «... Нобелевской премией по физике за 2001 г. были отмечены выдающиеся работы, которым суждено сыграть заметную роль в современной науке».

4. Обнаружение космических нейтрино. В 2002 г. очередными лауреатами Нобелевской премии по физике стали американский физик-химик Раймонд Дэвис-младший (мл.) (рис. 8) и японский физик-экспериментатор Масатоси Косиба (рис. 9) «за создание нейтринной астрономии» и итальянский физик-экспериментатор Риккардо Джаккони (рис. 10) «за открытие космических источников рентгеновского излучения» [18]. После защиты в 1942 г. в Йельском университете США докторской диссертации по теме из области физической химии и службы в армии США, связанной с испытаниями химического оружия, Р. Дэвис-мл. оказался в Брукхэйвенской национальной лаборатории, занимающейся проблемами мирного использования атомной энергии [19]. Вот здесь он и решил вплотную заняться физикой *нейтрино* – одной из девяти абсолютно стабильных частиц [1, 20].



Рис. 8. Выдающийся американский физик-химик Раймонд Дэвис-младший (Raymond Davis Jr., 1914-2006 гг.), лауреат Нобелевской премии по физике за 2002 г.



Рис. 9. Выдающийся японский физик-экспериментатор Масатоси Косиба (Masatoshi Kosiba, 1926 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2002 г.

Отметим, что в конце 1940-х годов *нейтрино* существовали только в виде теоретического постулата. Экспериментальных результатов в физике элементарных частиц на эту тему в мире еще не было. В своих первых ядерных экспериментах Р. Дэвис-мл. решил воплотить идею от 1946 г. итальянского физика-теоретика Бруно Понтекорво (1913-1993 гг.), ставшего позже известным советским физиком в области ядерной физики (академиком АН СССР с 1964 г. и РАН с 1991 г.) [1]. Эта идея заключалась в регистрации *нейтрино*, возникающих в активной зоне ядерных реакторов, при помощи ядерной реакции следующего вида [1, 19]: ${}_{17}^{37}\text{Cl} + \nu_e \rightarrow {}_{18}^{37}\text{Ar} + e^-$. Эта реакция, включающая захват изотопом хлора электронного *нейтрино* ν_e , должна была приводить к образованию изотопа аргона и электрона e^- . В 1955 г. в качестве хлорсодержащей среды, улавливающей *нейтрино* ν_e , им была использована емкость объемом гораздо более $3,78 \text{ м}^3$, наполненная тетрахлорметаном и размещенная вблизи энергетического ядерного реактора на объекте США в районе Саванна Ривер Сайт [19]. Однако, в данных схемах детектирования *нейтрино* ν_e конечный результат для ученых оказался отрицательным по той причине, что в используемых ядерных реакторах возникали *антинейтрино* $\bar{\nu}_e$, а экспериментальная установка Р. Дэвиса-мл. была чувствительна лишь к *нейтрино* ν_e . Тем не менее, целеустремленный Р. Дэвис-мл. в 1960-х годах решил использовать разработанную им экспериментальную методику для обнаружения и измерения солнечных (космических) *нейтрино* ν_e в радиационном потоке от Солнца. С этой целью им в глубокой шахте Хоумстейк, расположенной вблизи г. Лид (штат Южная Дакота, США), на глубине 1400 м была смонтирована установка с хлорсодержащей жидкостью (перхлорэтиленом) уже объемом 378 м^3 [19]. В 1970 г. с помощью этой уникальной экспериментальной установки и хлор-аргонного метода детектирования элементарных частиц Р. Дэвис-мл. смог впервые в мире зарегистрировать солнечные *нейтрино* ν_e . При этом он опытным путем показал, что скорость ядерной реакции вида ${}_{17}^{37}\text{Cl} + \nu_e \rightarrow {}_{18}^{37}\text{Ar} + e^-$ составляет $2,1 \pm 0,3$ солнечных нейтринных единиц (это было эквивалентно протеканию в хлорсодержащей емкости указанного объема одного акта ядерного взаимодействия в 1 с на 10^{36} атомов ядерной мишени) [1]. Вероятность наступления такого ядерного акта взаимодействия была ничтожно малой. Р. Дэвис-мл. смог убедить мировое научное сообщество в реальном существовании в микромире материи событий, происходящих с частотой несколько десятков раз в месяц. Поэтому Р. Дэвис-мл. по праву считается одним из основоположников нейтринной астрофизики.

