

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ СИСТЕМИ Ag/ZnS/СІТАЛ МЕТОДОМ РЕЗЕРФОРДІВСЬКОГО ЗВОРотноГО РОЗСІЯННЯ

Курбатов Д.І. *аспірант*

Сульфід цинку, як найбільш широкозонний з сполук  $A_2B_6$ , знайшов широке застосування при виготовленні вікон сонячних елементів, електролюмінісцентних діодів, діелектричних фільтрів, оптоелектронних і інших пристроїв тонкоплівкової електроніки [1]. Однак проблема керування елементним складом плівок ZnS шляхом зміни умов їх отримання в наш час не вирішена.

Для визначення елементного складу, стехіометрії та товщини плівок ZnS, отриманих методом випарування у квазізамкненому об'ємі, був застосований метод зворотного розсіювання протонів (RBS). Джерелом протонів служив електростатичний прискорювач на 1 MeV. Первинний пучок падав на мішень по нормалі. Спектри RBS вимірялися у вакуумній камері під кутом розсіювання в  $135^0$ . Розділення за енергією становило  $\sim 3$  eV. Реєстрація спектрів проводилася з використанням напівпровідникового детектора та стандартного комплексу електроніки. Для того, щоб запобігти накопиченню заряду на поверхні зразків, на плівки ZnS вакуумним випаровуванням наносилися тонкі шари Ag.

Обробка спектрів RBS здійснювалася з використанням програм SIMNRA та DVBS. Вони дозволяють створювати модель зразка, розбиваючи його на шари певної товщини та задаючи концентрацію різних елементів у цих плівкових структурах. Шляхом приближення розрахункових спектрів RBS до експериментальних отримані моделі, які дозволяють зробити висновок про елементний склад сполуки в конденсатах.

Обробка спектрів була ускладнена тим, що перерізи розсіювання протонів на легких ядрах (S, O, Si) є істотно нерезерфордівськими, тоді як на важких (Zn, Ag, W) вони добре описуються формулою Резерфорда. Крім цього через близькість атомних номерів Zn і S на спектрі відбулося перекриття їхніх піків, що істотно ускладнило завдання визначення зміни стехіометрії плівок по глибині [2].

Характерний спектр RBS із його програмною симуляцією від багат шарової системи Ag/Zn/сітал наведений на рис.1.

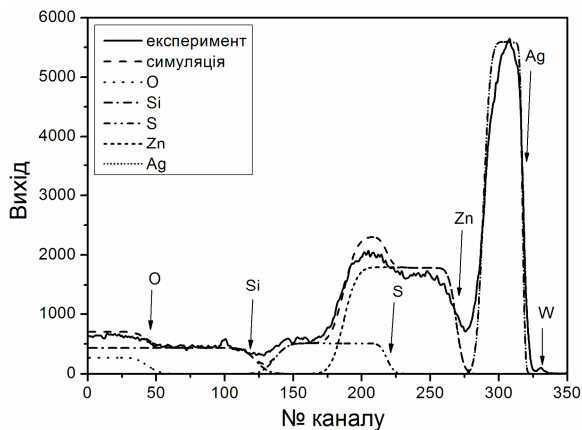


Рис.1. RBS спектр із програмною симуляцією елементного складу системи Ag/ZnS/сітал.

З рисунка видно, що порівняно велика товщина шару сульфїду цинку ( $L=450\text{nm}$ ) у сукупності з недостатньою енергією пучка протонів не дозволили розділити парціальні спектри Zn і S.

Результати визначення усередненої по товщині стехіометрії плівок ZnS, які отримані шляхом програмного моделювання за допомогою програмного пакету Maple, показали незначний надлишок атомів цинку над сіркою ( $Zn/S = 0,5161$ ).

Крім цього встановлено, що в зразку перебуває невелика кількість вольфраму, його присутність пояснюється частковим випарювання матеріалу нагрівача. Кисень знайдений тільки в приповерхньому шарі плівки, де можливе утворення окисних фаз, але його кількість незначна.

Надалі, для підвищення чутливості методу та одержання розподілу стехіометрії по товщині плівок планується використати джерело протонів більш високої енергії (до 2-3 MeV).

1. Nadeem M.Y., Waqas A., Wasiq M.F. Zn thin films – an overview // Journal of research science. – 2005. – Vol.16. – P.105-112.
2. Oladeji I.O., Chow L. Synthesis and processing of Cd/ZnS multilayer films for solar cell application // Thin. Sol. Films. – 2005. – Vol.474. – P.77-83.

## ВИВЧЕННЯ СУБСТРУКТУРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКИХ ПЛІВОК ТЕЛУРИДУ ЦИНКУ

Колесник М.М. *аспірант*

Плівки ZnTe є перспективним матеріалом для виготовлення оптичних вікон, а також тильних омичних контактів для сонячних елементів з поглинаючим шаром з CdTe.

Для отримання тонких шарів халькогенідів був використаний методом термічного випаровування у замкненому об'ємі при різних умовах конденсації. Цей метод дозволяє одержувати стехіометричні плівки багатокомпонентних напівпровідників при контрольованому технологічному процесі. Разом з тим основні властивості плівок телуриду цинку залежать від структурних та субструктурних особливостей шарів халькогеніду. Але субструктурні особливості шарів, отриманих цим методом, і їх залежність від фізико-технологічних умов конденсації плівок вивчені недостатньо. Саме тому в роботі проведене комплексне дослідження субструктурних характеристик плівок ZnTe.

Вивчення особливостей структури шарів проведено методами рентгенодифракційного аналізу. Цей метод був також застосований для визначення середнього розміру  $L$  областей когерентного розсіювання (ОКР) та рівня мікрODEформацій  $\varepsilon$  у тонких плівках ZnS за уширенням дифракційних ліній. Для розділення дифракційного розширення, обумовленого фізичними та інструментальними ефектами використані апроксимації за Коши та Гауссом. Обробку виконували шляхом апроксимації результатів за методом Холла [1].

Проведені дослідження дозволили визначити залежність основних структурних параметрів плівок, таких як текстура, період кристалічної ґратки, рівень мікронапружень, розмір кристалітів та областей когерентного розсіювання від фізико-технологічних умов конденсації зразків.

1. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. – Москва: Металлургия, 1982. – 632 с.

## ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ ПЛІВОК CdTe

В.В. Косяк *асистент*

Тонкі плівки CdTe отримали широке використання в якості базових шарів ряду пристроїв твердотільної електроніки. Водночас продовжується пошук методів отримання функціональних тонких плівок з визначеними електрофізичними параметрами та низькою собівартістю. При чому електрофізичні властивості плівок телуриду кадмію головним чином визначаються спектром локалізованих станів (ЛС) в матеріалі, вивчення яких вкрай ускладнено.

Для дослідження електрофізичних властивостей плівок одержувались сендвіч-структури Mo:CdTe:Ag(In). Виготовлення зразків проводилось в декілька етапів. Спочатку на сіталову підкладку, методом електронно-променевого випаровування наносився шар молібдену. Після чого методом квазізамкненого об'єму конденсувалася плівка CdTe. Для вивчення залежностей електрофізичних властивостей плівки від умов росту плівки вирощувались в широкому діапазоні температур випаровування  $T_e=873-923$  К та конденсації  $T_s=573-823$  К CdTe. Останнім етапом виготовлення багатошарових структур було нанесення верхніх металевих контактів з срібла або індію методом термічного випаровування у вакуумі.

Вимірювання вольт-амперних характеристик (ВАХ) сендвіч-структур проводилось у вакуумі за стандартною методикою при кімнатній температурі та температурі 323 К. Дослідження температурних залежностей провідності зразків ( $\sigma-T$ ) проводилось в діапазоні температур 393- 453 К при значеннях напруги 10-50 В.

В результаті аналізу отриманих ВАХ, було встановлено, що протікання струму у зразках відбувається в режимі струмів обмежених просторовим зарядом (СОПЗ) та визначається спектром локалізованих станів (ЛС) у матеріалі, який в свою чергу залежить від умов конденсації тонких шарів. Дослідження  $\sigma-T$  залежностей серії зразків дозволили встановити енергії залягання ЛС в забороненій зоні матеріалі та ідентифікувати дані енергетичні рівні як такі, що відповідають власним точковим дефектам.

## ПОТЕНЦИАЛ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Вертинская Т.И. *старший преподаватель*, Горбанева А.Н. *студент*

В связи с энергетическим голодом и подорожанием органических видов топлива возникла потребность искать альтернативные виды энергии. Одной из альтернатив является применение водорода в качестве топлива. Это заманчиво, так как запасы водорода практически неисчерпаемы. Он обычно существует в комбинации с другими элементами, например, кислородом в воде, углеродом в метане и в органических соединениях. Водород при соединении с кислородом имеет самое высокое содержание энергии на единицу массы: 120,7 ГДж/т. Эта проблема была актуальной еще в середине прошлого века. В СССР впервые автомобильный двигатель на водороде работал в блокаде Ленинграда в 1942 году. Авиационный научно-технический комплекс имени А.Н. Туполева создал летающую лабораторию, использующую в качестве топлива жидкий водород. В результате был создан первый в мире самолет на криогенном топливе – жидком водороде и сжиженном природном газе – ТУ-155.

Многие страны работают сейчас над созданием двигателя на водороде. Внимание исследователей, разработчиков и инвесторов привлекают к себе топливные элементы. Топливные элементы (ТЭ) – это тип технологий, использующих реакцию окисления водорода в мембранном электрохимическом процессе, который производит электричество, тепловую энергию и воду. Топливные элементы для привода автомобилей и автобусов разрабатываются для следующего поколения транспортных средств. Однако, в настоящее время их высокая стоимость в значительной степени сдерживает этот процесс. В перспективе, в результате ужесточения стандартов на выбросы, повышения стоимости бензина и снижения стоимости топливных элементов, ожидается изменение конъюнктуры в пользу автомобилей и автономных энергоустановок мощностью до 100-300 кВт с ТЭ. На последних автомобильных выставках демонстрировались автомобили с водородным двигателем. В некоторых странах, таких как США, Германия, Япония, созданы и эксплуатируются опытные водородные автозаправочные станции. В связи со сложившимися тенденциями с энергоресурсами за водородными двигателями будущее.

## ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ – ОСНОВА РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Вертинская Т.И. *старший преподаватель*, Моисеенко М. *студент*

В последнее время возник повышенный интерес к жидким кристаллам. Это связано с тем, что они все больше находят применение не только в науке, но и в повседневной жизни.

Жидкий кристалл (ЖК) – это специфическое состояние некоторых органических веществ, в котором они проявляют одновременно свойства кристалла и жидкости. Однако, далеко не все вещества могут находиться в жидкокристаллическом состоянии. Большинство веществ может находиться только в трех, всем хорошо известных агрегатных состояниях: твердом или кристаллическом, жидком и газообразном.

Обязательным свойством жидких кристаллов, сближающим их с обычными кристаллами, является наличие порядка пространственной ориентации молекул. В зависимости от вида упорядочения осей молекул жидкие кристаллы разделяются на три разновидности: нематические, смектические и холестерические. Приведена их структура. Рассмотрены некоторые свойства жидких кристаллов, такие как: явление двупреломления (состоящее в том, что скорость света в кристалле зависит от ориентации плоскости поляризации света), вращение плоскости поляризации (изменение знака вращения в зависимости от длины волны света), электропроводность жидких кристаллов. Особого внимания заслуживают свойства жидких кристаллов, проявляющиеся в существовании флексоэлектрического эффекта.

Флексоэлектрический эффект проявляется в возникновении в слое ЖК электрического поля при деформации, и наоборот, внешнее поле, прикладываемое к образцу, может вызывать деформацию ориентации директора в ЖК. Для жидких кристаллов характерно то, что они обладают чрезвычайно подвижной структурой, изменяющейся под воздействием довольно слабых внешних воздействий, и это ведет к изменению макроскопических физических свойств образца. То, что ЖК являются материалом с легко управляемыми свойствами, нашло применение в самых современных областях науки и техники.

Исследования по физике жидких кристаллов и их применениям в настоящее время ведутся широким фронтом во всех наиболее развитых странах мира. Большинство применений ЖК связано с управле-

нием их свойствами путем приложения к ним электрических воздействий. Проводимость в ЖК носит ионный характер. По этой причине их электропроводность сильно зависит от количества и химической природы содержащихся в них примесей. В частности, электропроводность нематика можно целенаправленно изменять, добавляя в него определенное (согласно требуемой задаче) количество ионных добавок. В нематиках продольная проводимость превосходит поперечную проводимость.

Создание телевизоров с жидкокристаллическими экранами стало новой исторической вехой применения жидких кристаллов (LCD). Телевизоры этого типа становятся доступнее для покупателей, потому что происходит регулярно снижении цен, из-за совершенствования технологий производства.

При всей принципиальной простоте работы устройств на жидкокристаллических элементах их широкое внедрение в массовую продукцию и производство зависит от ряда технологических вопросов, связанных с обеспечением длительного срока работы жидкокристаллических элементов, их работы в широком температурном интервале, наконец, конкуренции с традиционными и устоявшимися техническими решениями и т. д.

