УДК 621.3: 537.8: 910.4 **doi: 10.20998/2074-272X.2017.3.01**

М.И. Баранов

# АНТОЛОГИЯ ВЫДАЮЩИХСЯ ДОСТИЖЕНИЙ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ. ЧАСТЬ 38: ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ ПО ФИЗИКЕ ЗА 2005−2010 гг.

***Наведено короткий аналітичний огляд основних наукових досягнень вчених світу, які відмічені Нобелівською премією по фізиці за період 2005-2010 рр. До числа таких досягнень увійшли створення квантової теорії оптичної когерентності, розвиток лазерної точної спектроскопії, відкриття чорнотільної форми спектру і анізотропії космічного мікрохвильового фонового випромінювання, відкриття ефекту гігантського магнетоопору, відкриття механізму спонтанного порушення симетрії в субатомній фізиці, розробка нової технології передачі світла в оптичних волокнах, винахід напівпровідникової схеми для реєстрації зображень і результати новаторських експериментів по дослідженню двовимірного матеріалу графена.*** Бібл. 31, рис. 25.

*Ключові слова:* **сучасна фізика, досягнення, квантова теорія оптичної когерентності, лазерна надточна спектроскопія, космічне мікрохвильове фонове випромінювання, ефект гігантського магнітоопору, спонтанне порушення симетрії в субатомній фізиці, передача світла в оптичних волокнах, напівпровідникова схема для реєстрації зображень, двовимірний матеріал графен.**

***Приведен краткий аналитический обзор выдающихся научных достижений ученых мира, отмеченных Нобелевской премией по физике за период 2005-2010 гг. В число таких достижений вошли создание квантовой теории оптической когерентности, развитие лазерной точной спектроскопии, открытие чёрнотельной формы спектра и анизотропии космического микроволнового фонового излучения, открытие эффекта гигантского магнетосопротивления, открытие механизма спонтанного нарушения симметрии в субатомной физике, разработка новой технологии передачи света в оптических волокнах, изобретение полупроводниковой схемы для регистрации изображений и результаты новаторских экспериментов по исследованию двумерного материала графена.*** Библ. 31, рис. 25.

*Ключевые слова:* **современная физика, достижения, квантовая теория оптической когерентности, лазерная сверхточная спектроскопия, космическое микроволновое фоновое излучение, эффект гигантского магнетосопротивления, спонтанное нарушение симметрии в субатомной физике, передача света в оптических волокнах, полупроводниковая схема для регистрации изображений, двумерный материал графен.**

**Введение.** Как известно, в 1900 г. выдающийся немецкий физик-теоретик Макс Планк (1858-1947 гг.) разработал квантовую теорию теплового излучения абсолютно чёрного тела (АЧТ), в соответствии с которой тепловой поток от АЧТ содержал отдельные дискретные порции («*кванты*») энергии [1, 2]. Именно за открытие дискретных квантов «действия» (энергии) М. Планку в 1918 г. была присуждена Нобелевская премия по физике [1]. В 1905 г. квантовая теория теплового излучения М. Планка была существенно дополнена и развита другим выдающимся немецким физиком-теоретиком Альбертом Эйнштейном (1879-1955 гг.), распространившим ее на световое излучение и введшим для солнечного света понятие потока «*квантов электромагнитного излучения*» или «*фотонов*» − своеобразных квазичастиц без массы покоя [1, 2]. Так в физику было введено понятие дуализма (двойственности) для света, являвшегося одновременно потоком квазичастиц (фотонов) и набором электромагнитных волн различной длины. Световое излучение, имеющее квантово-волновую природу, носит стохастический характер. В этой связи состояние светового поля определяется лишь статистически [3]. Световые кванты характеризуются разными длинами волн, движущихся не в фазе. Микроструктура светового поля определяется огромным числом параметров, точное описание которых дать невозможно. Поэтому ранее можно было исследовать лишь некоторые частные характеристики светового поля (например, его спектр и среднюю интенсивность [3]).

**1. Квантовая оптика и сверхточная лазерная спектроскопия.** Нобелевская премия по физике за 2005 г. была присуждена выдающимся ученым, работающим в области современной оптики и лазерной техники [3]: американскому физику-теоретику Рою Глауберу (рис. 1) − «*за вклад в квантовую теорию оптической когерентности*», американскому физику-экспериментатору Джону Холлу (рис. 2) и немецкому физику-экспериментатору Теодору Хеншу (рис. 3) − «*за развитие прецизионной лазерной спектроскопии, в частности, за методы комбинационной лазерной спектроскопии в оптическом диапазоне*». В 1963 г. Р. Глаубер обнародовал в печати разработанный им метод квантования электромагнитного поля для расчета структуры светового поля с когерентными волнами. Следует напомнить, что термин «*когерентность*» происходит от латинского слова «*cohaerentia*» − «*сцепление*» и физически обозначает «*согласованное протекание во времени нескольких колебательных или волновых процессов, разность фаз которых постоянна*» [4]. Волны светового излучения этим требованиям удовлетворяют. Вот поэтому оно считается когерентным. Именно когерентность волн светового излучения определяет явление их «*интерференции*» − «*усиление волн в одних точках пространства и их ослабление в других в зависимости от разности фаз волн*» [4]. Для описания сложной картины светового поля и определения пространственно-временного распределения его интенсивности им были введены так называемые «*корреляционные функции*», составляющие основу созданного Р. Глаубером нового раздела оптики − «*квантовой оптики*» [3]. Методы разработанной им квантовой оптики позволяют исследовать тонкие

© М.И. Баранов

детали межмолекулярных взаимодействий в различных физических телах по изменению показаний нескольких фотоприемников, регистрирующих поток световых фотонов и флуктуации светового поля (отклонения его интенсивности от некоторой средней величины) при рассеянии света в исследуемой среде.

Рис. 1. Выдающийся американский физик-теоретик Рой Глаубер (Roy J. Glauber, 1925 года рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2005 г.

В настоящее время такой физический прибор из области квантовой электроники как лазер [5] стал незаменимым инструментом при точных измерениях. Этому способствуют, как известно, высокая стабильность лазерного излучения и его монохроматичность.

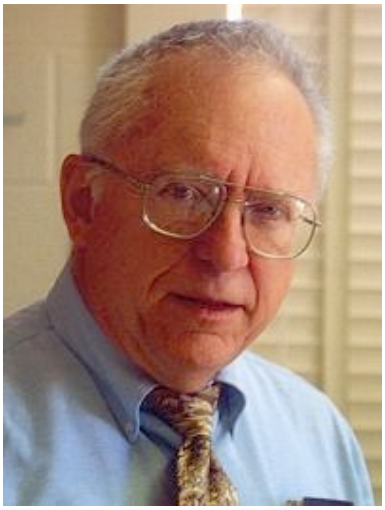

Рис. 2. Выдающийся американский физик-экспериментатор Джон Холл (John L. Hall, 1934 года рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2005 г.

Любой обычный лазер работает в очень узкой частотной полосе электромагнитного излучения и характеризуется всегда определенной одной частотой. Дж. Холл и Т. Хенш в своих научных исследованиях показали, что для достижения сверхвысокой точности измерений нужен лазер, излучающий огромное число световых волн с когерентными частотами (модами) [3]. При их сложении образуется световой импульс, длительность которого тем меньше, чем больше частот участвует в его образовании. По их оценкам для получения, например, светового импульса длительностью 5 фемтосекунд ($5\cdot10^{-15}$ с), нужно сложить миллион частот, перекрывающих бóльшую часть диапазона видимого света [3]. Их частотный спектр образуют своего рода «*гребенку*» с «*зубьями*», соответствующими отдельным частотам. В результате такой суперпозиции электромагнитных волн между зеркалами лазерного резонатора [5] будут возникать короткие световые импульсы. Выходящий наружу лазера через полупрозрачное зеркало его резонатора свет будет образовывать при этом своего рода «линейку» с делениями в виде сверхкоротких световых импульсов [3]. Подобный режим работы одного из лазеров был получен Т. Хеншем еще в 1970-х годах. Однако, реальный научный прорыв в повышении точности измерений произошел в 1999 г., когда лазеры со сверхузкими импульсами потребовались для измерения оптических частот атомных часов, работающих на атомах цезия.

Рис. 3. Выдающийся немецкий физик-экспериментатор Теодор Хенш (Theodor W. Hansch, 1941 года рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2005 г.