В 1955 г. М. Косиба, закончивший в 1951 г. Токийский университет, защитил докторскую диссертацию в Рочестерском университете США по теме, посвященной сверхвысокоэнергетическим явлениям в космических лучах [21]. В 1970-х годах эти научные занятия и интересы в области физики высоких энергий привели М. Косибу к попытке углубления наших знаний о таких представителях микромира материи как *мюоны* и *нейтрино* [20]. Сконструированный им

детектор элементарных частиц «Kamiokande», первоначально предназначенный для регистрации в рамках выполняемого на ускорителе протонов DESY (г. Гамбург, Германия) немецко-японского проекта JADE продуктов распада на ядерной мишени ускоренных протонов, он использовал для детектирования космических *нейтрино* ν_e [21]. В процессе взрыва в космосе сверхновой звезды 1987А ему удалось на указанном детекторе зарегистрировать 12 шт. космических *нейтрино* ν_e , причем девять из них он зафиксировал в первые две секунды этого грандиозного космического явления. Эти экспериментальные результаты явились первыми прямыми опытными данными, подтверждающими ранее разработанные астрофизиками теории процессов, происходящих при коллапсах звезд нашей Вселенной. В частности, теорию «нейтринного охлаждения» этих регулярно наблюдаемых нами на ночном небосклоне «живущих» миллиарды лет и когда-то все же «умирающих» уникальных по размерам и внутренним процессам космических объектов [22].

5. Открытие космических источников рентгеновского излучения. Начнем с того, что укажем, что в 1960 г. ученым-астрономам удалось впервые получить изображение Солнца в рентгеновском диапазоне. В 1962 г. группе ученых США, в составе которых был будущий нобелевский лауреат Р. Джаккони, с помощью установленного на запущенной и просуществовавшей в околоземном пространстве около 6 мин. ракете счетчика Гейгера [1, 20], удалось открыть первый источник рентгеновского излучения вне Солнечной системы (звезда X-1 в созвездии Скорпиона) [23].



Рис. 10. Выдающийся итальянский физик-астроном Риккардо Джаккони (Riccardo Giacconi, 1931 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2002 г.

Вдохновленный этим успехом Р. Джаккони инициировал разработку и создание спутника «UHURU» (это название в переводе с африканского языка «суахили» означает «СВОБОДА» [10, 23]) для рентгеновской астрономии, запущенного на околоземную орбиту в 1970 г. Этот спутник США оказался наиболее технически совершенным в мире астрономическим аппаратом в 1970-е годы [23]. Именно с его помощью ученым-астрономам удалось открыть в космическом пространстве более 400 новых астрономических объектов, в том числе первые «рентгеновские пульсары» и «черные дыры» [24]. Новым успехом Р. Джаккони