Однако решение всех этих проблем – это только вопрос времени, и скоро, наверное, трудно будет себе представить совершенный аппарат, не содержащий жидкокристаллического устройства.

Многие оптические эффекты в жидких кристаллах уже освоены техникой и используются в изделиях массового производства. Например, всем известны часы с индикатором на жидких кристаллах, но не все еще знают, что те же жидкие кристаллы используются для производства наручных часов, в которые встроен калькулятор. Тут уже даже трудно сказать, как назвать такое устройство, то ли часы, то ли компьютер. Но это уже освоенные промышленностью изделия, хотя всего десятилетия назад подобное казалось нереальным.

Перспективы будущих массовых и эффективных применений жидких кристаллов удивительны. Некоторые технические идеи применения жидких кристаллов, которые пока что не реализованы, в ближайшие несколько лет послужат основой создания устройств, которые станут для нас такими же привычными, какими, скажем, сейчас являются персональные компьютеры.

## АНОМАЛЬНАЯ ДИФФУЗИЯ

Качан Н. *студент*, Кириллова Н. *студент*, Фидирко И. *студент*,  
Витренко А.Н. *ассистент*

Диффузионные процессы широко распространены в природе. А. Фик первым обратил внимание на эту область исследований в контексте транспорта воды и питательных веществ через мембраны в живых организмах. Он феноменологически записал уравнение диффузии и показал, что средний квадрат смещения диффундирующего объекта пропорционален времени. А. Эйнштейн исследовал броуновское движение и вывел уравнение диффузии из микроскопических принципов. К. Пирсон изучил процесс распространения москитами малярии и предложил модель случайных блужданий, которая является важным инструментом понимания диффузионных процессов.

В настоящее время существует множество процессов, описываемых аномальной диффузией, для которых средний квадрат смещения пропорционален  $t^{\nu}$ , где  $\nu$  ( $\nu \neq 1$ ) – показатель аномальной диффузии. Случай  $\nu > 1$  соответствует супердиффузии (диффузии более быстрой в сравнении с обычной диффузией), случай  $0 < \nu < 1$  – субдиффузии (диффузии более медленной в сравнении с обычной).

Первым примером субдиффузии служит транспорт электронов и вакансий в аморфных полупроводниках под действием электрического поля. При своем движении заряды захватываются локальными неоднородностями, из которых освобождаются благодаря тепловым флуктуациям. Время пребывания в ловушках существенно превышает время при классической диффузии. Для описания этого процесса Х. Шер и Э. Монтролл предложили модель случайных непрерывных блужданий со степенным распределением Паретто-Леви для времени ожидания между скачками. Другим примером субдиффузии является, например, транспорт на объектах фрактальной природы.

Классический пример супердиффузии – парная диффузия Ричардсона. Теоретическое объяснение явления дали Д. Клафтер и М. Шлесингер в концепции блужданий Леви: частица остается в движении с постоянной скоростью без изменения направления в течение случайного времени, распределенного по закону Паретто-Леви. Также супердиффузия наблюдается, например, при движении частиц на поверхности идеального кристалла.



## БРОУНОВСКИЕ МОТОРЫ

Крючков С. *студент*, Петренко А. *студент*,  
Витренко А.Н. *ассистент*

Взвешенная в жидкости мелкая частица испытывает случайные столкновения с окружающими молекулами, в результате чего возникает так называемое броуновское движение. Для его описания П. Ланжевэн охарактеризовал воздействие на частицу со стороны жидкости двумя силами – флуктуирующей и диссипативной. Первая сила имеет нулевое среднее значение, она часто изменяется по модулю и направлению, вторая сила всегда направлена против движения частицы. Между ними существует связь: амплитуда случайной силы зависит от коэффициента вязкости жидкости и температуры, потому флуктуирующую силу также называют тепловым шумом.

В равновесном состоянии эффект теплового шума является симметричным, в том числе и в анизотропной среде. Ни одно направление движения не является предпочтительным. Иначе, работа соответствующего устройства должна основываться на демоне Максвелла, что противоречит второму закону термодинамики. Р. Фейнман проиллюстрировал этот факт на примере микроскопического устройства, состоящего из храповика с собачкой, насаженного на одну ось с крыльчаткой. Однако в неравновесном состоянии броуновское движение может приводить к направленному движению храповика. Подобные устройства, превращающие энергию молекул в механическую работу, называются броуновскими моторами.

К. Ван ден Брок и Р. Каваи предложили свою конструкцию броуновского мотора. Устройство состоит из двух колес, одно с плоскими лопатками, другое – с клиновидными. Крыльчатки соединены стержнем и разделены перегородкой. Газ, в котором находится колесо с плоскими лопатками, более нагретый. Горячие молекулы, сталкиваясь с плоскими лопатками, толкают колесо в разные стороны случайным образом. Молекулы холодного газа, бомбардируя колесо с клиновидными лопатками, поворачивают его в среднем в сторону острого конца клина. После многих соударений устройство начинает крутиться в одном направлении, охлаждая горячий и нагревая холодный газ. Клиновидные лопатки и газ играют роль храповика, который задает одно направление вращения.

## ГАММА-ВСПЛЕСКИ: СЕКУНДНЫЕ КАТАСТРОФЫ ГАЛАКТИЧЕСКИХ МАСШТАБОВ

Саев В.В. *студент*

Гамма - всплески относятся к числу самых энергоемких явлений в мире звезд, приводящих к испусканию рекордных количеств высокоэнергичных частиц. В течение многих десятилетий их происхождение было окутано тайной, и лишь в последние годы ученые (как они надеются) начали наконец понимать, какие процессы могут нести ответственность за подобные взрывы. Первый гамма-всплеск был зарегистрирован 2 июля 1967 года американскими спутниками «Vela», следящими за соблюдением международного договора о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, в космическом пространстве и под водой.

Гамма-всплески делят на два принципиально разных класса или две разновидности. Одни могут продолжаться от нескольких секунд до минуты или даже дольше. Астрономы полагают, что они свидетельствуют о взрывах очень массивных звезд (массивнее 25 солнц) – вспышки так называемых гиперновых, в результате коллапса ядер которых образуются черные дыры. Другие же взрывы длятся лишь доли секунды и происходят в результате столкновений двух нейтронных звезд либо поглощения нейтронной звезды соседней черной дырой.

Спутник Swift, запущенный NASA 20 ноября 2004 года, был специально создан для слежения за источниками гамма- и рентгеновского излучения. Цель миссии Swift состоит в том, чтобы попытаться прояснить природу этих загадочных гамма - всплесков. Ученые не оставляют надежды понять первопричины подобных явлений, а также ход взаимодействия вспыхивающих объектов со средой вокруг них. Вероятно, таким образом можно будет найти и ключи к развитию ранней Вселенной. Ученые подозревали, что каждый гамма - всплеск указывает на рождение очередной черной дыры, но теперь появились сведения о том, что существуют различные типы подобных взрывов и данные Swift, будем надеяться, помогут выявить все возможные причины катаклизмов.

Руководитель – Игнатенко В.М. *доцент*.

## ТЕМНА МАТЕРІЯ ТА ЕВОЛЮЦІЯ ВСЕСВІТУ

Ігнатенко В.М. *доцент*, Журенко А.Ю. *студент*,  
Колесник О.Г. *студент*

У лютому 2003р. за допомогою космічної обсерваторії «Вілкінсон» (WMAP) було отримано нову, найбільш детальну, карту точного розподілу температури реліктового випромінювання по всьому небу. Використовуючи нові дані та комп'ютерне моделювання вдалося встановити як картину зародження Всесвіту, так і його вік та склад. Виявилося, що Всесвіт, якому 13,7 р. (з точністю до 200 млн. років), тільки на 4% складається зі звичайних атомів (це зірки та планети), усе інше – це 23% «холодної» скритої маси та 73% не вивченої досі «темної енергії».

Темна матерія – це речовина у Всесвіті, яка не має електромагнітного випромінювання. Відкрита усередині 20 сторіччя в результаті аналізу обертання галактик і їх швидкостей у скупченнях. З'ясувалося, що навколо кожної галактики існує гало темної матерії, маса якого в кілька разів перевищує масу зірок. До складу темної матерії входить воднево-гелієвий газ (баріонна темна матерія), але більша частина темної матерії є не баріонною, тобто складається з екзотичних елементарних частинок. Незважаючи на все нову інформацію, можна тільки здогадуватися чим власне є ця матерія.

Із темною енергією, яка домінує за густиною, ситуація складніша. Вона проявляє себе тільки на космологічних відстанях протилежним знаком гравітаційної дії. Сучасні дані свідчать, що темну енергію найбільш адекватно описує багатокомпонентна модель, в яку крім фізичного вакууму входить ще кілька складників. Одним із них є так звана квінтесенція. Фізично вона являє собою ще один п'ятий вид взаємодії. Це достатньо специфічний стан, але його природа є зрозумілою – це поле. Ще одним складником темної енергії може бути газ Чаплигіна – унікальна, але теоретично зрозуміла форма матерії. Може виявитися, до складу темної енергії входить ще одна компонента – фантомна енергія. Природа цієї фантомної енергії абсолютно невідома, єдине, що зрозуміло – це не речовина.

Дослідження темної енергії розвивається надзвичайно бурхливо і є надія, що найближчим часом наші знання про найфундаментальніші властивості світу, у якому ми живемо, примножаться.

## ГРАФЕН, ИЛИ МНОГООБЕЩАЮЩИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Омельяненко Д.А. *студент*

Графен (открыт в 2004 г.) это двумерный кристалл, состоящий из одиночного слоя атомов углерода, собранных в гексагональную решетку, которая по типу похожа на структуру пчелиных сот. Атомы углерода располагаются в углах правильных шестиугольников. Каждый атом связан с тремя своими соседями сильной ковалентной связью, а один электрон из четырех валентных электронов каждого атома остается свободным. Из этого можно выделить такие свойства материала: прочность, химическая устойчивость и отличная электропроводность, которая не падает ниже определенного минимального значения, даже если в нем уже практически отсутствуют носители заряда. Этот эффект, еще ждет объяснений теоретиков.

Графен открывает огромные перспективы для развития микроэлектроники. Уже созданы и протестированы сверхбыстрые процессоры для ЭВМ. Специалисты предсказывают такую скорость работы графеновых микрочипов, которая превышает скорость работы современных кремниевых микропроцессоров в тысячи раз.

Графен также применяют в качестве источника терагерцового излучения, а это такие сферы, как медицина, безопасность, астрономия, биология.

К недостаткам графена относят сложность синтеза идеального графена, состоящего из шестиугольных ячеек. Также графен обладает одним существенным недостатком в сравнении с кремнием, повсеместно применяемым в производстве микросхем. В отличие от кремниевых транзисторов, не проводящих ток в запертом состоянии, графеновые все равно будут довольно хорошо проводить электричество. В таком случае микропроцессор, содержащий миллиарды графеновых транзисторов, будет отличаться колоссальными потерями энергии и будет попросту непригодным для практического применения. Но несмотря на это, ученые все же находят (или найдут какие-нибудь другие) способы преодоления этого препятствия. И, по сути, графен остается перспективным материалом.

Руководитель – Игнатенко В.М. *доцент*.

## КВАНТОВЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ

Игнатенко В.М. *доцент*, Ткачѐв С.Ю. *студент*

Цифровые электронные компьютеры, широко используемые в настоящее время, созданы с использованием полупроводниковых технологий. Такие компьютеры обычно представляют собой совокупность элементов только с двумя возможными логическими состояниями «0» и «1» - так называемых битов (binary digits=bits), вентильных элементов и соединений между ними.

Однако уже достаточно давно было обнаружено, что эти классические компьютеры не могут справиться с некоторыми очень важными задачами. Примерами таких задач является поиск в неструктурированной базе данных, моделирование эволюции квантовых систем (например, ядерные реакции) и, наконец, факторизация больших чисел. Преимущество квантового компьютера перед классическим заключается в том, что в отличие от последних квантовый компьютер оперирует при вычислениях не с числами, а с квантовыми состояниями.

Существует множество теоретических моделей квантового компьютера. Проблема заключается в том, чтобы найти разумные пути создания реального прибора. Известно, как минимум, два подхода к осуществлению идеи такого устройства. Это - квантовый компьютер на ядерных спинах и квантовый компьютер на электронном резонансе в структурах Ge-Si.

Реализация квантового компьютера на ядерных спинах возможна только с использованием последних достижений нанометровой кремниевой планарной технологии интегральных схем.

Квантовый компьютер на электронном резонансе в структурах Ge-Si имеет ряд преимуществ в реализации: простота работы с электронным спином, менее жесткие требования к чистоте матрицы кремния и т.д.

В Интернете появилось сообщение о запланированных испытаниях твердотельного квантового компьютера на основе ядерного магнитного резонанса.