В случае, когда измеряемая частота излучения микрообъекта (например, атома) совпадает с одним из частотных «*зубьев*» для рассматриваемой «*спектральной гребенки*» от указанного лазера, то она определяется однозначно. Разработанный данными учеными-лауреатами физический подход в области нового применения лазерной спектроскопии позволяет с невиданной ранее точностью измерять частоты излучений, испускаемых атомами вещества [3]. Так «*частотная гребенка*», формируемая новым типом квантового генератора вынужденного излучения оптического диапазона (лазера), стала эффективным эталоном в сверхточных измерениях атомных излучений.

**2. Открытие чёрнотельной формы спектра и анизотропии космического фонового микроволнового излучения.** В 2006 г. одним из наиболее заметных научных событий в мировой физике стало присуждение Нобелевской премии двум американским радиофизикам Джорджу Ф. Смуту (рис. 4) и Джону К. Мазеру (рис. 5) «*за открытие равновесной формы космического фонового микроволнового излучения и его анизотропии*» [6]. В радиоастрономии это излучение называется еще как «космическое реликтовое излучение» [7]. Реликтовое (этот термин происходит от латинского слова «*relictum*» − «*остаток*» [4]) излуче-

ние является микроволновым электромагнитным излучением, сохранившемся в космосе от ранних стадий развития Вселенной. Отметим, что «космическое реликтовое излучение» с длиной волны около 7 см и температурой примерно 3 К было открыто в 1965 г. американскими физиками-экспериментаторами Арном Пензиасом и Робертом Вильсоном (Нобелевская премия по физике за 1978 г. [1]). Тогда А. Пензиас и Р. Вильсон наблюдали это коротковолновое электромагнитное фоновое излучение, распространяющееся в космическом пространстве бескрайней Вселенной, как неустранимый для названных исследователей космоса «электромагнитный шум» в радиотелескопах, установленных на поверхности нашей планеты [1, 7].

Рис. 4. Выдающийся американский радиофизик Джордж Фицджеральд Смут (George Fitzgerald Smoot, 1945 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2006 г.

Их открытие подтверждало «горячую» модель Вселенной [1, 7]. Как известно, эру квантовой физики для землян открыл выдающийся немецкий физик-теоретик Макс Планк (1858-1947 гг.), сформулировавший в 1900 г. свой знаменитый квантовый закон равновесного теплового излучения для искусственно или естественно нагретого «абсолютно чёрного тела» (АЧТ) [2, 8]. Напомним читателю, что квантовая теория М. Планка, разработанная им для теплового излучения АЧТ, базирующаяся на принципиально новом в физике понятии «кванта действия» и явившаяся в научном мире, по сути, революционным событием, была удостоена Нобелевской премии по физике за 1918 г. [1]. В квантовой теории М. Планка АЧТ (вещество) и тепловое (электромагнитное) излучение от него находятся в равновесном состоянии [8]. В астрофизике считается, что на ранних стадиях развития Вселенной ее вещество и излучение от него находились также в равновесии [7]. Такое предположение позволяет определить возможный спектральный состав реликтового электромагнитного излучения, который по форме должен соответствовать спектру излучения от АЧТ. Данный спектр теплового излучения для АЧТ (идеализированной расчетной модели) физиками был досконально изучен давно. Поэтому согласно указанной гипотезе в фоновом (реликтовом) излучении Вселенной количество его электромагнитных квантов с той или иной длиной волны будет зависеть только от температуры вещества Вселенной на ранней стадии ее развития [7]. На более поздней стадии эволюции Вселенной, по мнению астрофизиков, ее электромагнитное излучение при сохранении своего частотного спектра «отрывается» от ее материи и адиабатически остывает, равномерно пронизывая всю Вселенную [7].

Рис. 5. Выдающийся американский радиофизик Джон Кромвелл Мазер (John Cromwell Mather, 1946 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2006 г.

Для большей ясности требуется указать то, что это космическое электромагнитное излучение сосредоточено в основном в микроволновом диапазоне (в частотном диапазоне, характерном для современных бытовых микроволновых печей) [7]. Первые измерения реликтового излучения Вселенной проводились радиофизиками на высокогорных радиофизических станциях. С помощью таких измерений была исследована длинноволновая часть спектра реликтового излучения. Результаты этих исследований позволили оценить температуру $T_R$ данного фонового излучения, составившую около 2,7 К [7]. Проведение более точных и масштабных измерений реликтового излучения Вселенной потребовало использования сложной аппаратуры, размещенной за пределами атмосферы Земли. В 1989 г. американское аэрокосмическое агентство НАСА с этой целью создало и запустило в открытый космос спутник «COBE» (COsmic Background Explorer), внешний вид которого приведен на рис. 6.

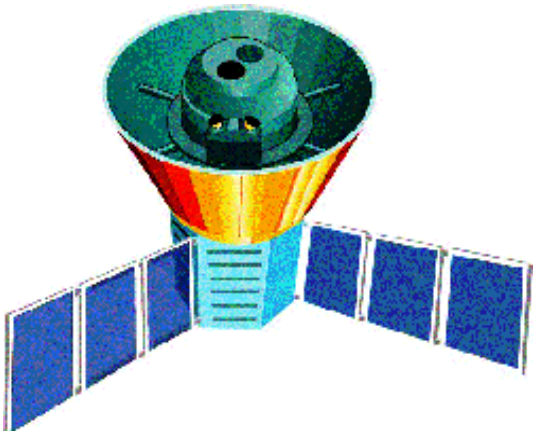

Рис. 6. Внешний вид американского спутника «COBE», всесторонне исследовавшего в 1990 х годах реликтовое (фоновое) излучение нашей Вселенной [7]

На спутнике «COBE» был установлен спектрометр микроволнового реликтового излучения с высокой разрешающей способностью, позволяющий оценивать и степень изотропности данного излучения [7]. Уже первые измерения с помощью аппаратуры спутника «COBE» космического реликтового излучения показали, что оно полностью соответствует спектру равновесного излучения АЧТ («чёрнотельному» спектру электромагнитного излучения). В ходе многочисленных измерений на указанном спутнике было установлено, что температура $T_R$ реликтового излучения Вселенной составляет (2,725±0,002) К [7]. Кроме того, программа подобных радиофизических исследований с применением спутника «COBE» содержала изучение анизотропии данного излучения − обнаружение малых отклонений интенсивности и соответственно температуры космического реликтового излучения в различных направлениях Вселенной. Отметим, что возможное отклонения этого излучения от средней температуры в разных частях Вселенной могут свидетельствовать о местах возникновения в ней галактик и звезд, а также указывать на области концентрации вещества во Вселенной. В этой части особенно интересны результаты подобных исследований применительно к «темной» материи или «чёрным дырам» Вселенной [9], способным существенно менять температуру фонового излучения. Как известно, такую материю нельзя непосредственно увидеть, но можно обнаружить по ее суперсильному влиянию на физические процессы, протекающие в космическом пространстве [7]. В астрофизике было установлено, что во Вселенной благодаря гравитации идет непрерывный процесс образования сгустков материи − прототипов будущих планет, звезд и галактик. В областях сгущения материи локально поднимается температура [7]. Спектрометр спутника «COBE» позволял осуществлять измерение температурных флуктуаций $\Delta T_R$ фонового излучения на уровне $10^{-5}\cdot T_R$ в трех частотных диапазонах, отвечающих максимуму интенсивности реликтового излучения [7]. При этом его угловое разрешение составляло около 7 угловых градусов для космического пространства. Результаты измерений, продолжавшихся на спутнике «COBE» в течение четырех лет, показали вклад галактики «Млечный путь», в состав которой входит и наша Солнечная система, в дипольную составляющую космического реликтового излучения на уровне $\Delta T_R/T_R=10^{-3}$ [7]. Эксперименты на «COBE» подтвердили гауссовский характер распределения при больших углах разрешения температурных флуктуаций $\Delta T_R$ в фоновом излучении Вселенной. Они позволили дать строгое обоснование космологической модели «Большого взрыва», произошедшего около 12 миллиардов лет тому назад во Вселенной.