стал запуск в 1978 г. созданной под его научным руководством в США орбитальной рентгеновской обсерватория «EINSTEIN» (это название она получила в честь выдающегося немецко-американского физика-теоретика Альберта Эйнштейна [1, 16]). Чувствительность рентгеновской аппаратуры данной обсерватории была настолько высокой, что она позволяла обнаруживать в открытом космосе объекты со светимостью в миллионы раз слабее, чем от указанной нами выше звезды X-1. В 1990 г. под научным руководством Р. Джаккони был создан и выведен на околоземную орбиту самый крупный в мире космический телескоп «HUBBLE», названный в честь знаменитого американского астронома Эдвина Пауэлла Хаббла (1889-1953 гг.) [24]. После устранения в 1993 г. американскими астронавтами допущенных при его сборке в земных условиях ошибок и вызванных ими неисправностей в его работе на полученных с его помощью и переданных на Землю уникальных снимках перед человечеством в цвете предстала совершенно новая, великолепная по четкости и разрешению величественная картина нашей Вселенной [23]. В 1999 г. снова под вдохновляющим творческим началом Р. Джаккони в США была построена новая космическая рентгеновская обсерватория «CHANDRA», получившая свое название в честь известного американского астрофизика и лауреата Нобелевской премии по физике за 1983 г. («за исследования строения и эволюции звезд») С. Чандрасеккара (1910-1995 гг.) [1, 23]. За несколько лет работы на околоземной орбите ее уникальная аппаратура позволила обнаружить сверхмассивные «черные дыры» в ядрах ряда галактик и рентгеновские «пульсары», а также получить уникальные снимки многих звезд, туманностей и других интересных для землян небесных объектов бесконечной и постоянно поражающей их воображение Вселенной в невидимых человеческим глазом рентгеновских лучах [23]. Научный вклад физика-астронома Р. Джаккони в астрофизику и изобретение им оригинальных рентгеновских телескопов, которые привели к открытию источников интенсивных космических рентгеновских лучей и созданию нового раздела в астрономической науке – рентгеновской астрономии, и был по достоинству оценен в 2002 г. членами Нобелевского комитета при Шведской Королевской академии наук [25].

6. Создание теории сверхпроводников и сверхтекучих жидкостей. В 2003 г. Нобелевская премия по физике была присуждена трем выдающимся физикам-теоретикам «за пионерский вклад в теорию сверхпроводников и сверхтекучих жидкостей» [25, 26]. Лауреатами данной престижной премии при этом стали [1]: россиянин-американец Алексей Алексеевич Абрикосов (рис. 11), россиянин Виталий Лазаревич Гинзбург (рис. 12) и англичанин-американец Энтони Джеймс Леггетт (рис. 13). А.А. Абрикосов, работая в Институте физических проблем АН СССР (г. Москва), в 1955 г. защитил докторскую диссертацию в области квантовой электродинамики высоких энергий [26]. Далее он свои творческие усилия направил на разгадку тайн сверхпроводимости вещества. К тому времени тремя выдающимися американскими физиками-теоретиками Джоном Бардиным (1908-1991 гг.), Леоном Купером (1930 г. рождения) и Джоном

Шриффером (1931 г. рождения) уже была создана микроскопическая теория сверхпроводимости материала («теория БКШ»), удостоенная в 1972 г. Нобелевской премии по физике [1, 27]. Данная теория для сверхпроводимости чистых металлов (сверхпроводников I-го рода [26], базирующаяся на идее «куперовских электронных пар», оказалась не в состоянии обосновать физические механизмы возникновения этого явления в сплавах (сверхпроводниках II-го рода [26]), имеющих важное технико-практическое применение и сохраняющих сверхпроводящие свойства в условиях действия на них сильных магнитных полей с индукцией 1 Тл и более (для напряженности магнитного поля 10 кЭ и выше) [26-29]. А.А. Абрикосов смог объяснить свойства сверхпроводников II-го рода [26].



Рис. 11. Выдающийся российско-американский физик-теоретик, академик АН СССР и РАН Алексей Алексеевич Абрикосов (1928 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2003 г.

Развивая теоретические подходы, представленные еще в 1950 г. известными советскими учеными-физиками в феноменологической теории сверхпроводимости Гинзбурга-Ландау, он уже в 1952 г. для объяснения этого явления в сверхпроводниках II-го рода воспользовался регулярной решеткой магнитных линий («вихревой решеткой Абрикосова»), окруженных кольцевыми микротоками [30]. Им была выдвинута новая идея о существовании в таких сверхпроводниках сверхтонких областей нормальной фазы [1, 26, 27].



Рис. 12. Выдающийся российский физик-теоретик, академик АН СССР и РАН Виталий Лазаревич Гинзбург (1916-2009 г.), лауреат Нобелевской премии по физике за 2003 г.