## НЕВИДИМІСТЬ: МІФ ЧИ РЕАЛЬНІСТЬ?

Голобородько Л.В. *студент*

Для розуміння поняття „невидимість” доцільно розібратись, а що ж таке „видимість”. Зробити людське тіло прозорим неможливо. Але можна змусити промінь світла обійти тіло і продовжити рух в тому самому напрямку. Крім того, вченими було створено „систему обману зору”, засновану на створенні спеціальних структур, які здатні за рахунок оптичних властивостей матеріалу, який використовується, вкрити необхідний об’єкт і зробити його невидимим в променях видимого світла, інфрачервоному і навіть сантиметровому діапазоні хвиль. Обидва способи у випадку досягнення успіху можуть бути використані досить широко - від коперфільдовських до військових фокусів.

Інший цікавий спосіб досягнення невидимості винайшли вчені Токійського університету - „плащ-невидимку”. Майже кожний з нас зможе при бажанні повторити такий експеримент. Але для військових це не жарти. Не відомо, чи взяли на замітку хто-небудь з військових спосіб професора Тачі, але те, що міністерство оборони США займається розробкою так званого „сучасного, активного адаптивного” камуфляжу, точний факт. Проте існує багато суперечностей у вирішенні питання невидимості даним способом.

Двоє американських учених теоретично створили технологію, яка може робити предмети практично невидимими. Дослідники наголошують, що їхня теорія не порушує ніяких фундаментальних законів фізики, а просто ґрунтується на попередніх спостереженнях поведінки світла.

Дослідники вважають, що великі об’єкти, наприклад, літаки або космічні кораблі, вкриті плазмонним шаром, зможуть зникати з екранів радарів.

Дві незалежні групи вчених продемонстрували можливість виготовлення спеціальних мета-матеріалів, які зможуть повністю сховати об’єкти від звукових хвиль, наприклад, дозволять зробити підводні човни невидимими для гідролокаторів.

Керівник – Ігнатенко В.І. *доцент*.

## ТЕХНОЛОГИИ И ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ОБЪЕМНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Скирдаченко Ю.В. *студент*

Если недавно плоскую картинку на мониторе компьютера многие воспринимали, как единственно возможную, то теперь вполне привычным стало и объемное изображение. Есть несколько технологий создания объемных изображений.

Волюметрические 3D дисплеи (V3D) воспроизводят объемное изображение в виде вокселей или векторов, реально разнесенных в рабочем дисплее. В 1998 году в Германии была впервые продемонстрирована система Felix (одна из моделей V3D), в которой использовался вращающийся экран. Компания Actuality Systems использует в модели Perspecta (вторая модель V3D) плоский экран, вращающийся вместе с системой зеркал для проецирования изображения размером 768x768 пикселей одновременно.

Одним из шагов на пути повышения качества и информационной емкости видеоизображения является создание стереоскопических дисплеев. Стереодисплеи широко используются там, где требуется пространственное восприятие информации: например, в медицине или дефектоскопии. Еще один метод получения объемного изображения - голографический. Голография - это объемное изображение предмета, созданное с помощью когерентного (лазерного) излучения. Американские ученые создали полимерный материал, на который можно записать голограмму всего за несколько минут. Этот показатель разительно контрастирует со скоростью создания современных голографических изображений. На текущий момент из нового полимера удалось создать голографический экран размером всего 10x10 см. Однако, возможно, ученым удастся создать большой дисплей из нескольких маленьких.

Пользу от таких изобретений, в первую очередь, извлекут медики. С помощью голограмм врачи получают возможность изучать томограммы, хирурги - следить за ходом операции и т.д. Есть надежда, что в будущем ученые смогут улучшить визуальное воспроизведение на экранах мобильных телефонов и телевизоров.

Руководитель – Игнатенко В.М. *доцент*.

## ПОСЛЕДНИЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ТЕОРИИ И НАБЛЮДЕНИИ ЧЕРНЫХ ДЫР

Игнатенко В.М. *доцент*, Панченко А.В. *студент*

Черные дыры с полной достоверностью пока не открыты, имеется немало причин, по которым они привлекают к себе в последние годы пристальное внимание ученых. Обнаружение черных дыр имело бы значение, далеко выходящее за рамки астрофизики, поскольку речь идет не об открытии еще одного, довольно удивительного объекта астрофизики, а о проверке правильности наших представлений о свойствах пространства и времени в сильных гравитационных полях.

Современная концепция черных дыр родилась из общей теории относительности Эйнштейна, а именно из точных решений уравнений Эйнштейна. Согласно этой теории, если вещество сжать, его гравитация может стать настолько сильной, что очертит область пространства, из которого ничто не сможет вырваться, которую называют черной дырой. Объекты могут попадать внутрь нее, но ни один не может выйти наружу.

Черная дыра - объект с исключительно сильным гравитационным притяжением. Любое тело, приблизившись к черной дыре на расстояние меньше критического (критическое расстояние называется гравитационным радиусом), уже не может покинуть ее область притяжения, и грубо говоря, поглощается ею. Несмотря на это все черные дыры могут терять массу за счет квантовых эффектов.

Согласно современным представлениям есть четыре сценария образования черной дыры.

- 1 Гравитационный коллапс массивной звезды на конечном этапе ее эволюции;
- 2 Коллапс центральной части галактики;
- 3 Формирование первичных черных дыр в момент Большого взрыва;
- 4 Возникновение квантовых черных дыр в ядерных реакциях высоких энергий.

Сенсационное открытие Стивена Хокинга показало, что существует квантовый процесс рождения частиц самой черной дырой, ее гравитационным полем, приводящим к уменьшению массы и размера черной дыры. Такое свойство квантовых частиц в случае черных дыр ве-



дет к качественно новому эффекту – квантовому испарению черных дыр. Принципиальная важность открытия Хокинга состоит в том, что опровергнуто представление о вечности черных дыр.

Одной из последних новостей в исследовании черных дыр является перспектива создания квантовых черных дыр на Земле. Возникает вопрос о безопасности такого эксперимента. Однако общие принципы квантовой механики указывают, что микроскопические черные дыры не могут быть устойчивыми, а значит, они безопасны. Также разработаны методы, которые могут позволить обнаружить следы микроскопических черных дыр пролетающих сквозь Землю.

В докладе рассматриваются следующие вопросы: способы образования черных дыр; открытие Хокинга; взрыв черных дыр; процессы внутри черных дыр; квантовые эффекты в черных дырах; рождение и смерть черной дыры; новости в изучении черных дыр.

Выводы:

1 Работа Хокинга ознаменовала огромный рывок вперед, поскольку объединила три разные области физики: общую теорию относительности, квантовую механику и термодинамику. Это был также шаг к созданию квантовой теории гравитации. Даже если первичные черные дыры никогда не рождались, их теоретическое изучение привело к значительным открытиям в физике, в частности, выявило парадокс, возникающий при попытке согласовать общую теорию относительности с квантовой механикой.

2 Создание черных дыр в ускорителях позволило бы проникнуть в глубины материи. В прошлом столетии физики упорно продвигались к границам микромира: от мельчайших пылинок – к атомам, затем к протонам, нейтронам, и наконец, к кваркам. Если они смогут создавать черные дыры, то достигнут масштаба Планка, который, как полагают, является пределом расстояния, меньше которого сами понятия пространства и длины, по-видимому, перестают существовать. Любая попытка исследовать существование более коротких расстояний, осуществляя столкновения при более высоких энергиях, неизбежно закончилась бы рождением черной дыры. Столкновения при больших энергиях, вместо того, чтобы дробить вещество на мелкие кусочки, приведут к рождению черных дыр все большего размера. Таким образом, их появление ознаменует конец важного направления науки. И возникает новая задача – исследования дополнительных измерений пространства.

## ТЕОРИЯ СУПЕРСТРУН – ТЕОРИЯ КВАНТОВОЙ ГРАВИТАЦИИ

Игнатенко В.М. *доцент*, Нагорный В.В. *студент*

Теория струн – это революционная модификация теории Эйнштейна, которая стремительно развивается. Изначально теория струн применялась для описания струнных свойств ядерного мира. Однако вскоре её стали рассматривать как возможный вариант объединения общей теории относительности и квантовой механики.

Основная идея состоит в том, что элементарные частицы – не точечные, а бесконечно тонкие одномерные объекты, называемые струнами. Обширное семейство разнообразных элементарных частиц отражено множеством возможных форм колебаний струны. Как же столь бесхитростная теория описывает сложный мир частиц и их взаимодействий? Секрет в так называемой магии квантовых струн. Как только правила квантовой механики применяются к вибрирующей струне, вдоль которой колебания распространяются со скоростью света, у неё появляются новые свойства, тесно связанные с физикой элементарных частиц и космологией.

Во-первых, квантовые струны имеют конечный размер. Обычную (неквантовую) скрипичную струну можно было бы разрезать пополам, затем одну из половинок снова порвать на две части и так далее, пока не получилась бы точечная частица с нулевой массой. Однако принцип неопределённости Гейзенберга не позволяет нам разделить струну на части длиной меньше, чем приблизительно  $10^{-34}$  м.

Во-вторых, даже безмассовые квантовые струны могут иметь угловой момент. В классической физике тело с нулевой массой не может обладать угловым моментом. Угловой момент крошечной струны может достигать  $2h$  ( $h$  – постоянная Планка), даже если её масса равняется нулю, что в точности соответствует свойствам переносчиков всех известных фундаментальных сил, таких как фотон и гравитон.

В-третьих, квантовые струны требуют существования дополнительных пространственных измерений. Классическая скрипичная струна будет колебаться независимо от того, каковы свойства пространства и времени. Уравнения, описывающие колебания квантовой струны, остаются непротиворечивыми только в том случае, если пространство-время сильно искривлено (что противоречит наблюдениям) или содержит шесть дополнительных измерений.

В-четвёртых, физические постоянные, которые определяют свойства природы и входят в уравнения, отражающие закон Кулона и закон всемирного тяготения, перестают быть независимыми.

Можно предположить, что в своем окончательном виде струнная теория даст ответы на следующие вопросы:

- Каково происхождение известных нам 4-х сил Природы?
- Почему массы и заряды частиц именно такие, какие они есть?
- Почему мы живем в пространстве с 4-мя пространственными измерениями?
- Какова природа пространства-времени и гравитации?

Пока мы не знаем точно, описывает ли струнная теория нашу Вселенную и в каких пределах.

Теория струн – самая многообещающая (хотя и не единственная) теория, пытающаяся описать, что происходило в момент Большого взрыва. В теории струн, которая претендует на звание квантовой теории гравитации, вводится новая фундаментальная физическая постоянная – минимальный квант длины. В результате старый сценарий Вселенной, рождённой в Большом взрыве, становится несостоятельным. Большой взрыв всё же имел место, но плотность материи в тот момент не была бесконечной, а Вселенная, возможно, существовала и до него. Симметрия теории струн предполагает, что у времени нет ни начала, ни конца. Вселенная могла возникнуть почти пустой и сформироваться к моменту Большого взрыва или пройти несколько циклов гибели и возрождения. В любом случае эпоха до Большого взрыва оказала огромное влияние на современный космос.

К тому же, черные дыры в теории струн – это не сумасшедшие объекты, нарушающие принципы квантовой механики, а нормальные объекты, и это огромный успех теории струн. Оказалось, что струны могут формировать весьма сложную упругую и эластичную структуру большой протяженности и, если наращивать ее массу, то можно получить черную дыру ("Пушистый клубок" (fuzzball)).

По словам Нобелевского лауреата по физике 2004 года Дэвида Гросса теория струн является квантово - механической релятивистски-инвариантной теорией, не содержащей противоречий.

## ПАРАДОКС ЭЙНШТЕЙНА – ПОДОЛЬСКОГО – РОЗЕНА. КВАНТОВАЯ ТЕЛЕПОРТАЦИЯ

Силка Р.И. студент

Парадокс Эйнштейна – Подольского – Розена является попыткой указания на неполноту квантовой механики с помощью мысленного эксперимента, заключающегося в измерении параметров микрообъекта косвенным образом, не оказывая на этот объект непосредственного воздействия. Согласно соотношению неопределённостей Гейзенберга, мы не можем измерить одновременно координату частицы и её импульс. Причина этого состоит в том, что производя измерение одной величины, мы вносим принципиально неустранимые возмущения в её движение и искажаем значение другой величины. Однако, можно предложить способ, с помощью которого соотношение неопределённостей можно обойти.

Допустим, две одинаковые частицы  $A$  и  $B$  образовались в результате распада третьей частицы  $C$ . В этом случае, по закону сохранения импульса, их суммарный импульс  $\vec{p}_a + \vec{p}_b$  должен быть равен исходному импульсу третьей частицы  $\vec{p}_c$ , то есть, импульсы двух частиц должны быть связаны. Это даёт нам возможность измерить импульс одной частицы и по закону сохранения импульса  $\vec{p}_a = \vec{p}_c - \vec{p}_b$  рассчитать импульс второй, не внося в её движение никаких возмущений. Поэтому, измерив координату второй частицы, мы сумеем получить для этой частицы значения двух канонически сопряженных величин, что согласно законов квантовой механики невозможно. Из этих соображений следует, что соотношение неопределённостей не является абсолютным, а законы квантовой механики являются неполными и должны быть в будущем уточнены.