**3. Открытие эффекта гигантского магнетосопротивления.** Около 150 лет тому назад экспериментально было установлено, что при размещении проводника с электрическим током во внешнем магнитном поле его активное сопротивление $R_e$ слегка изменяется [10]. Такое явление назвали магниторезистивным эффектом − «магнетосопротивлением» $R_{em}$ проводника [4, 8]. Природа установленной зависимости для $R_e$ от уровня напряженности $H_m$ внешнего магнитного поля тогда была неизвестной. За более чем полуторовековую историю эволюции мировой электротехники этому явлению для цепей, выполненных из традиционных проводниковых материалов (меди, алюминия, железа и др.), серьезного внимания никто не уделял. Ведь изменения сопротивления $R_e$ проводников для них в зависимости от уровня напряженности $H_m$ магнитного поля не превышали единиц процентов [10]. Лишь после того, как в ведущих научных лабораториях мира материаловеды научились искусственно создавать специальные слоистые материалы с новыми физическими свойствами эту зависимость $R_e$ от $H_m$ стали изучать более пристально. Во второй половине 20-го века талантливые физики − француз Альбер Фер (рис. 7) и немец Петер Грюнберг (рис. 8) экспериментально зафиксировали появление «гигантского магнетосопротивления» $R_{em}$ в новых слоистых материалах [10]. Открытие этими физиками явления «гигантского магнетосопротивления» и было отмечено Нобелевской премией по физике за 2007 г. [6, 10].

Рис. 7. Выдающийся французский физик Альбер Фер (Albert Fert, 1946 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2007 г.

«Корни» рассматриваемого нового физического явления глубоко «входят» в квантовую природу электрического тока в проводящем материале, согласно которой этот ток определяют дрейфующие свободные электроны, имеющие в нем энергию, близкую к их максимальной энергии − энергии Ферми $W_F$ [10, 11].

Рис. 8. Выдающийся немецкий физик Петер Грюнберг (Peter Grünberg, 1939 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2007 г.

Электрический ток в металлическом проводнике сильноточной цепи при комнатной температуре (около $T_0$=293 К [8]) окружающей его воздушной среды является суперпозицией быстрого (с усредненной тепловой скоростью $v_{eT}$ порядка $10^5$ м/с [11, 12]) беспорядочного движения в межатомном или межионном пространстве свободных электронов (элементарных частиц-фермионов [8]) и медленного (с усредненной скоростью $v_{eD}$ порядка $10^{-2}$ м/с [11, 12]) направленного смещения (дрейфа) «электронного газа» во внутренней кристаллической структуре проводника. Известно, что электроны как квантовые объекты обладают волновыми свойствами. Для электрона, движущегося со скоростью $v_e$, длина электронной волны $\lambda_e$ определяется фундаментальным квантовомеханическим соотношением, введенным выдающимся французским физиком-теоретиком Луи де Бройлем (1892-1987 гг.), вида [8]: $\lambda_e=h/(m_e v_e)$, где $h$=6,626·$10^{-34}$ Дж·с − постоянная Планка; $m_e$=9,109·$10^{-31}$ кг − масса покоя электрона. Тогда, при $v_{eT}=10^5$ м/с получаем, что для хаотичного движения носителей элементарного электрического заряда «электронного газа» проводника, имеющего плотность $n_e$ порядка $10^{29}$ м$^{-3}$ [11], при указанной температуре ему будет соответствовать усредненная длина электронной волны $\lambda_{eT}\approx 7{,}3\cdot 10^{-9}$ м. Согласно [8] рассматриваемый ферми-газ проводника считается «вырожденным», когда выполняется неравенство вида $n_e\lambda_e^3 >> 1$. Подставив в это неравенство приведенные численные значения для $n_e=10^{29}$ м$^{-3}$ и $\lambda_{eT}\approx 7{,}3\cdot 10^{-9}$ м, убеждаемся в том, что беспорядочно перемещающиеся свободные электроны нашего проводника будут представлять собой чисто «вырожденный» ферми-газ. В случае дрейфа (направленного перемещения) «электронного газа» проводника ($n_e=10^{29}$ м$^{-3}$) искомые для него параметры будут иметь следующие численные значения: $v_{eD}=10^{-2}$ м/с; $\lambda_{eD}\approx 7{,}3\cdot 10^{-2}$ м. После подстановки значений этих параметров в приведенное выше неравенство приходим к выводу, что дрейфующее «электронное облако» проводника по сравнению с его беспорядочно перемещающимися свободными электронами еще в большей степени будет удовлетворять требованиям «вырожденности» ферми-газа. А раз так, то квантовые свойства дрейфующего «электронного облака» рассматриваемого проводника будут существенны и их необходимо будет обязательно учитывать при изучении электрофизических процессов в нем.

Активное сопротивление $R_e$ проводника определяется рассеянием дрейфующих свободных электронов (электронных волн де Бройля [11]) на неоднородностях материала проводника (например, на дефектах его кристаллической решетки, примесных атомах или на квазичастицах фононах − квантах упругих тепловых колебаний атомов этой решетки) [8]. Электроны, кроме всего прочего, имеют и такую важную квантовофизическую характеристику как «спин» $S_e$ (этот термин происходит от английского слова «*spin*» − «*вращаться*» и в атомной физике он обозначает собственный механический момент количества движения элементарной частицы или атомного ядра [4]). Количественно спин $S_e$ электрона выражается в специальных единицах по отношению к постоянной величине $h/(2\pi)$ [8, 11]. Поэтому спин электрона будет численно равен $2\pi S_e/h$=1/2 [8]. Именно данное значение спина $S_e$ и определяет для электрона, способного вращаться вокруг своей оси в двух направлениях (например, по направлению вектора напряженности $H_m$ воздействующего магнитного поля или против него), его спиновое квантовое число в виде $m_S=\pm 1/2$ [8]. Отличительной особенностью спина $S_e$ электрона является то, что он не только заставляет электрон откликаться на воздействие внешнего магнитного поля, но и сам подобное поле порождает. Для обычных проводников (особенно немагнитных − медных или алюминиевых) спин $S_e$ электрона не оказывает серьезного влияния на протекание в нем тока проводимости. Поэтому о данной характеристике основных носителей отрицательного заряда в металлических проводниках в традиционной электротехнике практически никто и не вспоминает. А вот для новых слоистых материалов, в которых и было открыто явление «гигантского магнетосопротивления», оказалось, что именно спин $S_e$ электрона играет ключевую роль [10]. В чем же эта роль рассматриваемой квантовофизической характеристики заключается? Для более аргументированного ответа на данный простой по форме, но сложный по содержанию вопрос предварительно рассмотрим поведение свободных электронов внутри ферромагнитного материала плоского проводника (токопроводящей шины) прямоугольной конфигурации с продольным током. Пусть магнитная индукция его предварительно намагниченного материала также направлена вдоль продольной оси такого проводника. Внутреннее магнитное поле проводника при этом будет по разному влиять на его продольно дрейфующие свободные электроны, спины $S_e$ которых отличаются своей ориентацией относительно указанного направления вектора напряженности $H_m$ этого поля (по полю или против поля). Электрический ток рассматриваемого проводника в этом случае будет состоять из двух тщательно перемешенных потоков электронов, один из которых имеет электронные спины $S_e$ с ориентацией по направлению намагниченности его материала, а другой − с их ориентацией против выбранного нами направления внутреннего магнитного поля проводника [10]. Электроны этих двух потоков будут испытывать со стороны кристаллической структуры металла проводника в этом случае разное сопротивление. Оказывается, что электроны со спинами $S_e$, ориентированными *против магнитного поля*, будут направленно двигаться вдоль проводника *свободнее* (без задержки), а электроны с их ориентированными *по магнитному полю* спинами $S_e$ − *труднее* (с задержкой) [10]. В первом случае (для сорта электронов со спинами $S_e$ *против поля*) сопротивление $R_e$ проводника будет сравнительно *малым*, а во втором случае (для сорта электронов со спинами $S_e$ *по полю*) − *большим*. Заметим, что подобные особенности в протекании тока проводимости для нас пока будут характерны только для ферромагнитного материала (в диамагнитных материалах − меди и других металлах таких особенностей при $T_0$=293 К не наблюдается) [10]. Подобные особенности дрейфа свободных электронов в проводниках были установлены сравнительно недавно − в 1968 г.