В 1957 г. А.А. Абрикосов, уточняя свои научные построения в рассматриваемой области, разработал теорию, согласно которой в сверхпроводниках II-го рода одновременно существуют нормальная и сверхпроводящая фазы [1, 27]. Он выполнил детальный расчет структуры такого «смешанного» состояния в сверхпроводниках II-го рода, который показал, что нормальная фаза в них зарождается в форме тонких нитей («вихрей Абрикосова»). Эти нити, имеющие толщину, сравнимую с глубиной проникновения Δ_M магнитного поля в сверхпроводник этого рода (как правило, $\Delta_M \approx 10$ нм [27]), пронизывают весь объем материала сверхпроводника. Причем, с увеличением уровня напряженности внешнего магнитного поля концентрация этих нитей в нем возрастает [31]. Возрастает соответственно и зона нормальных областей. При критическом уровне напряженности магнитного поля материал сверхпроводника II-го рода теряет свои сверхпроводящие свойства. В 1960 г. А.А. Абрикосов совместно с будущим академиком АН СССР (с 1987 г.) и РАН (с 1991 г.) Л.П. Горьковым создал теорию применительно к сверхпроводникам, содержащим в своем составе магнитные примеси, а также предсказал новое явление бесщелевой сверхпроводимости [1, 27].

В.Л. Гинзбург, работая с 1940 г. в теоретическом отделе Физического института им. П.Н. Лебедева АН СССР (ФИАН), в 1942 г. (в тяжелые годы для граждан и ученых советской страны и военно-эвакуационный период работы ФИАН в г. Казани) защитил докторскую диссертацию по теории микрочастиц с высшими спинами [32]. Он не один раз просился у соответствующих военных органов уйти на фронт добровольцем, но его просьбы удовлетворены не были (видимо, судьбой ему было предназначено выполнить в жизни что-то другое и не менее важное). С 1943 г. он переключился в ФИАН на тематику, связанную с природой явления сверхпроводимости вещества, не имевшего в то время физического объяснения. В 1950 г. В.Л. Гинзбург совместно с будущим лауреатом Нобелевской премии по физике за 1962 г. («за пионерские исследования в теории конденсированного состояния материи, в особенности жидкого гелия» [1]), академиком АН СССР Львом Давидовичем Ландау была разработана теория сверхпроводимости («теория Гинзбурга-Ландау») [32]. Эта теоретическая разработка считается наиболее весомым научным вкладом В.Л. Гинзбурга в физическую природу явления сверхпроводимости. В 1958 г. В.Л. Гинзбург совместно с будущим академиком АН СССР (с 1990 г.) и РАН (с 1991 г.) Л.П. Питаевским разработал феноменологическую теорию сверхтекучести вещества («теория Гинзбурга-Питаевского») [1, 32]. Исследования в области физики сверхтекучих жидкостей позволяют человечеству глубже проникнуть в сложные и зачастую неизвестные процессы, протекающие в материи при сверхнизких температурах в наиболее низком и упорядоченном энергетическом состоянии ее атомов.

В 1964 г. Э.Дж. Леггетт защитил в Оксфордском университете (г. Оксфорд, Англия) докторскую диссертацию в области физики конденсированного состояния вещества, связанной с высокотемпературной сверхпроводимостью и сверхтекучестью материи, а с

1983 г. работал профессором теоретической физики в Иллинойском университете (г. Иллинойс, США). Укажем, что Э.Дж. Леггеттом была разработана теория сверхтекучести легкого изотопа гелия ${}^2\text{He}$ при сверхнизких температурах [1]. Им были выполнены глубокие теоретические исследования макроскопической квантовой когерентности и процессов рассеяния волн материи в ряде важных для практики квантовых систем. Он положил начало теоретическим исследованиям макроскопических диссипативных систем и применению специальных конденсированных систем для проверки основных положений квантовой механики (в частности, возможности распространения квантового формализма на макроскопический уровень) [1].



Рис. 13. Выдающийся английско-американский физик-теоретик Энтони Джеймс Леггетт (Anthony James Leggett, 1938 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2003 г.