Квантовой телепортацией называют передачу квантового состояния на расстояние, при помощи разнесенных в пространстве связанных пар микрочастиц или фотонов и классического канала связи между ними. Для передачи классической информации используется обычный канал связи, поэтому передача информации не может происходить со сверхсветовой скоростью. Квантовая телепортация не передаёт энергию или массу на расстояние.

Квантовая телепортация осуществляется за счёт разделения информации на «квантовую» и «классическую часть» и независимой передачи этих двух компонент. Для передачи «квантовой части» используются характерные для квантово-связанных частиц корреляции Эйнштейна – Подольского – Розена, а для передачи классической информации годится любой обычный канал связи.

Перехватить передаваемую информацию так, чтобы об этом не узнали отправитель и получатель, принципиально невозможно. Исходное состояние частицы А после этого разрушается. То есть, состояние было не скопировано, а перенесено из одного места в другое.

С 1993 года, когда впервые была обоснована теоретическая возможность квантовой телепортации, это понятие прочно вошло в лексикон серьезных ученых, а проблемы телепортации изучают в крупнейших научных центрах мира.

Экспериментальная реализация квантовой телепортации поляризованного состояния фотона была осуществлена в 1998 году и описана в статье Phys.Rev.Lett. 80, 1121—1125 (1998).

В журнале Nature за 17 июня 2004 года было объявлено об успешном экспериментальном наблюдении квантовой телепортации квантового состояния атома сразу двумя исследовательскими группами: M.Riebe et al., (телепортация квантового состояния иона атома кальция) и M.D.Barrett et al., (телепортация кубита на основе иона атома бериллия). Коллективу ученых из Китая и Австрии 30 марта 2007 г. впервые удалось осуществить квантовую телепортацию – мгновенную "переброску" материальных объектов через пространство. С помощью специальной установки экспериментаторы передали информацию о свойствах некоего атома на значительное расстояние и сумели получить там точную копию этого атома.

Несмотря на подымающую шумиху в средствах массовой информации, эти эксперименты вряд ли можно назвать революционным прорывом, ведь количество атомов в человеческом теле исчисляется числом с двадцатью семью нулями. Передать такой объем информации практически невозможно. Скорее это просто очередной большой шаг в направлении создания квантовых компьютеров и реализации квантовой криптографии.

Руководитель – Игнатенко В.М. *доцент*.

## ТОРСИОННЫЕ ПОЛЯ

Скоропад Г.Ю. *студент*

Торсионные поля — это поля кручения, которые рассматриваются как следствие спинового и орбитального вращения тел. Возможность существования торсионных полей основана на том, что уравнения теории гравитации Эйнштейна допускают незначительную модификацию, при которой их решения не будут обладать зеркальной симметрией (теория Эйнштейна-Картана).

Г. И. Шипов в своей теории вводит семь уровней реальности:

I Абсолютное НИЧТО; II Первичное торсионное поле; III Физический вакуум; IV Плазма; V Газ; VI Жидкость; VII Твердое тело.

Первичные торсионные поля являются простейшими вакуумными возбуждениями, которые, вообще говоря, нельзя отнести к обычному виду материи из-за отсутствия у них энергии.

Семь уровней реальности, необычные свойства первичных торсионных полей меняют наши представления о соотношении таких философских противоположностей, как материальное и идеальное, объективное и субъективное, наука и волшебство, научные знания и религия.

Первичные торсионные поля посредством инфорполя "управляют" рождением материи из вакуума, ее развитием, а также взаимодействием инфорполя с материей. Создается впечатление, что эти поля выступают в роли "сверхсознания". Если определить сознание как взаимодействие материи с инфорполем, то мыслеформы оказываются продуктом сознания. Из этого определения следует, что любая материя обладает сознанием, при этом чем выше степень взаимодействия материи с инфорполем, тем выше сознание материи.

На нашей планете наиболее активно с инфорполем взаимодействует человек (материальное образование) посредством совершенного прибора – головного мозга.

В классической механике торсионные поля проявляют себя через такой глобальный и повседневный опыт, как существование сил инерции в ускоренных системах отсчета. Неожиданной и удивительной оказалась связь торсионных полей с уравнениями квантовой механи-

ки. В теории физического вакуума эти уравнения простейшим образом описывают динамику полей инерции, т.е. торсионных полей.

Кроме этих двух проявлений торсионного поля весьма общего характера существует множество экспериментальных фактов, указывающих на новый тип физических взаимодействий, а именно – торсионных.

Торсионные поля обладают уникальными свойствами и могут порождаться не только спинами. Как показал нобелевский лауреат Бриджмен, эти поля при определенных условиях могут самогенерироваться. Торсионные поля, в отличие от электромагнитных, могут появляться не только от какого-нибудь источника, который обладает спином или вращением, но и когда искажается структура физического вакуума. Торсионные поля могут возникать за счет особой геометрии пространства.

Среда распространения торсионных зарядов - физический вакуум, который ведет себя как абсолютно твердое тело по отношению к торсионным волнам. Так как торсионные поля порождаются классическим спином, то в результате воздействия торсионного поля на объект у него изменяется только его спиновое состояние. Скорость распространения торсионных волн не менее  $10^9$  с.

Свойства торсионных полей крайне необычны. Торсионные поля проходят через любые естественные среды без потерь энергии. Торсионные волны являются неизбежным компонентом электромагнитного поля. Торсионные поля обладают памятью. Торсионное поле носит информационный характер - оно не передает энергию, а передает информацию. Торсионные поля – это основа Информационного поля Вселенной. Торсионные поля являются основой Мироздания.

Ряд физиков отрицает существование таких полей. В.Л. Гинзбург о торсионных полях говорит следующее: «...Целый ряд физиков показали, что в пределах точности измерений нет этих сил».

Современная теория торсионных полей далека от совершенства и требует серьезной доработки. Существуют ли они реально в природе, покажет будущее.

Руководитель – Игнатенко В.М. *доцент*.

## ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ

Игнатенко В.М. *доцент*, Коцар С.В. *студент*

**Фотонный кристалл** – это материал, структура которого характеризуется периодическим изменением коэффициента преломления в различных пространственных направлениях.

Фотонные кристаллы, благодаря периодическому изменению коэффициента преломления, позволяют получить разрешенные и запрещенные зоны для энергий фотонов, аналогичные присутствующим в полупроводниковых материалах, в которых наблюдаются разрешенные и запрещенные зоны для энергий носителей заряда.

Фотонные кристаллы по характеру изменения коэффициента преломления можно разделить на три основных класса:

1 Одномерные кристаллы, в которых коэффициент преломления периодически изменяется в одном пространственном направлении. Такие фотонные кристаллы состоят из параллельных друг другу слоев различных материалов с разными коэффициентами преломления и могут проявлять свои свойства в одном пространственном направлении, перпендикулярном слоям.

2 Двухмерные кристаллы, в которых коэффициент преломления периодически изменяется в двух пространственных направлениях. Такие фотонные кристаллы могут проявлять свои свойства в двух пространственных направлениях.

3 Трехмерные кристаллы, в которых коэффициент преломления периодически изменяется в трех пространственных направлениях. Такие фотонные кристаллы могут проявлять свои свойства в трех пространственных направлениях, и можно их представить как массив объемных областей (сфер, кубов и т.д.), упорядоченных в трехмерной кристаллической решётке.

Как и электрические среды в зависимости от ширины запрещённых и разрешённых зон, фотонные кристаллы можно разделить на проводники – способные проводить свет на большие расстояния с малыми потерями, диэлектрики – практически идеальные зеркала, полупроводники – вещества способные, например, выборочно отражать фотоны определённой длины волны, и сверхпроводники, в которых благодаря коллективным явлениям фотоны способны распространяться практически на неограниченные расстояния.



С фотонними кристаллами связывают будущее современной электроники. В данный момент идет интенсивное изучение свойств фотонных кристаллов, разработка теоретических методов их исследования, разработка и исследование различных устройств с фотонными кристаллами, практическая реализация теоретически предсказанных эффектов в фотонных кристаллах. Однако предполагается, что:

- Лазеры с фотонными кристаллами позволят получить мало-сигнальную лазерную генерацию, так называемые низкопороговые и беспороговые лазеры;
- Волноводы основанные на фотонных кристаллах могут быть очень компактны и обладать малыми потерями;
- С помощью фотонных кристаллов можно будет создавать среды с отрицательным коэффициентом преломления, что даст возможность фокусировать свет в точку с размерами меньшими длины волны («суперлинзы»);
- Фотонные кристаллы обладают существенными дисперсионными свойствами (их свойства зависят от длины волны проходящего через них излучения), это даст возможность создать суперпризмы;
- Новый класс дисплеев, в которых манипуляция цветом пикселей осуществляется при помощи фотонных кристаллов, частично или полностью заменит существующие дисплеи;
- Благодаря упорядоченному характеру явления удержания фотонов в фотонном кристалле, на основе этих сред возможно построение оптических запоминающих устройств и логических устройств;
- Фотонные сверхпроводники проявляют свои сверхпроводящие свойства при определенных температурах и могут быть использованы в качестве полностью оптических датчиков температуры; они способны работать на больших частотах и совмещаются с фотонными изоляторами и полупроводниками.

Таким образом, уже в недалеком будущем фотонные кристаллы позволят создать целый ряд технических устройств с рекордными параметрами.

## ФУЛЛЕРЕНИ – РЕВОЛЮЦІЯ В ТЕХНОЛОГІЇ

Ігнатенко В.М. *доцент*, Заговора О.В. *студент*

Відкриття фуллеренів – нової форми існування одного з найбільш розповсюджених елементів на Землі – вуглецю є одним з найдивовижніших та найважливіших відкриттів у науці ХХ сторіччя. Фуллерени – це абсолютно новий (відкритий у 1985 році) тип молекулярної форми вуглецю. Атоми вуглецю містяться у вершинах правильних шести- та п'ятикутників, які вкривають поверхню сфери або сфероїда. В таких молекулах може знаходитися 28, 32, 50, 60, 70, 76 і т.ін. молекул.

Перші фуллерени були знайдені у космічному просторі, в спектрах деяких зірок, а у 1992 р. їх виявили у породах докембрійського періоду. Наразі їх інтенсивно вивчають у лабораторіях різних країн, встановлюючи умови їх утворення, структуру, властивості та можливі сфери застосування.

Фуллерени мають незвичайні фізичні та хімічні властивості залежно від того, до якого саме виду фуллеренів вони належать. Так, фуллерен  $C_{60}$  є винятково стабільною сполукою: у кристалічному вигляді він не реагує з киснем, стійкий до кислот і лугів, його температура плавлення  $360^{\circ}$ , при високому тиску  $C_{60}$  стає твердим, як алмаз. Завдяки цій властивості його можна використовувати у як тверде мастило. Фуллеріди лужних металів  $A_3 C_{60}$  ( $A=K, Rb, Cs$ ) мають також надпровідні властивості. Температура фазового переходу залежить від сталої решітки фуллерідів і може досягати температур кипіння азоту.

Унікальні фізичні властивості наноструктурних матеріалів визначили за останні роки багатообіцяючий науково прикладний напрямок досліджень фізиків та хіміків. Це оптичні пристрої: оптичні затвори, отримання динамічних голограм, сонячні елементи і т. і. молекули фуллеренів можна використовувати як молекулярного підшипника. Це ідеальні покриття для ендопротезів, оскільки вуглець є основним елементом в живих організмах.

Іншим напрямком вивчення та застосування фуллеренових структур є вуглецеві нанотрубки.

Вуглецеві нанотрубки мають циліндричну форму, їх діаметр складає 0,5 – 3 нм, а довжина – кілька мікрометрів. Ці трубки були виявлені як побічний продукт синтезу фулерена  $C_{60}$ . Але з'ясувалося, що саме на основі нанотрубок за допомогою методів молекулярного моделювання можна побудувати електронні компоненти, конденсатори, транзистори, діоди, механічні приводи, шестерінки, квантові дроти і навіть дисплеї. Крім того, розглядаються такі напрямки застосування нанотрубок

- Механічне використання: надміцні нитки, композитні матеріали, нанотерези;
- Застосування у мікроелектроніці: транзистори, нанодріт, теплові елементи;
- Оптичні застосування: дисплеї, світло діоди;
- Медицина (у стадії розробок);
- У пристроях для моніторингу навколишнього середовища;
- Кабель для космічного ліфту.

Починаючи з 1985 р., тобто з дня відкриття фуллерена  $C_{60}$  вчені не перестають шукати нові форми вуглецю. Так, у 1999 р. у Міжнародному центрі досліджень матеріалів (Японія) вдалося виявити нові багаточарові фуллерени, наприклад,  $C_{60}$  всередині  $C_{240}$ , або  $C_{80}$  і  $C_{240}$ , вкладені, як мотрійки у  $C_{560}$ . такі багаточарові Фуллерени є новим видом вуглецевих кластерів.