группой французских ученых-физиков, в состав которой входил и будущий лауреат Нобелевской премии по физике за 2007 г. А. Фер [10]. Именно тогда перед исследователями и встал вопрос о возможности практического использования выявленных особенностей дрейфа электронов для резкого изменения значений активного сопротивления $R_e$ проводящих структур. Вот теперь на основе данных [10] можно вкратце и ответить на ранее поставленный нами вопрос насчет роли спина $S_e$ электрона. Ответ может сводиться к тому, что от ориентации спинов $S_e$ электронов для ряда проводников относительно направления вектора напряженности $H_m$ внутреннего (внешнего) магнитного поля существенно зависит концентрация свободных электронов с рассматриваемыми спинами $S_e$ (*по полю* или *против поля*) вблизи уровня энергии Ферми $W_F$ , характерной для зон проводимости и определяющей дрейфовый ток проводника [10]. Если в материале проводника свободных электронов с энергией Ферми $W_F$ будет много, то в нем возможно протекание сравнительно большого тока проводимости с *малым* электрическим сопротивлением $R_e$ ему (току). Если в материале проводника свободных электронов с энергией Ферми $W_F$ будет мало, то в нем возможно протекание сравнительно слабого тока проводимости с *большим* сопротивлением $R_e$ току [10].

Создав 1980-х годах искусственным путем новые сверхтонкие слоистые проводящие материалы (*сверхрешётки* (рис. 9), в которых строго чередующиеся между собой магнитные и немагнитные слои из двух видов металлов имеют толщину в несколько атомов [10]), физики научились управлять не только величиной намагниченности их слоев, но и характером их магнитной упорядоченности. А далее через характер магнитной упорядоченности слоев − электрическим сопротивлением $R_e$ подобной проводящей «слойки».

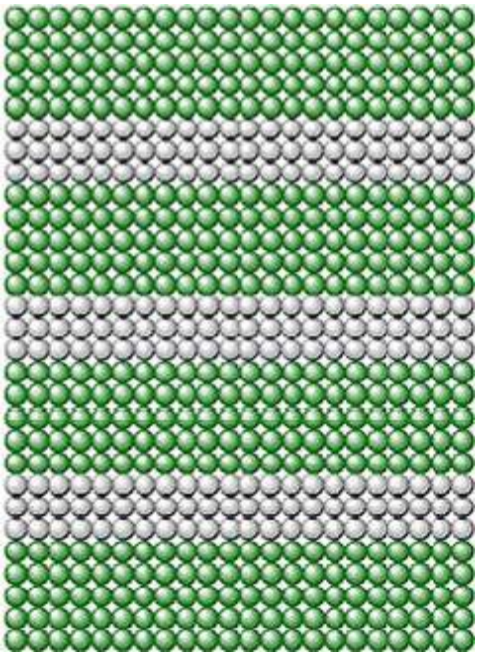

Рис. 9. Схематический вид современной *сверхрешётки* − строго чередующихся между собой слоев атомарной толщиной из двух материалов (например, из 4-х слоев магнитного железа Fe и 3-х слоев немагнитного хрома Cr) с близкими (похожими) кристаллическими структурами [10]

В 1986 г. научная группа П. Грюнберга в «слойке», изготовленной из сверхтонких слоев магнитного железа Fe и немагнитного хрома Cr (рис. 10), обнаружила эффект чередования ориентаций намагниченности таких слоев железа Fe в отсутствии воздействия напряженности $H_m$ внешнего магнитного поля [10, 13].

$H_m = 0$.

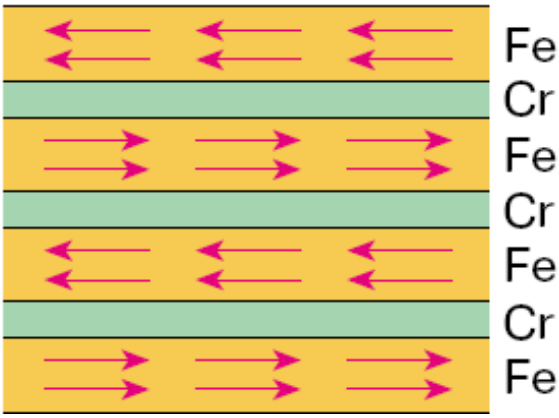


Рис. 10. Схематическое изображение порядка чередования намагниченности сверхтонких слоев железа Fe в «слойке» из магнитного железа Fe и немагнитного хрома Cr при отсутствии внешнего постоянного магнитного поля [10]

В случае действия внешнего сильного постоянного магнитного поля с напряженностью $H_m$ на приведенную выше на рис. 10 «слойку» − *сверхрешётку* Fe-Cr намагниченность слоев железа Fe приобретала за счет перемагничивания полем этих слоев одинаковую пространственную ориентацию (рис. 11) [10, 13].

$H = H_m$.

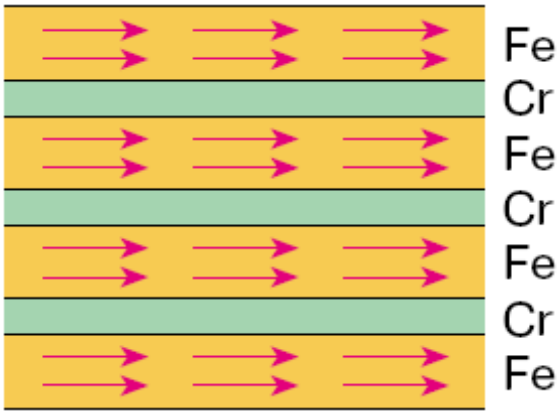


Рис. 11. Схематическое изображение намагниченности сверхтонких слоев железа Fe в «слойке» из магнитного железа Fe и немагнитного хрома Cr при воздействии на нее внешнего сильного постоянного магнитного поля [10]

Интересно отметить, что при прекращении действия внешнего сильного магнитного поля с напряженностью $H_m$ на рассматриваемую *сверхрешётку* Fe-Cr намагниченность ее атомарных слоев Fe возвращалась в исходное состояние, приведенное на рис. 10. Таким образом, благодаря *сверхрешёткам* у физиков-экспериментаторов появилась реальная возможность быстрого изменения характера магнитной упорядоченности их сверхтонких слоев [10, 14]. И, наконец, у них появился реальный способ управляемого

изменения в заметных пределах электрического сопротивления $R_e$ проводящей «слойки». А. Фер и П. Грюнберг со своими сотрудниками в течение 1988-1989 гг., изучая прохождение постоянного электрического тока поперек слоев «слойки» из железа Fe и хрома Cr в режимах отсутствия и воздействия на них внешнего сильного постоянного магнитного поля, и открыли эффект «гигантского магнетосопротивления» [13, 14]. В первых опытах А. Фера, в которых опытный образец указанной «слойки» Fe-Cr помещался в криостат с температурой около 4,2 К, уменьшение величины его активного сопротивления $R_{em}$ для случаев $H_m$=0 и $H$=$H_m$ из диапазона сильных постоянных магнитных полей ($H_m$ больше 10 кЭ [12]) составило примерно в два раза [10, 14]. Первоначально в аналогичных экспериментах П. Грюнберга, проводимых с указанной «слойкой» только при комнатной температуре $T_0$=293 К, изменения $R_{em}$ составляли лишь 1,5 % [10, 13]. П. Грюнбергу потребовалось несколько лет тщательных научных исследований для доведения при комнатной температуре $T_0$=293 К своих результатов до уровня уменьшения значений $R_{em}$ в два раза [10, 15]. Анализ полученных опытных результатов по такому изменению значений активного сопротивления $R_{em}$ «слойки» из Fe-Cr показал, что они обусловлены влиянием рассмотренной нами выше ориентации спинов $S_e$ свободных электронов (*по полю* или *против поля*) в сверхтонких слоях магнитного железа Fe на концентрацию соответствующих двух сортов дрейфующих электронов (с магнитным квантовым числом $m_S$=+1/2 или $m_S$=−1/2) вблизи уровня энергии Ферми $W_F$ [13-15].

Практическое использование эффекта «гигантского магнетосопротивления» в компьютерных технологиях сразу же привело к резкому увеличению плотности записи магнитной информации на жестких дисках. «Слойка» с Fe-Cr и таким активным сопротивлением $R_{em}$ оказалась компактным, быстрым, чувствительным и простым по конструкции датчиком магнитного поля [10]. Будучи расположенной сверху над быстро вращающейся пластиной жесткого диска компьютера, такая «слойка» отслеживала магнитные поля пролетающих под ней потоков битов информации в двоичной системе счисления (термин «*бит*» или «*bit*» происходит от английских слов «*binary*» − «*двоичный*» и «*degit*» − «*цифра*» [4]) и сразу же переводила их в соответствующие импульсы электрического тока.