7. Открытие асимптотической свободы в теории сильных взаимодействий элементарных частиц. Нобелевская премия по физике за 2004 г. была вручена трем американским физикам-теоретикам «за открытие асимптотической свободы в теории сильных взаимодействий» [33]: Дэвиду Джонатану Гроссу (рис. 14), Хью Дэвиду Политцеру (рис. 15) и Фрэнку Антони Вильчеку (рис. 16). В 1966 г. Д.Дж. Гросс защитил докторскую диссертацию по физике в Калифорнийском университете (г. Беркли, США) [33, 34].



Рис. 14. Выдающийся американский физик-теоретик Дэвид Джонатан Гросс (David Jonathan Gross, 1941 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2004 г.

Д.Дж. Гросс в 1973 г. совместно со своим аспирантом-физиком Ф.А. Вильчеком обнаружил «асимптотическую свободу», согласно которой сильное взаимодействие между *кварками* ослабевает с уменьшением расстояния между ними [34, 35]. Заметим, что под «кварками» в физике элементарных частиц понимаются гипотетические частицы (прямым экспериментальным путем они пока никем в мире не зафиксированы) с дробным электрическим зарядом ($1/3$ и $2/3$ от элементарного отрицательного заряда электрона $e^- = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл [20]) [10]. Согласно одной из предложенных гипотез считается, что, возможно, из *кварков* состоят элементарные частицы (*адроны*), участвующие в микромире в сильных взаимодействиях.



Рис. 15. Выдающийся американский физик-теоретик Хью Дэвид Политцер (Hugh David Politzer, 1949 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2004 г.

Согласно теоретическим данным Д.Дж. Гросса и Ф.А. Вильчека, полученным ими в Принстонском университете (г. Принстон, США), в случае очень близкого взаимного расположения *кварков* они должны вести себя как свободные частицы. Именно в этом и состоит открытое физиками-теоретиками явление «асимптотической свободы» для рассматриваемых элементарных частиц нового типа [1]. К аналогичным результатам в теоретических исследованиях взаимодействия *кварков* пришел в 1973 г. и работавший в Гарвардском университете США Х.Д. Политцер [36].



Рис. 16. Выдающийся американский физик-теоретик Фрэнк Антони Вильчек (Frank Anthony Wilczek, 1951 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2004 г.