У підсумку можна відзначити, що відкриття фуллеренів знаменувало появу класу сполук, які є новою незвичайною та дуже цікавою формою елементарного вуглецю.

Як відомо, майже всі нові технології знаходять застосування у військовій сфері. Завдяки високому потенціалу нанозбірки та молекулярного конструювання, стає можливим створення наднових типів зброї.

Існують відомості про край негативно вплив розпилені наноматеріалів на здоров'я людини.

Тому незважаючи, на величезні перспективи використання таких сполук, вчені мають вивчити можливі наслідки, дати повну оцінку усіх досягнень у цій сфері та визначити який вплив вони спричинять на екосистему, особливо на життя та здоров'я людини.

## СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПРОЦЕСУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ

Карабаза А.А. *студент*, Кшнякіна С.І. *доцент*,

\*Кшнякін В.С. *доцент*

\*Сумській державний педагогічний університет ім.А.С.Макаренка

Кристалізація – утворення кристалів з пари, розчинів, розплавів і при хімічних реакціях. Для кристалізації необхідне порушення термодинамічної рівноваги в так званому маточному середовищі – перенасичення розчину або переохолодження розплаву. Кожній кристалічній речовині притаманна власна, визначена структура, але при зміні термодинамічних умов вона іноді може змінюватись (поліморфізм). Звичайно чим більш проста формула з'єднання, тим більш симетрична його структура

Зазвичай з розчинів, що слабо переохолоджувані, кристали ростуть у формі багатогранників. Їх найрозвиненіші грані звичайно мають прості кристалографічні індекси. З геометричного погляду розмір кожної грані, як правило, тим більший чим менше швидкість її росту. Так як швидкість росту збільшується з переохолодженням по-різному для різних граней, то зі зміною переохолодження міняється і вигляд (габітус) кристала. Зростання граней простих індексів часто йде пошарово – незавершені шари (ступені) при зростанні рухаються по поверхні грані.

Висота ступеню (товщина шару) коливається від часток мм до декількох А. Експериментально ми одержували двопереломляючі кристалічні пластинки, які спостерігалися в поляризованому світлі. Ступені виявлялися в ньому, як межі областей різного забарвлення. Тонкі ступені рухаються при зростанні швидше за товсті, наздоганяють їх і зливаються з ними. Східчаста структура поверхні сильно залежить від умов зростання. Наприклад, при достатньому пересиченні можна викликати кристалізацію в об'ємі за рахунок виключно механічних збурень в цій області. При застосуванні мікроскопа можна спостерігати процес коалесценції, коли крупні кристали ростуть за рахунок зникнення більш дрібних. Можливе спостереження конвекційних потоків розчинника в зоні кристалізації. Сучасні цифрові апарати дозволяють одержувати статистичні фотографії кристалів, а також безпосередній процес їх зростання.

В роботі досліджено всі вищезгадані моменти та підготовлена презентація отриманих кристалів різних солей і деяких кислот.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

Криворучко Е.А. *студент*, Кшнякина С.И. *доцент*

В предоставляемой работе рассматриваются физические основы свойств жидких кристаллов. Приготовлена жидкокристаллическая ячейка для визуализации тепловых полей.

Жидкие кристаллы – особое состояние некоторых органических веществ, в которых они обладают свойствами жидкости – текучестью, но сохраняют определенную упорядоченность в расположении молекул и анизотропию ряда физических свойств, характерную для твердых кристаллов.

Известны несколько тысяч органических соединений, образующих жидкие кристаллы. Жидкие кристаллы состоят из молекул удлинённой или дискообразной формы, взаимодействие между которыми стремится выстроить их в определенном порядке. При высоких температурах тепловое движение препятствует этому и вещество представляет собой обычную жидкость. При температурах ниже критической в жидкости появляется выделенное направление, вдоль которого преимущественно ориентированы длинные или короткие оси молекул. В случае двусосных жидких кристаллов упорядочены ориентации как длинных, так и коротких осей молекул.

По способу получения жидкие кристаллы делятся на термотропные и лиотропные. Термотропные жидкие кристаллы образуются при нагревании твердых кристаллов или охлаждении изотропной жидкости и существуют в определенном температурном интервале. Лиотропные жидкие кристаллы образуются при растворении твердых органических веществ в различных растворителях. И те и другие обычно имеют несколько модификаций – жидкокристаллических фаз. Температурный интервал существования жидкокристаллических фаз зависит от вещества и может находиться как при низких (от  $-60^{\circ}\text{C}$ ) так и при высоких температурах (до  $400^{\circ}\text{C}$ ).

В зависимости от характера расположения молекул различают три основных типа структур ЖК-соединений: смектический, нематический и холестерический. Эти типы структур относятся к термотропным жидким кристаллам. Смектический тип жидких кристаллов ближе всего к истинно кристаллическим телам. Молекулы располагаются в слоях и их центры тяжести подвижны в двух измерениях (на смек-

тической плоскости). Нематический тип жидких кристаллов характеризуется наличием только одномерного ориентационного порядка длинных или коротких осей молекул. Холестерические образуются хиральными (оптически активными) молекулами, содержащими асимметрический атом углерода. Такие молекулы являются зеркально-несимметричными в отличие от зеркально-симметричных молекул нематиков. Периодическая спиральная структура холестериков определяет их уникальную особенность – способность селективно отражать падающий свет. При фиксированном угле отражения условие интерференции выполняется только для лучей одного цвета, и слой (или пленка) холестерика кажется окрашенным в один цвет. Этот цвет определяется шагом спирали  $P$ , который при нормальном угле падения света определяется соотношением  $P = \frac{\lambda_{\max}}{n}$ , где  $n$  – показатель

преломления холестерика. В зависимости от величины шага спирали, который определяется химической природой холестерика, максимум длины отраженного света может располагаться в видимой, а также в ИК- и УФ-областях спектра, определяем область использования оптических свойств холестериков.

В отличие от термотропных жидких кристаллов, где формирование определенного типа мезофазы определяется лишь температурой, в лиотропных системах тип структурной организации определяется уже двумя параметрами: концентрацией вещества и температурой. Лиотропные жидкие кристаллы наиболее часто образуются биологическими системами, функционирующими в водных средах. Именно в этих системах в наиболее яркой форме проявляются уникальные способности жидких кристаллов: лобильность и склонность к самоорганизации.

В работе рассмотрены также ИК-спектры поглощения жидкокристаллических фаз нормальных карбоновых кислот.

Интерес к жидким кристаллам неуклонно растет, поскольку они находят применение не только в производстве, но являются составной частью всех живых организмов, и их изучение позволит раскрыть многие тайны нашего организма и избавиться от многих болезней.

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕЯКИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ

Хижняк Т.О. студент, Кшнякіна С.І. доцент, \*Сахно П.В.

\*Сумський центр «Облдержродючість»

Метою нашої роботи є короткий огляд методів спектрального аналізу, які застосовуються в екології.

В роботі розглянуто застосування методів спектрального аналізу для дослідження якості повітря. Методами інфрачервоної спектроскопії вдалося встановити наявність сполук стронцію, а також магнію, заліза, цинку у зразках. На нашу думку, найбільш прийнятним методом для вирішення поставленої задачі є метод атомно-абсорбційного аналізу. Він ґрунтується на резонансному поглинанні світла вільними атомами, що виникає при пропусканні пучка світла через шар атомної пари. Селективно поглинаючи світло на частоті резонансного переходу, атоми переходять із основного стану в збуджений, а інтенсивність пучка світла, що проходить, на цій частоті експоненційно зменшується за законом Бугера-Ламберта:  $I = I_0 \exp(-\alpha l)$  де  $l$  – товщина поглинаючого шару;  $\alpha$  – коефіцієнт поглинання світла.

В останні роки значної уваги приділяють проблемі забруднення оточуючого середовища важкими металами та іншими токсичними елементами. [1]

Був досліджений вміст важких металів у рослинних пробах. Відбір проб здійснювався в певних точках міста Суми, а саме: район Хімпрому (5), СумДУ (2), універмагу «Київ» (3), школи № 14 (4), СумДПУ (1). Листки зрізали на висоті 1,6 м від землі. Вміст важких металів в рослинних пробах визначали в їх зольних розчинах на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С-115. Для атомізації елементів використовувалося повітряно-ацетиленове полум'я, що зумовлювало мінералізацію проб, яку проводили методом сухого озолення.

Визначення вмісту Cu, Zn, Pb, Cd проводилося в розчині золи після мінералізації аналізуючого матеріалу. Золю змочували кількома каплями бідистильованої води, потім дозатором або із бюретки до золи доливали по 10-15 см<sup>3</sup> розбавленої азотної кислоти (1:1), накривали тигель часовим склом і нагрівали на електроплитці до кипіння або вдержували на водяній бані протягом 30 хвилин. Вміст металів в дослі-

джуваних пробах рослин був обчислений за формулою:

$$X = \frac{V \cdot (A_1 - A_0)}{m} \cdot K$$

де  $X$  – масова концентрація певного металу в рослинній пробі,  $\text{млн}^{-1}$ ;  $A_1$  – концентрація металу в розчині золи,  $\text{мкг/см}^3$  (визначена за калібрувальним графіком);  $A_0$  – концентрація металу в холстій пробі,  $\text{мкг/см}^3$  (визначена за калібрувальним графіком);  $V$  – об'єм досліджуваного розчину золи,  $\text{см}^3$ ;  $m$  – маса повітряно-сухої проби рослини, г;  $K$  – коефіцієнт, що враховує зменшення маси наважки рослинної проби.

В результаті досліджень отримали, що вміст кадмію був найбільший у пробі №2, в той час як у пробі №3 його вміст був найменший. Концентрація свинцю найбільша у пробі №2. Вміст цинку був найбільший у зразку №2 і набагато перевищував вміст у інших зразках. Найбільша концентрація міді знайдена у зразку №5, що нами і очікувалось, а найменша знову ж таки у зразку №3. Найбільш забрудненим районом за всіма параметрам, крім міді, кількість якої була більшою на Хімпромі, став Сумський державний університет. Найбільш чистим районом міста Суми є район універмагу Київ.

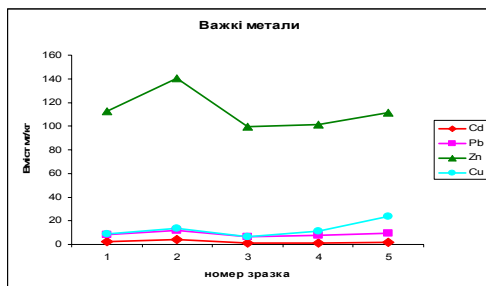


Рис. 1. Вміст важких металів в зразках.

1. Положин І. Фізико-хімічні методи аналізу стану об'єктів навколишнього середовища. – Державний університет «Львівська політехніка». – Львів, 1997. – 196с.
2. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах и продукции растениеводства. Под ред.: Л.М. Державин, В.А. Захаренко. – М., 1989. – 62с.
3. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. –151с.



## МЕТОДЫ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА И ИХ ВОЗМОЖНОСТИ

Гордиенко О.И. *студент*, Кшнякина С.И. *доцент*

Предоставляемая работа посвящена рассмотрению наиболее распространенных методов спектрального анализа и тем возможностям, которые он дает в исследовании вещества. В качестве иллюстрации приведены спектры ИК-поглощения и спектры КР кристаллов некоторых дикарбоновых кислот.

Под спектральным анализом понимают физические методы анализа химического состава веществ, его строения, основанные на исследовании спектров испускания и поглощения атомов и молекул. Различают атомный и молекулярный спектральный анализ, эмиссионный (по спектрам испускания) и абсорбционный (по спектрам поглощения). Спектры определяются свойствами электронных оболочек атомов и молекул, колебаниями атомных ядер в молекулах и вращением молекул, а также воздействием массы и структуры атомных ядер на положение энергетических уровней. Кроме того, они зависят от воздействия атомов и молекул с окружающей средой.

Атомные спектры – спектры оптические, получающиеся при испускании или поглощении электромагнитного излучения свободными или слабосвязанными атомами. Являются линейчатыми, т.е. состоят из отдельных спектральных линий. Атомные спектры наблюдаются в видимой, УФ и ближней ИК-областях спектра. Индивидуальность атомных спектров используется для качественной определения элементарного состава вещества, а зависимость интенсивности линий от концентрации излучающих атомов – для количественного анализа вещества.

Инфракрасная спектроскопия (ИК-спектроскопия) занимается главным образом изучением молекулярных спектров, т.к. в ИК-области расположено большинство колебательных и вращательных спектров молекул. В инфракрасной спектроскопии наиболее широкое распространение получило исследование ИК-спектров поглощения, которые возникают в результате поглощения ИК-излучения при прохождении его через вещество. Основные характеристики спектра ИК-поглощения: число полос поглощения в спектре, их положение, опре-

деляемое частотой  $\nu$ , ширина и форма полос, величина поглощения. Изучение колебательно-вращательных и чисто вращательных спектров методами ИК-спектроскопии позволяет определять структуру молекул, их химический состав, моменты инерции молекул, величины сил, действующих между атомами в молекуле и др.