**4. Открытие механизма спонтанного нарушения симметрии в субатомной физике.** Лауреатами Нобелевской премии 2008 г. по физике стали ученые из Японии (Макото Кобаяси, рис. 12; Тосихидэ Маскава, рис. 13) и США (Йоитиро Намбу, рис. 14) за открытия в области физики элементарных частиц, которые объясняли причины того, что наблюдаемая нами Вселенная состоит из материи, а не из антиматерии и материи поровну, а также механизм появления у материи массы [16]. Исследования указанных физиков-теоретиков касаются нарушения симметрии в мире элементарных частиц. Их работы относятся к разным временным периодам, а рассматриваемые ими симметрии − к различным взаимодействиям элементарных частиц [16]. В 1973 г. М. Кобаяси и Т. Маскава в своей совместной статье предположили, что причина, приведшая к преобладанию вещества над антивеществом во Вселенной, может заключаться в том, что они по-разному участвуют в слабых взаимодействиях (так называемое нарушение CP − симметрии) [16-18].

Рис. 12. Выдающийся японский физик-теоретик Макото Кобаяси (Makoto Kobayashi, 1944 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2008 г.

Первые экспериментальные наблюдения в мире асимметрии Кобаяси - Маскава были сделаны физиками лишь в 2002 г. с помощью ускорителей KEKB (Япония) и Stanford Linear Accelerator (США) [16, 19].

Рис. 13. Выдающийся японский физик-теоретик Тосихидэ Маскава (Toshihide Maskawa, 1940 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2008 г.

Гипотеза, высказанная в указанной выше многократно цитируемой в научном мире статье М. Кобаяси и Т. Маскава «*CP Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction*» (1973 г.) [16], постулировала существование третьего поколения «кварков», которое было непрямым экспериментальным путем подтверждено уже через четыре года (в 1977 г.) с открытием *b*-кварка [19]. Следует напомнить, что кварком в физике элементарных частиц и физике высоких энергий называют гипотетическую частицу с дробной относительно модуля элементарного электрического

заряда электрона $e_0$=1,602·10$^{-19}$ Кл величиной заряда [8, 11]. В этой связи М. Кобаяси и Т. Маскава в 2008 г. были удостоены Нобелевской премии по физике «*за открытие источника нарушения симметрии, которое позволило предсказать существование в природе по меньшей мере трёх поколений кварков*» [16-19].

До работ указанных физиков-теоретиков адронная физика представляла собой настоящую бессистемную «мешанину» [16]. К 1960 г. в экспериментах на протонных синхротронах физиками-ядерщиками уже были открыты несколько десятков разнообразных сильно взаимодействующих друг с другом частиц-адронов [8]. Эти частицы-адроны были с самыми разнообразными массами, зарядами, временами жизни и «каналами» распада [16]. Физикам в то время не были понятны ни «предназначение» этих частиц, ни их взаимосвязь друг с другом. На тот момент не было даже разумной схемы классификации этих адронов. Поиск осмысленной систематики адронов привел ученых к идее кварков [16]. В предложенной Й. Намбу совместно с итальянским физиком Г. Йона-Лазиньо модели взаимодействия адронов физики увидели спонтанное нарушение «киральной» симметрии. Благодаря этому нарушению с частицами в разработанной модели происходили метаморфозы: появлялись мезоны (как связанные состояния частиц-фермионов, являвшиеся аналогом «куперовских пар» электронов в сверхпроводниках [5]), а сами частицы-фермионы становились гораздо тяжелее и их можно было отождествлять с протонами и нейтронами [16]. Это привело к переосмыслению физической сути адронов [8].

Основные исследования Й. Намбу, эмигрировавшего в 1952 г. из Японии в США, были посвящены развитию высказанной им в 1960 г. идее спонтанного нарушения симметрии в субатомной физике [20]. В 1965 г. ему совместно с М. Ханом удалось создать схему сильных взаимодействий частиц-адронов, основанную на трёх триплетах кварков с целочисленными зарядами (известная модель Хана-Намбу [20]).

Рис. 14. Выдающийся японско-американский физик-теоретик Йоитиро Намбу (Yoichiro Nambu, 1921 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2008 г.

Й. Намбу на основе этой модели ввел «цветовое» взаимодействие элементарных частиц [16, 20]. Данной теоретической разработкой он заложил основы квантовой хромодинамики. Он существенно развил кварковую модель строения адронов [19]. Идея спонтанного нарушения симметрий в мире элементарных частиц активно разрабатывалась физиками-теоретиками и впоследствии из нее вырос и хиггсовский механизм нарушения электрослабой симметрии. Именно «*за открытие механизма спонтанного нарушения симметрии в физике элементарных частиц*» он стал лауреатом Нобелевской премии по физике за 2008 г. [16].

**5. Разработка новой технологии передачи света в оптических волокнах**. В 2009 г. первая половина Нобелевской премии по физике была присуждена китайцу Чарльзу Као (рис. 15) «*за революционные достижения, касающиеся передачи света в волокнах для нужд оптической связи*» [21]. Так исторически произошло, что Ч. Као в области информационных технологий оказался у истоков оптоволоконной передачи данных. Из-за бурного развития в мире телекоммуникаций оказалось, что традиционные технологии передачи информации на большие расстояния (с помощью связанных электромагнитных волн в металлических проводах и свободных радиоволн) обладают принципиальным недостатком − сравнительно малой скоростью процессов, протекающих в каналах передачи. При этом для увеличения в них (каналах) скорости передачи информации путем увеличения частоты модуляции требуется увеличение и несущей частоты электромагнитного сигнала. Именно поэтому физики свой взор обратили к световым импульсам (сигналам), частота которых составляет порядка 10$^{15}$ Гц [8, 11].

Рис. 15. Выдающийся китайский физик-экспериментатор Чарльз Као (Charles K. Kao, 1933 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2009 г.

На первый взгляд, оптическое волокно с тонкими стеклянными нитями, помещенными в защитную оболочку, должно было удовлетворять жестким требованиям по передаче световых импульсов на большие расстояния. Однако, экспериментальные данные свидетельствовали о том, что в первой половине 20-го столетия в самых чистых стеклянных волокнах затухание светового сигнала составляло около 1000 дБ/км [21]. Физиками было установлено, что для эффективного применения оптоволокна в качестве коммуника-

ционного носителя информации коэффициент затухания в нем светового импульса должен составлять 20 дБ/км и менее [21]. В 1960-е годы Ч. Као после окончания Гринвичского университета (Англия) по специальности инженера-электротехника и последующей защиты в нем докторской диссертации приступил в научно-исследовательском центре компании Standard Telephones and Cables (г. Харлоу) к работам в области волоконных технологий [22]. Здесь он и совершил свое новаторское физико-техническое открытие, объясняющее сильное затухание световых импульсов в обычном стекловолокне. Он в 1966 г. установил, что причиной тому являются примеси, присутствующие в стекловолокне. В этой связи Ч. Као для эффективного использования стекловолокна при передаче на расстояние информации предложил выполнять его из тонких кварцевых нитей (рис. 16) [22]. Именно в кварцевых стеклонитях наблюдался наименьший уровень затухания передаваемого светового импульса.

Рис. 16. Внешний вид фрагмента пучка оптических волокон с кварцевыми нитями в защитной оболочке, эффективно передающих на дальние расстояния световые импульсы [22]

Ч. Као первым в мире предложил использовать волоконно-оптические кабели для передачи телекоммуникационной информации на большие расстояния. Технические трудности по получению для этих целей высокочистого кварцевого стекла были преодолены лишь в 1972 г., когда в США исследователями из компании Corning Glass Works (Р. Маурер, Д. Кек и П. Шульц) с помощью технологии его химического осаждения из газовой фазы были получены стекловолокна с коэффициентом затухания до 4 дБ/км [21, 22].

На рис. 17 приведена зависимость коэффициента затухания светового сигнала в кварцевом оптоволокне от длины распространяющихся вдоль него волн [21].