Дальнейшие события в области физики элементарных частиц и физики высоких энергий показали, что открытое американскими физиками-теоретиками явление «асимптотической свободы» сыграло ключевую роль в развитии квантовой хромодинамики, занимающейся как раз теоретическими аспектами сильных взаимодействий представителей микромира [36].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Храмов Ю.А. История физики. – Киев: Феникс, 2006. – 1176 с.
2. https://ru.wikipedia.org/wiki/Алфёров,_Жорес_Иванович.
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/Крёмер,_Герберт.
4. [http://www.phys.msu.ru/rus/about/sovphys/ISSUES-2000/5\(19\)-2000/19-4](http://www.phys.msu.ru/rus/about/sovphys/ISSUES-2000/5(19)-2000/19-4).
5. Алфёров Ж.И., Андреев В.М., Румянцев В.Д. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики // Физика и техника полупроводников. – 2004. – Том 38. – Вып. 8. – С. 937-948. doi: 10.1134/1.1787110.
6. Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике. Часть 32: Альтернативная энергетика: состояние и перспективы развития // Электротехника і електромеханіка. – 2016. – №3. – С. 3-16. doi: 10.20998/2074-272X.2016.3.01.
7. Кухлинг Х. Справочник по физике / Пер. с нем. под ред. Е.М. Лейкина. – М.: Мир, 1982. – 520 с.
8. <http://allrefs.net/c24/22vfk>.
9. Храмов Ю.А. Алфёров Жорес Иванович // Физики: Биографический справочник / Под ред. А.И. Ахиезера. – М.: Наука, 1983. – 400 с.
10. Большой иллюстрированный словарь иностранных слов. – М.: Русские словари, 2004. – 957 с.
11. <http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1171898>.
12. https://ru.wikipedia.org/wiki/Корнелл,_Эрик_Аллин.
13. https://ru.wikipedia.org/wiki/Виман,_Карл.
14. https://ru.wikipedia.org/wiki/Кеттерле,_Вольфганг.
15. <http://www.sbras.ru/HBC/hbc.phtml?8+71+1>.
16. Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике. Часть 34: Открытие и изучение квантово-волновой природы микромира материи // Электротехника і електромеханіка. – 2016. – №5. – С. 3-15. doi: 10.20998/2074-272X.2016.5.01.
17. http://vivovoco.astronet.ru/VV/JOURNAL/NATURE/01_02/NOBEL2001.HTM.
18. <http://www.afportal.ru/physics/prize/2002>.
19. https://ru.wikipedia.org/wiki/Дэвис,_Раймонд.
20. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики / Отв. ред. В.К. Тартаковский. – Киев: Наукова думка, 1989. – 864 с.
21. https://ru.wikipedia.org/wiki/Косиба,_Масатоси.
22. <http://velchel.ru/index.php?cnt=9>.
23. https://ru.wikipedia.org/wiki/Джаккони,_Риккардо.
24. Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике: Монография в 2-х томах. Том 2. – Х.: НТМТ, 2013. – 333 с.
25. http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics.
26. <http://n-t.ru/nl/2003.htm>.
27. Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике: Монография в 2-х томах. Том 1. – Х.: НТМТ, 2011. – 311 с.
28. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля. – М.: Мир, 1972. – 391 с.
29. Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики: Монография в 2-х томах. Том 1: Электрофизика и выдающиеся физики мира. – Х.: НТУ «ХПИ», 2008. – 252 с.
30. https://ru.wikipedia.org/wiki/Абрикосов,_Алексей_Алексеевич.
31. <http://elementy.ru/lib/430825/430827>.
32. https://ru.wikipedia.org/wiki/Гинзбург,_Виталий_Лазаревич.
33. <http://www.afportal.ru/physics/prize/2004>.
34. https://ru.wikipedia.org/wiki/Гросс,_Дэвид.
35. https://ru.wikipedia.org/wiki/Вильчек,_Фрэнк.
36. https://ru.wikipedia.org/wiki/Политцер,_Хью_Дэвид.

REFERENCES

1. Khramov Yu.A. *Istoriia fiziki* [History of Physics]. Kiev, Feniks Publ., 2006. 1176 p. (Rus).
2. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Zhores_Alfеров (accessed 15 August 2012).
3. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Herbert_Kroemer (accessed 25 September 2013).
4. Available at: [http://www.phys.msu.ru/rus/about/sovphys/ISSUES-2000/5\(19\)-2000/19-4](http://www.phys.msu.ru/rus/about/sovphys/ISSUES-2000/5(19)-2000/19-4) (accessed 11 April 2012). (Rus).
5. Alferov Z.I., Andreev V.M., Romyantsev V.D. Solar photovoltaics: Trends and prospects. *Semiconductors*, 2004, vol.38, no.8, pp. 899-908. doi: 10.1134/1.1787110.
6. Baranov M.I. An anthology of the distinguished achievements in science and technique. Part 32: Alternative energy: state and prospects of development. *Electrical engineering & electromechanics*, 2016, no.3, pp. 3-16. (Rus). doi: 10.20998/2074-272X.2016.3.01.
7. Kuhling H. *Spravochnik po fizike. Per. s nem.* [Dictionary on Physics. Translated from German]. Moscow, Mir Publ., 1982. 520 p. (Rus).
8. Available at: <http://allrefs.net/c24/22vfk> (accessed 10 July 2011).
9. Khramov Yu.A. *Alpherov Gores Ivanovich. Fiziki: Biograficheskij spravochnik* [Alferov Zores Ivanovich. Physics: Biographical Directory]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 400 p. (Rus).
10. *Bol'shoy illjustrirovannyj slovar' inostrannyh slov* [Large illustrated dictionary of foreign words]. Moscow, Russkie slovari Publ., 2004. 957 p. (Rus).
11. Available at: <http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1171898> (accessed 18 September 2013). (Rus).
12. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Eric_Allin_Cornell (accessed 21 February 2012).
13. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Carl_Wieman (accessed 22 May 2012).
14. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Eric_Allin_Cornell (accessed 15 August 2012).
15. Available at: <http://www.sbras.ru/HBC/hbc.phtml?8+71+1> (accessed 03 May 2012). (Rus).
16. Baranov M.I. An anthology of the distinguished achievements in science and technique. Part 34: Discovery and study of quantum-wave nature of microscopic world of matter. *Electrical engineering & electromechanics*, 2016, no.5, pp. 3-15. (Rus). doi: 10.20998/2074-272X.2016.5.01.
17. Available at: http://vivovoco.astronet.ru/VV/JOURNAL/NATURE/01_02/NOBEL2001.HTM (accessed 10 April 2014). (Rus).
18. Available at: <http://www.afportal.ru/physics/prize/2002> (accessed 23 July 2013). (Rus).
19. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Raymond_Davis_Jr (accessed 06 December 2013).
20. Kuz'michev V.E. *Zakony i formuly fiziki* [Laws and formulas of physics]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1989. 864 p. (Rus).
21. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Masatoshi_Koshiba (accessed 20 May 2012).
22. Available at: <http://velchel.ru/index.php?cnt=9> (accessed 09 October 2012). (Rus).
23. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Riccardo_Giacconi (accessed 11 October 2013).