Явление комбинационного рассеяния света заключается в том, что в спектре рассеяния, возникающем при прохождении света через газы, жидкости или прозрачные кристаллические тела, помимо несмещенной линии, содержат новые линии, частоты которых представляют собой комбинацию частоты падающего света  $\omega_0$  и частот  $\omega_i$  колебательных или вращательных переходов рассеивающих молекул

$$\omega = \omega_0 \pm \omega_i .$$

С помощью спектров КРС можно измерять частоты собственных колебаний молекул и кристаллов. Это открывает широкие возможности для идентификации веществ и исследования происходящих в них превращений под влиянием внешних воздействий.

Одно и то же вещество может иметь несколько модификаций, например, углерод бывает в форме графита, алмаза, аморфной фазы. Химический или спектральный анализы не дают возможности отличить эти фазы, но спектры КРС для них будут различаться, поскольку для комбинационного рассеяния важен не только химический состав вещества, но и его структура. С помощью КРС можно изучать процессы плавления кристаллов и кристаллизации жидкостей, исследовать химические реакции в растворах, фиксировать появление на поверхности твердых тел тонких пленок и характеризовать их структуру, и т.д.

Изменение температуры, давление и других внешних факторов приводят к изменению симметрии решетки некоторых кристаллов (структурные фазовые превращения). Перестройка кристаллической решетки, естественно, приводит к изменению ее колебательного спектра, и поэтому КРС, может служить для анализа этих превращений.

## ЕВОЛЮЦІЯ НАЙМЕНУВАНЬ НЕБЕСНИХ СВІТИЛ

Федченко Т.С. *студент*, Лопаткін Ю.М. *доцент*

Найбільшим питанням, яке коли-небудь ставило перед собою людство, було питання світобудови. Головне завдання – сягнути глибини сутності людського існування, його гармонії з навколишнім середовищем, вивчаючи культуру та побут, міфологію та історію, які викарбувалися на різноманітних природних об'єктах, зокрема небесних.

Мета даного дослідження – здійснити системний аналіз історії походження назв на зоряному небі, причини, якими керувалося суспільство, створюючи певні образи та переносячи їх на назви небесних тіл; зіставлення та вивчення світогляду людини у різний час та в різних місцях, опираючись на історичну та міфологічну базу; доведення єдності людини з природою, окреслення гармонії у їх сумісному існуванні; визначення кінцевих мотивів щодо прагнення людини пізнати світ. В роботі проведено дослідження назв на зоряному небі, досить уживаних у різноманітних галузях і сферах, а також окреслення головних причин, за якими людство прагнуло увіковічнити певні образи, що ставали іменами небесних тіл.

У далекій давнині астрономи задовольнялися тим, що визначали положення окремих зірок на малюнку істоти, які вони «бачили» у конфігурації тієї чи іншої групи зірок (наприклад, зірка «Серце Скорпіона»). Отож, групи зірок були названі сузір'ями. Природно, що кожен народ мав свої сузір'я. Сузір'я – це пам'ятки давньої культури людини, її міфології, її першої цікавості до зірок. Перші сузір'я були виокремлено ще у бронзовій добі, коли наші предки почали спостерігати шляхи руху світил, поміж яких Сонце і Місяць переміщуються в небі. Тому найстарішими вважаються сузір'я зодіакального поясу, бо саме впродовж нього проходить – екліптика. Зараз у зодіаці налічується 12 сузір'їв, з яких сузір'я Скорпіона поступово замінюється сузір'ям Змієносець, саме в якому зараз розташувалося Чорне Сонце – центр нашої Галактики.. Причому десь за 24000 роки картина знов повернеться до шумерської, але цей висновок ще потребує вивчення.

Як відомо, у нашій Галактиці більш ніж 400 млрд. зірок. Близько 0,004% з них занесено до каталогів. Тому, розподіляти небо на сузір'я

було зручно для астрономів. В 1922 р. у Римі відбулася ГАМАЗ, яка затвердила назви 88 сузір'їв, якими ми користуємося і зараз.

Багато назв дійшли до нас із Стародавньої Греції, з Єгипту.

В даній роботі зібрані по крупицям назви сузір'їв з давньоруських джерел. Згадки про окремі сузір'я розкидані по різних текстах, в тому числі й таких, що прямо не стосувалися астрономії. Найпопулярнішими були Плеяди (Власожельці, Волосині, або Баби), Оріон (Кружиліє, або Кружилиця), обидві Ведмедиці, а також Молочний Шлях (Чумацький Шлях). Поряд із загальноприйнятими, всі сузір'я в різних країнах у побуті відомі не під міжнародною латинською назвою, а в перекладі. Крім того, існують народні назви, які передають різноманітні асоціації, що виникають у людей. Народні назви сузір'їв не увійшли як офіційні в науковий обіг, проте досить точно передають враження, що виникає, коли зіставити розташування зірок із певними предметами, істотами. Так, сім найяскравіших зір Великої Ведмедиці в Давній Русі називали Возом, Колісницею. За Волгою сузір'я звалося Великим Ковшем, в Сибіру – Оленем, іноді Велика Ведмедиця – це «Чумацький Віз» або «Великий ківш»; Мала Ведмедиця — «Малий Віз»; Касіопея – «Борона» чи «Пасіка»; Дельфін – Криниця»; сузір'я «Либідь» по-народному називається «Хрестом»; Орел – «Дівчина з відрами»; зоряне скупчення Гіади, що утворює голову Тільця – «Чепіги»; а зоряне скупчення Плеяди – «Стожари». Та найбільше синонімічних українських назв має сузір'я Оріон. Це – «Косар», «Косарі», «Полиця», «Граблі».

Виділення певних сузір'їв виявилось дуже корисним: воно дозволило створити перші календарі і значно полегшило орієнтування як серед небесних об'єктів, так і при подорожах по Землі. Навіть сучасні астрономи та навігатори не відмовились від поділу неба на сузір'я, хоча цей термін тепер означає не просто групу яскравих зірок, а й ділянку небесної сфери, на котрій вона розташована, з усіма присутніми там об'єктами. Дану роботу було б влучно узагальнити висловом одного з представників «Срібної доби» літератури Володимира Маяковського: «Якщо зірки запалюють – значить – це комусь потрібно...».

Результати роботи можуть бути використані як базовий матеріал при дослідженні картини зоряного неба та подальшому її розвитку. Крім цього, в роботі було зіставлена певна закономірність Всесвіту, як незвіданої й таємничої сфери, із прагненнями людини.

## ФОТОФІЗИЧНІ ПРОЦЕСИ В ШАРАХ ТЕТРАЦЕНУ

Чернякова М.Г. *студент*, Лопаткін Ю.М. *доцент*

Проведені квантово-хімічні розрахунки енергії зв'язку в молекулах тетрацену (Тц) і продукту його фотоокиснення тетраоксотетрацену (ТОТ). Вони показують, що обидві молекули мають позитивну енергію спорідненості до електрона:  $A = 1,19$  еВ і  $2,58$  еВ, відповідно, і енергію іонізації  $I = 8,01$  і  $10,16$  еВ.

При передачі електрона збудженим Тц молекулі ТОТ буде виграш енергії. Електрони, що виникають в матриці (ТЦ) унаслідок розділення зарядів під дією кванта  $h\nu = 2,9$  еВ  $= E_g$ , і у виникаючій домішці (ТОТ), захоплюються ТОТ з утворенням аніона-радикала.

Процес  $(\text{Тц}^0\text{ТОТ}^+) \rightarrow (\text{Тц}^+\text{ТОТ}^0)$  – мимовільний ( $I_{\text{Тц}} - I_{\text{ТОТ}} < 0$ ), що приводить до дірчастої провідності. Зустріч дірки Тц<sup>+</sup> з ТОТ<sup>0</sup> може викликати тільки пружне розсіяння дірки на нейтральному атомі домішки, оскільки зворотний процес енергетично не вигідний. Мимовільним буде і процес захоплення електрона з матриці на ТОТ  $(\text{Тц}^-\text{ТОТ}^0) \rightarrow (\text{Тц}^0\text{ТОТ}^-)$ , оскільки  $A_{\text{Тц}} - A_{\text{ТОТ}} < 0$ .

Збудження молекули ТОТ в стан з  $h\nu > 3,5$  еВ обумовлює генерацію дірок в матриці  $(\text{ТОТ}^* + \text{Тц} \rightarrow \text{Тц}^+ + \text{ТОТ}^-)$ , оскільки  $I_{\text{Тц}} - A_{\text{ТОТ}} - h\nu - e^2/(4\pi\epsilon_0 r_{12}) < 0$  (якщо  $r_{12} = 3,5 \div 5$  Å, то кулонівська енергія  $e^2/(4\pi\epsilon_0 r_{12}) = 1,5 \div 2$  еВ). При утворенні високозбудженого стану ТОТ<sup>\*\*</sup> ( $> 7$  еВ) разом з приведеною вище можлива реакція  $\text{ТОТ}^{**} + \text{Тц} \rightarrow \text{Тц}^- + \text{ТОТ}^+$ . Зворотний процес протікає мимоволі  $(\text{Тц}^-\text{ТОТ}^+) \rightarrow (\text{Тц}^0\text{ТОТ}^0)$ , оскільки  $A_{\text{Тц}} - I_{\text{ТОТ}} + e^2/(4\pi\epsilon_0 r_{12}) < 0$ .

Зустріч екситону з атомом домішки може викликати реакцію переносу електрона  $\text{Тц}^* + \text{ТОТ}^0 \rightarrow \text{Тц}^+ + \text{ТОТ}^-$  з утворенням дірки в матриці. Реакція  $(\text{Тц}^0\text{ТОТ}^0) \xrightarrow{h\nu} (\text{Тц}^+\text{ТОТ}^-)$  протікає тільки в комплексі при його збудженні, оскільки  $I_{\text{Тц}} - A_{\text{ТОТ}} - e^2/(4\pi\epsilon_0 r_{12}) > 0$ . Зворотний процес буде мимовільним.

Таким чином, стабільні продукти фотоокиснення (ТОТ) в темноті є центрами захоплення електрона або розсіювання дірки. Аніони домішки будуть центрами захоплення дірок. Екситони, що утворюються при освітленні плівок Тц, взаємодіючи з продуктами фотоокиснення, генерують основні носії струму.

## ЕНЕРГЕТИЧНА СТРУКТУРА МОЛЕКУЛИ ЕОЗИНУ

Шаповалов В.Н. *студент*, Колгун А.М. *студент*,  
Лопаткін Ю.М. *доцент*

Основна маса барвників може виступати сенсibilізатором фотолізу катіонів діазонія, який забезпечує вигреш енергії при перенесенні електрона із збудженої молекули барвника на катіон діазонія.

Отриманий спектр поглинання барвника еозину і розраховані його енергетична структура (табл.1), а також енергії спорідненості катіонів діазонія і фенілазиду.

Таблиця 1 – Енергетична структура молекули еозину.

| Молекула                       | Енергія, E (eV) |
|--------------------------------|-----------------|
| Катіон еозину                  | -177,39         |
| Нейтральна молекула            | -185,69         |
| Аніон еозину                   | -188,82         |
| Катіон еозину (депротонований) | -181,94         |
| Аніон еозину (депротонований)  | -186,18         |
| Еозин (депротонований)         | -186,43         |

Аналіз енергетичної структури молекули еозину показує, що найбільш ефективним сенсibilізуючим барвником є депротонований еозин. Енергія іонізації депротонованої молекули барвника на  $8,31-4,49=3,82$  eV менше, ніж у недепротонованої, що дозволяє використовувати барвник як сенсibilізатор до видимого випромінювання навіть діазосолей з достатньо малою енергією спорідненості, а також фенілазидів.

При реалізації перенесення електрона на фенілазид відбудеться його дисоціація. Але у процесах за участю молекул з енергетичною структурою, подібній структурі фенілазиду, у якого енергія спорідненості до електрона  $E_A < 1$  eV, перенесення електрона з матриці або барвника на молекулу можливе буде лише при високоенергетичному збудженні.

Таким чином, отримує пояснення необхідність депротоновування молекули барвника для підвищення ефективності його сенсibilізуючих властивостей.