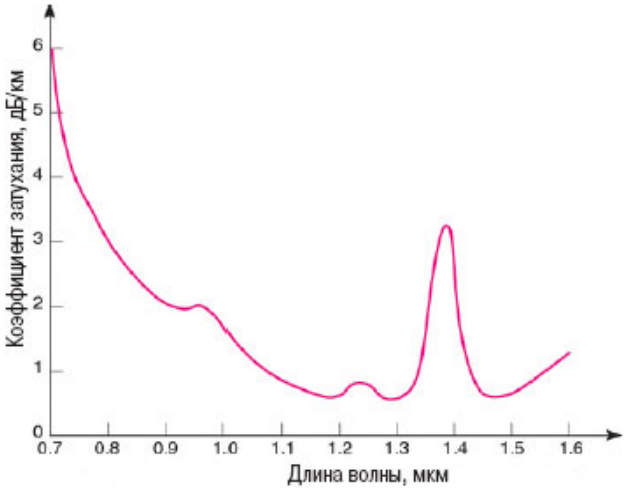


Рис. 17. Затухание светового импульса в кварцевых нитях в зависимости от длины его электромагнитных волн [21]

Из рис. 17 видно, что потери интенсивности света меньше всего не в оптической, а в инфракрасной (ИК) области спектра светового сигнала [21]. Вот поэтому минимальное поглощение (рассеяние) энергии света в кварцевом оптоволокне приходится на отдельные «окна прозрачности» (при длинах его волн в 1,3 мкм и 1,45 мкм) в ближнем ИК-диапазоне светового импульса. Именно на этих длинах (частотах) электромагнитных волн и работает современная оптоволоконная связь [21]. Отметим, что согласно данным рис. 17 с уменьшением длины световой волны коэффициент затухания резко возрастает из-за рассеяния света на неоднородностях показателя преломления рассматриваемой среды (случай «рэлеевского рассеяния» [8]). В области же длин световых волн более 1,45 мкм в кварцевых нитях начинают проявляться сильные линии поглощения гидроксильной группы OH [21]. Как известно, из-за рэлеевского рассеяния волн света в атмосфере небо на Земле выглядит сине-голубоватым, а закат или восход Солнца оранжево-красноватым [8, 23]. В 1988 г. был проложен первый трансатлантический оптоволоконный кабель связи [21]. В настоящее время технологии производства таких кабелей постоянно совершенствуются. Сейчас в опытных образцах последних разработок оптоволоконных кабелей коэффициент затухания светового импульса характеризуется уровнем до 0,2 дБ/км [21].

**6. Изобретение полупроводниковой схемы для регистрации изображений**. В 2009 г. вторая половина Нобелевской премии по физике была присуждена американцам Уилларду Бойлу (рис. 18) и Джорджу Смиту (рис. 19) «*за изобретение полупроводниковой схемы для регистрации изображений*» [21]. У. Бойл и Дж. Смит изобрели полупроводниковое устройство, позволяющее без фотоплёнки получать цифровые фотографии. Такое полупроводниковое устройство-сенсор, позволяющее делать фотографии в цифровом формате, получило название «прибора с зарядовой связью» («Charged-Coupled Device») или CCD-матрицы [21]. В CCD-матрице, входящей в состав современного фотоаппарата или цифровой видеокамеры, световой поток сразу переводится в цифровой файл с цветным изображением снимаемого объекта.

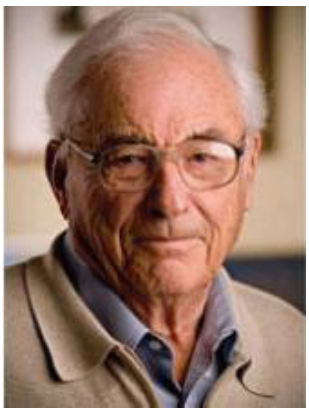

Рис. 18. Выдающийся американский физик-экспериментатор Уиллард Бойл (Willard Boyle, 1924-2011 гг.), лауреат Нобелевской премии по физике за 2009 г.

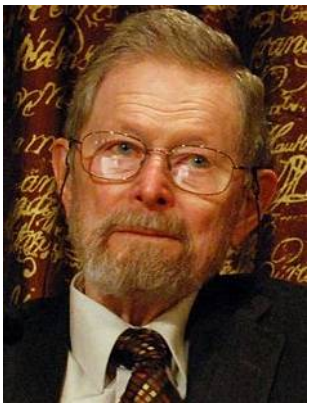

Рис. 19. Выдающийся американский физик-экспериментатор Джордж Элвуд Смит (George Elwood Smith, 1930 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2009 г.

Прежде чем рассматривать работу CCD-матрицы в целом в указанной полупроводниковой сенсорной схеме регистрации цветного изображения нам необходимо начать с ее одной из главных составных частей − полупроводниковой ячейки цифровой памяти, схематически изображенной ниже на рис. 20. В 1969 г. У. Бойл [24] и Дж. Смит [25], как сотрудники знаменитой американской лаборатории «Bell Labs», приступили к разработке нового высокоэффективного полупроводникового устройства для записи и считывания информации, в котором информация хранилась бы в виде микроскопических «облачков заряда» [21].

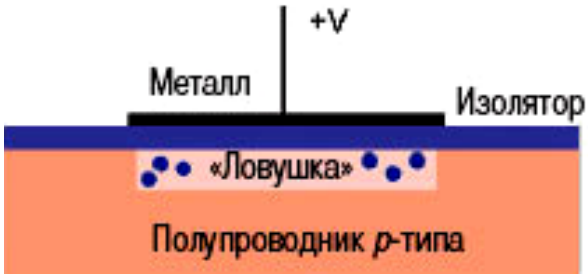


Рис. 20. Схематическое изображение элементарной полупроводниковой ячейки цифровой памяти, предложенной американскими физиками У. Бойлом и Дж. Смитом [21]

В результате исследований ими в 1969 г. и была предложена полупроводниковая ячейка цифровой памяти, состоящая согласно данным рис. 20 из плоского металлического электрода, отделенного слоем изолятора (диоксида кремния $SiO_2$) от полупроводника *p*-типа (кремния Si) [21]. Роль бита информации в таком устройстве играло «облачко» электронов, возникающее в полупроводнике при его возбуждении.

Напомним, что полупроводник обладает и таким свойством как светочувствительностью [8, 21]. Световые фотоны (кванты электромагнитного поля), попадая в полупроводник, порождают в нём пары электронов и дырок. Для того, чтобы подобные электроны не поглощались дырками и хранились в определенной зоне полупроводника У. Бойл и Дж. Смит предложили подавать на металлический электрод данной ячейки электрический потенциал положительной полярности. Из-за своего положительного заряда возникающие дырки «уходили» прочь из небольшой области, расположенной под этим положительно заряженным электродом, а появившиеся электроны оставались «сидеть» в ней и оказывались как бы в этой локальной «ловушке» [21]. Именно данная «ловушка» и выполняла роль «хранителя» информации в полупроводниковой ячейке цифровой памяти. Если в этой «ловушке» было небольшое «облачко» электронов, то в ячейке записана «1», если нет − «0» [21]. Далее перед У. Бойлом и Дж. Смитом встал серьезный вопрос по поводу считывания информации с подобных ячеек памяти. Для этой цели они и придумали новый метод передачи данных − «зарядовую связь» [21]. Именно этот метод и был реализован ими в созданной CCD-матрице, приведенной в упрощенном виде на рис. 21.

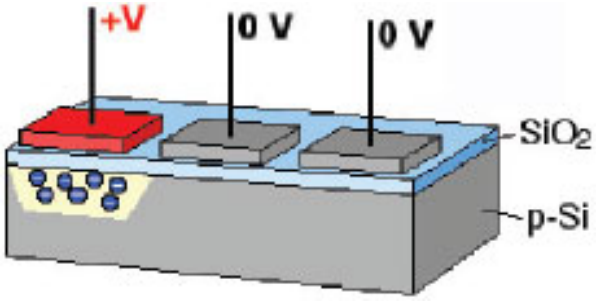


Рис. 21. Схематическое изображение одномерной CCD-матрицы с тремя ячейками цифровой памяти в ряду [21]

Подавая определенным образом электрическое напряжение *V* на металлические электроды отдельных соседних с исходными активными информационными ячейками цифровой памяти (с потенциалом +*V* и наличием в их «ловушках» малого «облачка» электронов) неинформационных ячеек цифровой памяти (при начальном напряжении *V*=0 и отсутствии в их «ловушках» малого «облачка» электронов) и далее снимая электрическое напряжение с активных ячеек, можно было синхронно за конечное число циклов сдвигать в CCD-матрице информацию к считывающему устройству (СУ), размещенному у края данной матрицы [21]. СУ будет воспринимать приходящий на него от активной ячейки цифровой памяти электрический заряд и выдавать соответствующий электрический сигнал. В случае, если СУ будет не просто детектировать отсутствие или наличие электрического заряда в «ловушке» очередной ячейки памяти, но и измерять накопившийся в ней заряд, то на выходе такой полупроводниковой схемы получается самое