24. Baranov M.I. *Antologiiia 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).
25. Available at: http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics (accessed 02 June 2015).
26. Available at: <http://n-t.ru/nl/2003.htm> (accessed 12 July 2014).
27. Baranov M.I. *Antologiiia 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).
28. Knopfel' G. *Sverkhsil'nye impul'snye magnitnye polia* [Ultra strong pulsed magnetic fields]. Moscow, Mir Publ., 1972. 391 p. (Rus).
29. Baranov M.I. *Izbrannye voprosy elektrofiziki: Monografija v 2-h tomah. Tom 1: Elektrofizika i vydajushhiesja fiziki mira* [Selected topics electrophysics: Monographs in 2 vols. Vol.1: Electrophysics and outstanding physics of the world]. Kharkov, NTU «KhPI» Publ., 2008. 252 p. (Rus).
30. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Alexei_Alexeyevich_Abrikosov (accessed 15 December 2014).
31. Available at: <http://elementy.ru/lib/430825/430827> (accessed 22 May 2012). (Rus).
32. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Vitaly_Ginzburg (accessed 30 July 2014).
33. Available at: <http://www.afportal.ru/physics/prize/2004> (accessed 14 April 2013). (Rus).
34. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/David_Gross (accessed 02 September 2012).
35. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Frank_Wilczek (accessed 14 June 2013).
36. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Hugh_David_Politzer (accessed 22 August 2014).

Поступила (received) 14.01.2016

*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 37: Nobel Prize Laureates in Physics for 2000-2004.

Purpose. Implementation of brief analytical review of the distinguished scientific achievements of the world scientists-physicists, awarded the Nobel bonus on physics for period 2000-2004. **Methodology.** Scientific methods of collection, analysis and analytical treatment of scientific and technical information of world level in area 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 period 2000-2004. **Originality.** Systematization is executed with exposition in the short concentrated form of the known scientific and technical materials, devoted creation of semiconductor heterostructures scientists-physicists, integral microcircuit, to the receipt of condensation of Bose-Einstein in rarefied gases of alkaline metals, finding out a space neutrino, opening of space sources of X-rays, development of theory of superconductors and superfluid liquids and opening of asymptotic freedom in the theory of strong interactions of elementary particles. **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 cooperant of further development of scientific and technical progress in human society. References 36, figures 16.

Key words: modern physics, achievements, semiconductor heterostructure, integrated circuit, condensation of Bose-Einstein in rarefied gases of alkaline metals, space neutrino, space sources of X-rays, theory of superconductors and superfluid liquids, asymptotic freedom in the theory of strong interactions of elementary particles.