## ВРЕМЯ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ НАНОЧАСТИЦЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНЕГО ПОЛЯ

Рот-Серов А.В. *студент*, Поляков А.Ю. *студент*, Люты́й Т.В. *доцент*

Изучение ферромагнитных наночастиц и их ансамблей является важной и перспективной задачей, поскольку такие системы являются элементной базой для современных магнитных накопителей. С точки зрения быстродействия этих устройств актуальным является вопрос о времени перемагничивания наночастицы в процессе записи данных. Если наночастица обладает сильной одноосной анизотропией, значение бита информации будет определяться тем, в каком из двух устойчивых состояний находится магнитный момент частицы. Как правило, управляемое переключение магнитного момента наночастицы осуществляется при помощи воздействия внешних магнитных полей. Переход между двумя равновесными направлениями магнитного момента возможен под действием как постоянного магнитного поля  $\mathbf{H}$ , приложенного вдоль оси легкого намагничивания наночастицы, так и поля  $\mathbf{h}(t)$ , циркулярно-поляризованного в плоскости, перпендикулярной легкой оси.

Проблема времени переключения намагниченности наночастицы под действием полей таких типов напрямую связана с быстродействием медиа-устройств. Оптимальный выбор соответствующих параметров внешнего магнитного поля, таких как амплитуда, частота и длительность действия поля, позволит уменьшить время перемагничивания, то есть увеличить быстродействие накопителей и уменьшить энергозатраты в процессе записи информации.

В этой работе были исследованы зависимости времени переключения намагниченности от разных значений параметров внешнего магнитного поля. Установлено, что величина постоянного поля  $\mathbf{H}$ , при котором происходит переключение намагниченности, может быть существенно уменьшена вращающимся полем. Было показано, что в импульсном режиме действия магнитного поля время переориентации растет с уменьшением амплитуды и длительности импульса. Также показано, что время переключения минимально в случае, когда длительность импульса кратно полуполному числу периодов внешнего поля. Определена зависимость времени перемагничивания от частоты магнитного поля.

## ОДНОРОДНАЯ И НЕОДНОРОДНАЯ ПРЕЦЕССИЯ МАГНИТНОГО МОМЕНТА, ВОЗБУЖДАЕМОГО ВРАЩАЮЩИМСЯ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Поляков А.Ю. *студент*, Лютый Т.В. *доцент*

Актуальность изучения ферромагнитных наночастиц, а также их ансамблей диктуется, в первую очередь, перспективами использования таких объектов в качестве носителей информации в современных магнитных накопителях.

В данной работе объектом исследования является сферическая ферромагнитная одноосная наночастица, находящаяся под действием постоянного поля  $\mathbf{H}$ , приложенного вдоль оси легкого намагничивания, и поля  $\mathbf{h}(t)$ , циркулярно поляризованного в плоскости, перпендикулярной этой оси. В предположении, что обменное взаимодействие достаточно велико, спины решетки остаются всегда параллельными друг другу. Тогда модуль намагниченности частицы является сохраняющейся величиной и характеризуется классическим вектором магнитного момента  $\mathbf{m}$  ( $|\mathbf{m}| = \text{const}$ ). Его динамика подчиняется уравнению Ландау-Лифшица, которое в данном случае преобразуется в систему уравнений для полярного и азимутального углов магнитного момента  $\mathbf{m}$ . Полученная система имеет два типа решения и, соответственно, описывает два режима движения магнитного момента. Первый, или, так называемый *однородный* режим, описывает прецессию вектора  $\mathbf{m}$  с некоторым постоянным углом. Второй, или, так называемый *неоднородный* режим, характеризуется периодическим отклонением угла прецессии магнитного момента от легкой оси и до настоящего времени не имеет аналитического описания.

В результате всестороннего численного исследования динамики магнитного момента были найдены условия реализации однородного и неоднородного режимов прецессии в зависимости от параметров внешних воздействий, а, также, внутренних параметров наночастицы. Показано, что смена режимов движения есть результатом потери устойчивости прецессии магнитного момента. Изучено многообразие вариантов переходов из одного режима в другой, в частности показана возможность переключения намагниченности как из однородного, так и из неоднородного режимов прецессии.



## СПОСОБИ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ БЕЗ ДРОТІВ

Будник П.М. *студент*, Міщенко Б.А. *старший викладач*

В кінці минулого сторіччя Микола Тесла продемонстрував можливість передачі електроенергії по одному незамкненому і незаземленому дроту. Тесла також займався передачею електроенергії без дротів (ПЕБД), але відомостей про його роботи в цій сфері збереглося дуже мало. За уривчастими відомостями, що дійшли до нас, вченому вдалося досягти в області ПЕБД видатних результатів.

Дослідження в цій області продовжуються і в наш час. Проте до теперішнього моменту спроби передачі електроенергії на відстань, без будь-якого носія, провалювалися із-за низького ККД процесу.

Ближче за всіх до вирішення проблеми підійшли фахівці американського Масачусетського технологічного інституту. У червні 2007 р. група вчених під керівництвом професора Марина Солячича провела експеримент з ПЕБД з ефективністю 45%. Теоретичні розробки професора, які були опубліковані ще в 2006 році, реалізували інженери інституту. В ході експерименту вдалося примусити світитися лампу розжарювання потужністю 60 Вт, що знаходилася на відстані більше ніж 2 м від джерела енергії. Експериментальний пристрій складався з двох мідних котушок, а сама передача енергії відбувалася за рахунок магнітного резонансу. За думкою фахівців, технологія не представляє небезпеки ні для людей, ні для тварин.

Аналогічні роботи проводяться в Україні. 28 грудня 2006 р. в Національному авіаційному університеті вісім чоловік стали свідками успішного експерименту з бездротової передачі 10 Вт електроенергії на відстань двох метрів з ККД близько 10%.

Над ПЕБД працюють і інші винахідники. Американська компанія Powercast, заявила, що відповідні промислові пристрої, повинні з'явитися у 2008 році. Розроблена в компанії технологія передачі енергії з використанням радіохвиль вже пройшла сертифікацію, і здатна передавати до 70% енергії, що виробляється (традиційні системи радіопередачі енергії транслюють лише 10%).

Вже в найближчому майбутньому слід чекати широкого використання подібних технологій для зарядки різноманітних переносних пристроїв – мобільних телефонів та ноутбуків.

## КОСМІЧНИЙ ЛІФТ: ШЛЯХ ВІД ІДЕЇ ДО ІНЖЕНЕРНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Липовий В.М. *студент*, Міщенко Б.А. *старший викладач*

Космічний ліфт - пристрій для виведення вантажів на орбіту Землі або за її межі без використання космічних апаратів.

Є декілька варіантів конструкції цього пристрою. Але майже всі вони включають наземну станцію (базу), трос (стрічку), підйомник (космічну капсулу) і противагу. Противага може бути створена двома способами - шляхом прив'язування до стрічки важкого об'єкту (наприклад, астероїда чи супутника) який знаходиться на геостаціонарній орбіті або продовження самого троса на значну відстань за геостаціонарну орбіту. Гравітаційне притягання нижнього кінця стрічки компенсується силою, викликану доцентровим прискоренням верхнього кінця. Таким чином трос постійно буде знаходитися в натягнутому стані. Космічна капсула, що містить корисний вантаж, буде пересуватися вздовж стрічки. Для початкового старту капсули необхідне зусилля, але, як тільки вона буде наближатися до кінцевої станції, її швидкість збільшуватиметься внаслідок доцентрового прискорення всієї системи. На кінцевій станції, якщо це необхідно, капсула від'єднується від ліфту і виходить у відкритий космос.

Трос, який має довжину 100000 км, повинен бути виготовлений з матеріалу з надзвичайно високим відношенням межі міцності на розрив до густини. До недавнього часу таких матеріалів не існувало. Однак швидкий розвиток нанотехнологій і відкриття нанотрубок, дають надію на те, що найближчим часом необхідні надлегкі та надміцні композитні матеріали будуть створені.

Проект космічного ліфту з теоретичної ідеї перейшов у практичну площину у 2005 році. У цьому році Каліфорнійський фонд Spaceward Foundation разом з NASA, розпочав проект Elevator:2010 р. із випробувань прототипів космічного ліфта (Annual Space Elevator Games). Мета змагань між командами конструкторів розробка остаточної концепції створення космічного ліфту до 2010 року. Після цього почнеться саме будівництво. Як планує американська компанія LiftPort Inc, космічний ліфт буде побудований, випробуваний і запущений в роботу до квітня 2018 року.

## АНОМАЛЬНІ КОСМІЧНІ ПРОМЕНІ

Кутова О. студент, Нефедченко В.Ф. доцент

Нова робота доктора Девіда Маккомаса (David McComas) з Південно-Західного дослідницького інституту (Southwest Research Institute – SwRI) і доктора Натана Швадрона (Nathan Schwadron) з Бостонського університету (Boston University) визначила місце, де народжуються так звані аномальні космічні промені (АКП).

АКП – високоенергетичні космічні промені, що мають енергію порядку 10 мегаелектронвольт на нуклон, що менше, ніж галактичні космічні промені. Самі ці частинки – міжзор'яні нейтральні атоми, іонізовані та розігнані в зовнішніх областях геліосфери.

До цього часу вчені думали, що в якості прискорювача таких частинок, власне і перетворюючого їх в АКП, виступає вузька зона, що розташована безпосередньо за termination shock (що можна перекласти як “завершальна ударна хвиля”).

Це місце, де сонячний вітер різко гальмується перед зіткненням із міжзор'яним середовищем, і де такі частинки подовгу (порядку року) подорожують в різних напрямках, набираючи швидкість перш ніж вони обрушуються в середину Сонячної системи.

Нещодавно космічний апарат Voyager-1 минув цю границю, однак, до подиву вчених, пійманих їм високоенергетичних іонів виявилося в десятки разів менше, ніж передбачала теорія. Так, гелію з енергією 20 мегаелектронвольт було знайдено менш 10% від кількості, що передбачалася, а кисню з енергією 4 мегаелектронвольт – 5% від очікуваного.

Нова модель поведінки частинок у цій області, що враховує на відміну від попередніх моделей форму termination shock (за рахунок руху Сонця в міжзор'яному середовищі вона не є правильною сферою), пояснила цю нестачу.

Маккомас і Швадрон показали, що головним джерелом АКП дійсно є ділянки завершальної ударної хвилі, але не на її передньому фронті, де знаходяться зараз апарати Voyager, а на флангах.

Об'єднавши ці нові результати з даними зондів Voyager і з теоретичною моделлю Маккомаса і Швадрона, вчені розраховують вперше повністю з'ясувати всі деталі взаємодії речовини Сонячної системи з міжзор'яним, галактичним середовищем.

## КОНДЕНСАТ БОЗЕ-ЕЙНШТЕЙНА ТА АТОМНИЙ ЛАЗЕР

Седін А. студент, Нефедченко В.Ф. доцент

Низькі температури постійно привертають до себе увагу фізиків, оскільки з кожним наближенням до абсолютного нуля відкривається нова багата фізика.

Американці Ерік Корнелл (Eric Cornell), Карл Віман (Carl Wieman) та німець Вольфганг Кеттерле (Wolfgang Ketterle) у 2001 році були нагороджені Нобелівською премією за отримання конденсату Бозе-Ейнштейна (КБЕ) в розріджених газах із атомів лужних металів і за дослідження властивостей цього конденсату. Головна проблема полягала в тому, щоб домогтися глибокого охолодження речовини. Для цього вчені застосували комбінацію двох методів, розроблених відносно недавно: лазерного та охолодження випаруванням.

Головна особливість даного конденсату в тому, що атоми, з яких він складається, при таких температурах переходять на найбільш низький енергетичний рівень. В результаті утворюється незвичайна речовина, що є одночасно хвилюю, як і будь-яка елементарна частинка.

КБЕ, як і кожна інша речовина, складається з окремих атомів, але на відміну від звичайної речовини, атоми втрачають в ньому свою індивідуальність. Стає неможливим відрізнити частину від цілого, і, по суті, утворюється конгломерат атомів з квантовими властивостями одного окремо взятого атома. Цей гігантський квазіатом більший звичайного у сто тисяч разів. Завдяки своїм розмірам КБЕ дає експериментаторам унікальну можливість безпосередньо перевіряти та використовувати на практиці теоретичні положення квантової механіки.

На відміну від світла, що випромінюється звичайною лампочкою, лазер випромінює когерентне випромінювання. Якщо замість світла використовувати синхронізовані атоми, тоді можна говорити про атомний лазер з більшою ефективністю, ніж звичайний.

Атомний лазер є речовинним аналогом оптичного лазера, але його промінь представляє собою когерентний потік газового конденсату. Термін “когерентний” в даному випадку означає, що всі атоми в промені рухаються синхронно, тобто їх хвильові функції когерентні.

Перший атомний лазер був створений у 1996 р. групою Вольфганга Кеттерле і приводився у дію силою гравітації. Конденсат атомів натрію опромінювали радіоімпульсами, а під їх впливом частина атомів

змінювала свій спін. На атоми із зміненням спіном не розповсюджувалася дія уловлювача, і вони в буквальному значенні слова випадали з нього. Фактично такий атомний лазер скоріше нагадував не промінь світла, а струмінь води, що ллється з крана.

В 1998 р. Теодор Хенш (Theodor Hänsch) із Мюнхенського університету продемонстрував подібну систему, в якій створювався безперервний потік атомів рубідію. Рубідієвий атомний промінь був у мільйон разів яскравіший від всіх йому подібних.