настоящее оптическое изображение, записанное сразу в цифровом виде. Отметим, что те или иные электромагнитные волны, входящие в состав воздействующего на полупроводник ячеек цифровой памяти светового сигнала и определяющие те или иные исходящие от объекта наблюдения цвета света, будут вызывать появление в «ловушках» ячеек памяти отличающихся между собой зарядов «пойманных» ими электронов. Название «прибора с зарядовой связью» (CCD-матрицы) отражает способ считывания в нем электрического заряда методом сдвига от одного элемента матрицы к другому, постепенно заполняя буферный регистр фотокамеры [26]. Далее напряжение с СУ усиливается и подается на аналого-цифровой преобразователь, после чего сигнал в цифровой форме поступает для последующей обработки в процессор фотокамеры [26]. Эта матрица, общий вид которой приведен на рис. 22, по сути, является микросхемой, состоящей из миллионов микрофотодатчиков, реагирующих на свет. CCD-матрицы совершили научно-техническую революцию в фотографии (они быстро вошли в наш быт в виде компактных цифровых фото- и видеокамер) [26, 27]. Они широко применяются в малодозных цифровых рентгеновских установках и установлены на всех современных телескопах [27].

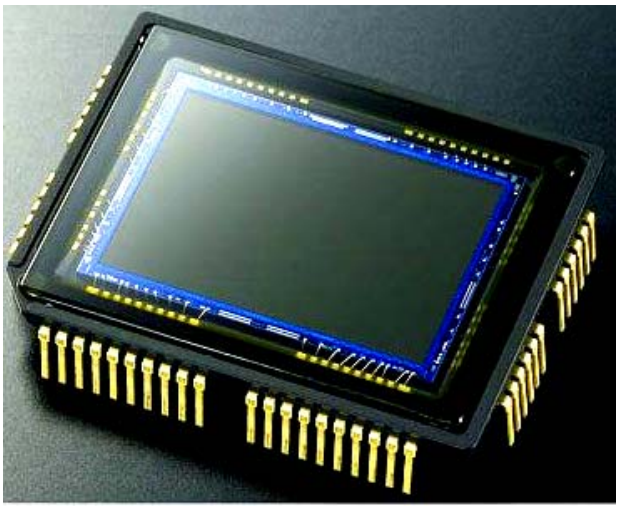

Рис. 22. Внешний вид современной CCD-матрицы [26]

**7. Осуществление новаторских экспериментов по созданию двумерного материала графена**. Выходцы из России Андрей Константинович Гейм (рис. 23) и Константин Сергеевич Новосёлов (рис. 24), работая до своей эмиграции в Институте проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН (г. Черноголовка, РФ), в 2004 г. в лаборатории Манчестерского университета (Великобритания) открыли принципиально новый материал − «графен» [5, 28]. Графен является уникальным сверхтонким материалом, выполненным на основе углерода $_{6}^{12}C$ с толщиной графитового слоя в один атом [5]. Поэтому его из-за такой исчезающе малой нанометрической толщины (порядка 0,1 нм) и называют двумерным нанокристаллическим материалом, относящимся к наноматериалам 2-го рода [5]. Атомы углерода в тонкой пленке графена соединены в гексагональную двумерную кристаллическую решетку (рис. 25) [28].

Рис. 23. Выдающийся российско-нидерландский физик Андрей К. Гейм (Andre K. Geim, 1948 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2010 г.

Рис. 24. Выдающийся российско-английский физик-экспериментатор Константин С. Новосёлов (Kostya S. Novoselov, 1974 г. рождения), лауреат Нобелевской премии по физике за 2010 г.

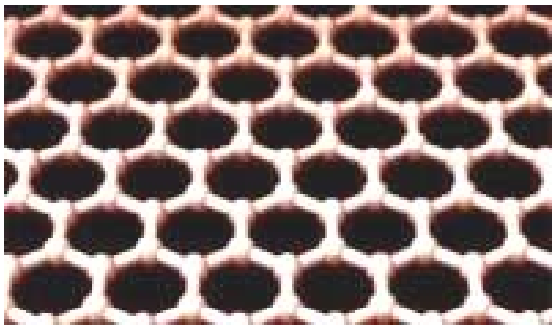

Рис. 25. Внешний вид фрагмента гексагональной кристаллической решетки атомарного слоя графена, в узлах которой расположены атомы углерода $_{6}^{12}C$ [28]

Искусственно получаемый сейчас графен путем химического осаждения паров углерода $_{6}^{12}C$ на подложку (при его линейных размерах в несколько сантиметров и более) показал удивительные физико-химические свойства. Являясь практически прозрачным материалом, он обладает неимоверной механической прочностью (в 100 раз больше, чем у стали) [28].

Графен имеет достаточно высокую электропроводимость (как у широко применяемой в электротехнике меди $_{29}^{63}Cu$) и характеризуется высокой теплопроводностью [28]. В своих первых экспериментах

А.К. Гейм и К.С. Новосёлов миниатюрные образцы нового материала получали с помощью прямоугольного куска электротехнического графита и обыкновенной клейкой ленты − скотча. Приложив к плоской поверхности графита скотч и оторвав его, они на нем под микроскопом и обнаружили пластиночки-монослои углерода [28]. Оказывается как все просто!

Изучение физико-химических свойств графена и его поведения при внешних воздействиях на него различных физических факторов (например, механических нагрузок, электрического тока, электрического поля и др.) предоставило целый ряд возможностей для его технического применения. Оказалось, что практически прозрачный графен-проводник хорошо подходит для производства прозрачных сенсорных экранов, световых панелей, солнечных батарей и электрохимических источников тока, а также для изготовления высокочастотных транзисторов применительно к мобильным телефонам и сверхбыстрым оптическим датчикам в оптоволоконной связи [28]. Создание графена может в ближайшее время привести к появлению нового класса наноэлектроники с рекордно малой толщиной транзисторов − до 10 нм. Использование графена в компьютерных технологиях может привести к увеличению быстродействия компьютеров в тысячи раз. Он практически не задерживает «пролетающие» через него свободные электроны. Поэтому он обладает очень низким активным сопротивлением электрическому току [28]. Мало того, экспериментальные данные А.К. Гейма и К.С. Новосёлова, а также исследования в РФ показали, что графен или супертонкая графитовая пленка способны изменять свое электрическое сопротивление (точнее сказать, увеличивать электропроводимость) при воздействии на них внешнего электрического (электромагнитного) поля [29]. Эти результаты, по мнению ученых-физиков, указывают на перспективные возможности применения подобных материалов в полупроводниковой или точнее графитовой электронике. Кроме того, было установлено, что при растяжении графена (его можно растягивать до 20 % увеличения первоначального линейного размера) он может превращаться в хороший полупроводник [28]. Происходит это за счет образования таким путем соответствующего «полупроводникового» разрыва в энергетическом спектре его атомной структуры (по сути, за счет увеличения энергетического зазора между его валентной зоной и зоной проводимости) [11]. Такое новое свойство графена при его высокой теплопроводности открывает определенные перспективы для применения этого нового материала в преобразовательной наноэлектронике. Интересны попытки ученых-физиков использования графена даже в качестве микродатчика массы [28]. По предварительным оценкам физиков такие «атомные» весы способны взвешивать даже одну молекулу вещества! Технических проблем при этом у специалистов, пытающихся приспособить графен к решению подобных супертонких (для нас, можно сказать, просто фантастических) физических задач, безусловно хватает [28]. В настоящее время многие нанотехнологи в тесном содружестве с инженерно-техническими работниками осуществляют решения сложных прикладных задач по промышленному изготовлению графена с необходимыми для современной техники геометрическими размерами (в доли, единицы и десятки метров). Учитывая исключительную научно-техническую значимость для техносферы человеческого общества полученного и изученного А.К. Геймом [30] и К.С. Новосёловым [31] нового уникального материала, они «*за основополагающие эксперименты по созданию двумерного материала графена*» и были удостоены Нобелевской премии по физике за 2010 г. [5, 28].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


***1.*** Храмов Ю.А. История физики. − Киев: Феникс, 2006. − 1176 с.

***2.*** Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике. Часть 34: Открытие и изучение квантово-волновой природы микромира материи // Електротехніка і електромеханіка. − 2016. − №5. − С. 3-15. **doi: 10.20998/2074-272X.2016.5.01**.

***3.*** http://www.nkj.ru/archive/articles/3477.

***4.*** Большой иллюстрированный словарь иностранных слов. – М.: Русские словари, 2004. – 957 с.

***5.*** Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике: Монография в 2-х томах. Том 1. − Х.: НТМТ, 2011. − 311 с.

***6.*** http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics.

***7.*** http://hepd.pnpi.spb.ru/ioc/ioc/line06910/n1.htm.

***8.*** Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики / Отв. ред. В.К. Тартаковский. − Киев: Наукова думка, 1989. − 864 с.

***9.*** Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике: Монография в 2-х томах. Том 2. − Х.: НТМТ, 2013. − 333 с.

***10.*** http://elementy.ru/news/430612.

***11.*** Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. − М.: Наука, 1990. − 624 с.

***12.*** Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики: Монография в 2-х томах. Том 2, Кн. 2: Теория электрофизических эффектов и задач. − Х.: Точка, 2010. − 407 с.

***13.*** Binasch G., Grünberg P., Saurenbach F., Zinn W. Enhanced magnetoresistance in layered magnetic structures with antiferromagnetic interlayer exchange // Physical Review B. − 1989. − vol.39. − no.7. – pp. 4828-4830. **doi: 10.1103/physrevb.39.4828**.

***14.*** Fert A. et al. Gigant magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr magnetic superlattices // Physical Review Letters. − 1988. − vol.61. − pp. 2472-2475.

***15.*** Никитин С.А. Гигантское магнетосопротивление // Соросовский образовательный журнал. − 2004. − №2. − С. 92-98.

***16.*** http://elementy.ru/news/430870.

***17.*** https://ru.wikipedia.org/wiki/Кобаяси,_Макото.

***18.*** https://ru.wikipedia.org/wiki/Маскава,_Тосихидэ.

***19.*** http://ria.ru/science/20081007/151954918.html.

***20.*** https://ru.wikipedia.org/wiki/Намбу,_Йоитиро.

***21.*** http://fiz.1september.ru/view_article.php?ID=200902319.

***22.*** https://ru.wikipedia.org/wiki/Као,_Чарльз.

***23.*** Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике. Часть 29: Первооткрыватели тайн глобальных природных световых явлений // Електротехніка і електромеханіка. − 2015. − №6. − С. 3-13. **doi: 10.20998/2074-272X.2015.6.01**.

***24.*** https://ru.wikipedia.org/wiki/Бойл,_Уиллард.

***25.*** https://ru.wikipedia.org/wiki/Смит,_Джордж_Элвуд.

***26.*** https://ru.wikipedia.org/wiki/Устройство_цифрового_фотоаппарата.

***27.*** www.ferra.ru/online/digiphoto/s27140/print.

***28.*** http://class-fizika.narod.ru/nobel2010.htm.

***29.*** Шакирзянов Ф.Н. Графен и фоторезистивный эффект // Электричество. − 2011. − №1. − С. 65-66.

*30.* https://ru.wikipedia.org/wiki/Гейм,_Андрей_Константинович.
*31.* http://www.people.su/81015.

REFERENCES

*1.* Khramov Yu.A. *Istoriia fiziki* [History of Physics]. Kiev, Feniks Publ., 2006. 1176 p. (Rus).
*2.* 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**.
*3.* Available at: http://www.nkj.ru/archive/articles/3477 (accessed 15 May 2014). (Rus).
*4.* *Bol'shoj illjustrirovannyj slovar' inostrannyh slov* [Large illustrated dictionary of foreign words]. Moscow, Russkie slovari Publ., 2004. 957 p. (Rus).
*5.* Baranov M.I. *Antologiia 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).
*6.* Available at: http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics (accessed 25 March 2014). (Rus).
*7.* Available at: http://hepd.pnpi.spb.ru/ioc/ioc/line06910/n1.htm (accessed 11 August 2012). (Rus).
*8.* Kuz'michev V.E. *Zakony i formuly fiziki* [Laws and formulas of physics]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1989. 864 p. (Rus).
*9.* Baranov M.I. *Antologiia 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).
*10.* Available at: http://elementy.ru/news/430612 (accessed 10 April 2014). (Rus).
*11.* Javorskij B.M., Detlaf A.A. *Spravochnik po fizike* [Handbook of physics]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 624 p. (Rus).
*12.* Baranov M.I. *Izbrannye voprosy elektrofiziki. Tom 2, Kn. 2: Teoriia elektrofizicheskikh effektov i zadach* [Selected topics of Electrophysics. Vol.2, Book 2. A theory of electrophysical effects and tasks]. Kharkiv, NTU «KhPI» Publ., 2010. 407 p. (Rus).
*13.* Binasch G., Grünberg P., Saurenbach F., Zinn W. Enhanced magnetoresistance in layered magnetic structures with antiferromagnetic interlayer exchange. *Physical Review B*, 1989, vol.39, no.7, pp. 4828-4830. **doi: 10.1103/physrevb.39.4828**.
*14.* Fert A. et al. Gigant magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr magnetic superlattices. *Physical Review Letters*, 1988, vol.61, pp. 2472-2475.
*15.* Nikitin S.A. Giant magnetoresistance. *Soros educational journal*, 2004, no.2, pp. 92-98. (Rus).
*16.* Available at: http://elementy.ru/news/430870 (Accessed 11 July 2015). (Rus).
*17.* Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Makoto_Kobayashi_(physicist) (accessed 11 May 2010).
*18.* Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Toshihide_Maskawa (accessed 22 September 2012).
*19.* Available at: http://ria.ru/science/20081007/151954918.html (accessed 23 October 2014). (Rus).
*20.* Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Yoichiro_Nambu (accessed 22 June 2012).
*21.* Available at: http://fiz.1september.ru/view_article.php?ID=200902319 (accessed 31 May 2013). (Rus).
*22.* Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_K._Kao (accessed 21 January 2013).
*23.* Baranov M.I. An anthology of the distinguished achievements in science and technique. Part 29: Discoverers of secrets of global natural light phenomena. *Electrical engineering & electromechanics*, 2015, no.6, pp. 3-13. (Rus). **doi: 10.20998/2074-272X.2015.6.01**.
*24.* Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Willard_Boyle (accessed 10 November 2011).
*25.* Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/George_E._Smith (accessed 10 May 2010).
*26.* Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_camera (accessed 10 April 2012).
*27.* Available at: www.ferra.ru/online/digiphoto/s27140/print (accessed 25 September 2014). (Rus).
*28.* Available at: http://class-fizika.narod.ru/nobel2010.htm (accessed 08 June 2015). (Rus).
*29.* Shakirzyanov F.N. Graphen and photoconductive effect. *Electricity*, 2011, no.1, pp. 65-66. (Rus).
*30.* Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Andre_Geim (accessed 22 October 2013).
*31.* Available at: http://www.people.su/81015 (accessed 10 July 2014). (Rus).

*Поступила (received) 27.01.2016*

*Баранов Михаил Иванович, д.т.н., гл.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 38: Nobel Prize Laureates in Physics for 2005-2010.**

***Purpose.*** *Implementation of brief analytical review of the distinguished scientific achievements of the world scientists-physicists, awarded the Nobel Prize in physics for period 2005-2010 yy.* ***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 by the Nobel Prizes in physics for the period 2005-2010.* ***Originality.*** *Systematization is executed with exposition in the short concentrated form of the known scientific and technical materials, devoted creation of quantum theory of optical coherentness by scientists-physicists, development of laser exact spectroscopy, opening form of spectrum for a black body and anisotropy of space microwave base-line radiation, opening of effect of giant magnetoresistance, opening of mechanism of spontaneous violation of symmetry in subatomic physics, development of new technology of transmission of light in optical fibres, invention of a semiconductor circuit for registration of images and results of innovative experiments on research of 2D material of graphen.* ***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 collaboration in further development of scientific and technical progress in human society*. References 31, figures 25.

*Key words:* **modern physics, achievements, quantum theory of optical coherentness, laser overexact spectroscopy, space microwave base-line radiation, effect of giant magnetoresistance, spontaneous violation of symmetry, transmission of light in optical fibres, semiconductor circuit for registration of images, 2D material of graphen**.