Уільям Філіпс (William Phillips) и Стівен Ролстон (Steven Rolston) із Національного інституту науки и технології (США) створили атомний лазер, промінь якого можна було посилати у будь-якому напрямку, а не тільки вниз. В своїй конструкції вони використали оптичні лазери, що вибивають з конденсату атоми через отвір, що обертається на краю уловлювача – так зване коло смерті. За допомогою певної послідовності лазерних імпульсів, ретельно синхронізованих з колом смерті, вчені отримали когерентний, інтенсивний і безперервний потік атомів – аналог яскравого променя оптичного лазера.

У наш час атомні промені вже застосовуються в ряді наукових та промислових приладів, наприклад, в атомних годинниках, високоточних вимірювальних інструментах для визначення фундаментальних констант і при виробництві комп'ютерних чипів. Основна проблема використання атомного лазера полягає в тому, що його промінь поширюється тільки у вакуумі.

Серед науково прогнорованих сфер застосування атомного лазера, що лежить на грані фантастики – атомна голографія. Теоретично можливо створення в майбутньому атомно-лазерних принтерів і факсів, які дозволять роздруковувати і передавати на значні відстані не плоскі зображення об'єктів, а їх матеріальні тривимірні моделі.

КБЕ можна використовувати для створення атомарних транзисторів. Інша сфера застосування КБЕ – отримання надпровідників.

Одна із перспективних областей впровадження КБЕ – нанотехнологія, яка об'єднує виготовлення нанороботів, здатних збирати молекули будь-якої речовини з окремих атомів, і створення надпотужних квантових комп'ютерів. Таким чином в сучасній науці, починається перехід від квантової теорії до квантової практики.

## ЕФЕКТ КАЗИМИРА

Тверезовська О. студент, Нефедченко В.Ф. доцент

В останні роки значно зріс інтерес до фізичних явищ, відомих під загальною назвою “ефект Казимира”. Сутність цього ефекту полягає в поляризації вакууму квантованих полів, яка виникає внаслідок зміни спектра вакуумних коливань при обмеженні об’єму квантування або при відмінності топології простору від евклідової.

Діапазон областей фізики, в яких проявляється ефект Казимира, дуже широкий – від статистичної фізики до фізики елементарних частинок і космології.

Історично перші передбачення ефекту Казимиром у 1948 році полягали в тому, що на одиницю площі двох провідних плоско-паралельних пластин у вакуумі повинна діяти сила притягання

$$F = -\frac{\pi^2 \hbar c}{240 a^4},$$

яка виражається через сталу Планка  $\hbar$ , швидкість світла  $c$  та відстань між пластинами  $a$ .

Для пластин площею  $1 \text{ см}^2$ ,  $a = 0,5 \text{ мкм}$  у відповідності з теоретичним розрахунком сила Казимира складає  $\approx 0,2 \text{ дн}$ . В подальшому таке притягання було підтверджено експериментально.

У рамках квантової теорії поля при нульовій температурі виникнення вакуумної густини енергії, а відповідно, і сили притягання між ідеально провідними пластинами пояснюється зміною спектра нульових коливань внаслідок обертання в нуль тангенціальної складової електричного поля на пластинах.

Ефект Казимира може бути пояснений як прояв ван-дер-ваальсових сил молекулярного притягання на великих відстанях, коли стає суттєвим врахування запізнення електромагнітної взаємодії. При цьому сила Казимира розраховується через характеристики флуктуаційного електромагнітного поля в усьому об’ємі, який включає не тільки область між граничними тілами, але і самі ці тіла. Однак підхід до описання ефекту, який дозволяє замінити розгляд поля всередині тіл певною ефективною граничною умовою, в більшості випадків більш простий.

Крім вивчення вакуумних сил між твердими тілами інтерес до ефекту Казимира пов’язаний з можливістю виявлення неевклідовості то-

пології простіру-часу. Як і при наявності матеріальних границь, в топологічно нетривіальних просторах спектр нульових коливань відмінний від випадку простору Мінковського, внаслідок чого виникає ненульова вакуумна густина енергії. Цей факт має велике значення для проблеми космологічної сталої та у зв'язку з інфляційними космологічними сценаріями.

Ефект Казимира виявився дуже суттєвим у фізиці адронів при побудові моделі мішків, в якій конфайнмент кварків забезпечується постулатом про відсутність струму крізь поверхню мішка, яка обмежує адрон. При цьому казімірівська енергія кваркових і глюонних полів повинна бути в складі повної енергії мішка під час розрахунку властивостей адронів. Можна також зазначити актуальність застосування ефекту Казимира в суперсиметричних теоріях поля типу Калуси – Клейна. Тут його врахування необхідне при розгляді механізмів спонтанної компактифікації додаткових просторових вимірювань (розмірної редукції).

Відзначимо, що сили Казимира дуже чутливі до значень таких параметрів фізики елементарних частинок, які потребують уточнення, наприклад, параметра порушення суперсиметрії та маси гіпотетичних легких частинок.

Виникнення сили Казимира між макротілами  $\epsilon$ , по суті, макроскопічним проявом нульових коливань електромагнітного поля. Спостережуваний в локальних вимірюваннях, даний ефект можна розглядати як певне джерело інформації про топологічну структуру світу в цілому. В зв'язку з цим, не повинна дивувати широта і плодотворність різних його застосувань: в макрофізиці, космології, фізиці адронів, у суперсиметрії та супергравітації, при уточненні фізичних сталих елементарних частинок. З ефектом Казимира пов'язані великі сподівання: він може стати новим тестом для перевірки передбачених фундаментальних фізичних теорій.

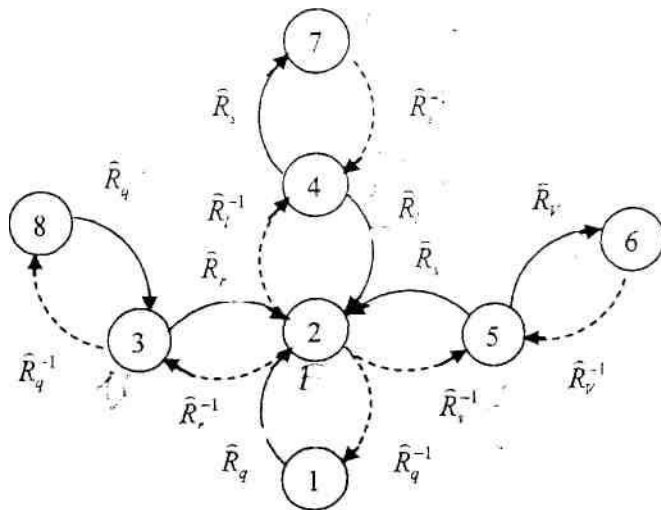
Не все задачі, що належать до розрахунку казімірівських енергій та сил, мають на цей час достатньо задовільний розв'язок. Існує думка, що ефект Казимира – але тільки в своїй динамічній формі – може призводити до виникнення дисипативних сил між рухомими провідниками. Якщо з'ясується, що ефект важливий для майбутніх мікро- і нанопристроїв, тоді наномайбутнє можна відкласти на невизначений термін.

## РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ З ФІЗИКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ГРАФІВ

Гапон А.С. студент, Креслова К.С. студент

Один з методів викладання фізики з використанням графів, започатковане роботами Г. Пейнтера, В.Ф. Савченка, О.М. Поколенка, надаючи більш загальне представлення знань на основі реляційних графів, що використовують інтегрально-диференціальні співвідношення між фізичними величинами.

Для вирішення багатьох задач різних рівнів, може бути застосоване таке поняття, як граф. Граф – це множина точок (вершин), які з'єднані між собою лініями, що називаються дугами або ребрами. Дугами є оператори, що відображають зв'язок між фізичними величинами.



Вершинами графу є елементи множин змін таких фізичних величин: вершина 1 -  $F_K$ , вершина 2 -  $E$ , вершина 3-  $U$ , вершина 4 -  $\oint_L \vec{E} d\vec{l}$ , вершина 5 -  $\oint_S \vec{E} d\vec{s}$ , вершина 6 -  $div \vec{E}$ , вершина 7 -  $rot \vec{E}$ , вершина 8- $A$ .

Приведемо приклад задачі, яка може бути розв'язана, за допомогою графів.



**Задача.** Густина енергії поля зарядженого конденсатора  $\omega_e = 300 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$ . З якою силою  $F$  притягуються обкладки конденсатора, якщо площа кожної з них  $S = 100 \text{см}^2$ .

**Розв'язання**

Для рішення задачі використовуємо інтегральний перехід між вершинами 3 та 2:

$$2F = \int_0^q E(q) dq. \quad (1)$$

Так, як розраховується сила притягання між двома пластинами, тому у першу рівність підставимо таке значення для  $q$ :

$$q = \sigma \cdot S, \quad (2)$$

де  $\sigma$  - поверхнева густина заряду на пластинах. Тоді вираз (1) набуває вигляду:

$$2F = \int_0^S E \sigma dS = ES\sigma. \quad (3)$$

З виразу для напруженості поля конденсатора  $E = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0}$  визначаємо  $\sigma$  і підставляємо у вираз (3), з якого знаходимо  $F$ :

$$F = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} S. \quad (4)$$

Враховуючи, що об'ємна густина енергії електростатичного поля конденсатора дорівнює  $\omega_e = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2}$ , визначаємо  $F$  з урахуванням даних умови:

$$F = \omega_e S = 3H.$$

Відповідь:  $F = 3H$ .

Керівник – Нефедченко В.Ф. *доцент*.

## НАНОТРУБКИ, ЇХ ВЛАСТИВОСТІ ТА ВИКОРИСТАННЯ

Качанова М.В. *студент*, Опанасюк А.С. *доцент*

Перспективи розвитку багатьох напрямків матеріалознавства, нанотехнологій, наноелектроніки, прикладної хімії, медицини пов'язані з використанням фулеренів, нанотрубок та інших вуглецевих каркасних структур. Всі вони мають вигляд замкнутих оболонок з порожнинами всередині.

Відкриттю нанотрубок передував синтез фулеренів, які були отримані у 1985 році Р.Керлом, Г.Крото і Р.Смоллі. У ході досліджень фулеренів було виявлено, що графітовий шар може утворювати не лише сфероїдальні структури, але й витягнуті, наприклад, у формі циліндрів. Такі структури називаються нанотрубками.

Перші нанотрубки були одержані у 1991 році. Їх отримують термічним розпиленням графітового аноду в електричній дузі в атмосфері гелію та ін. методами. Довжина нанотрубок досягає десятків мікрон, а діаметр – від одного до декількох нанометрів.

До найбільш унікальних властивостей нанотрубок належать:

- 1) капілярні – рідина може втягуватися всередину каналу нанотрубки, якщо її поверхневий натяг не перевищує 200 мН/м;
- 2) електричні - вони залежать від кута орієнтації площини в якій проводять вимірювання відносно осі трубки; встановлено, що нанотрубка може бути як напівметалом, так і напівпровідником;
- 3) емісійні – нанотрубки є джерелами автоелектронної і термоелектронної емісії;
- 4) електромеханічні – відбувається значна зміна електричної провідності нанотрубки навіть при невеликій її деформації.

Можливі застосування нанотрубок визначаються їх властивостями:

- 1) механічні дозволяють виготовляти надміцні нитки, кабелі для космічних ліфтів, композитні матеріали, нанотерези;
- 2) електричні - створювати діоди, транзистори, квантові дроти, елементи пам'яті, паливні елементи та ін;
- 3) капілярні -капсули для активних молекул, зберігання металів і газів;
- 4) оптичні - виготовляти світлодіоди на основі органічних матеріалів;
- 5) емісійні – дисплеї з великою яскравістю.

Отже, унікальні властивості нанотрубок можуть привести до революційних змін у багатьох галузях науки і техніки.

## ОСТАННІ ДОСЯГНЕННЯ НАНОТЕХНОЛОГІЙ

Нешта А.О. *студент*, Опанасюк А.С. *доцент*

Стрімкий розвиток сучасної науки супроводжується новими відкриттями та революційними досягненнями. Особливу увагу привертають ті, від яких залежить майбутнє людства, серед них – нанотехнології.

Нанотехнології – це сукупність методів та прийомів маніпулювання речовиною на атомному та молекулярному рівнях з метою одержання кінцевих продуктів із наперед заданою атомною структурою. Нанотехнології дозволяють створювати та модифікувати об'єкти, що містять у собі компоненти, розміри яких менші ніж 100 нм. Засновником нанофізики можна вважати Р.Фреймана, який у 1959 р. опублікував роботу, в якій оцінювалися перспективи мініатюризації. Реальне перенесення окремих атомів стало можливим у 1981 р. коли був виявлений скануючий тунельний мікроскоп.

Основними задачами нанотехнологій є розробка та створення наномашин, нанокomp'ютерів та інших нанооб'єктів. Нанотехнології в змозі вирішити проблеми, що виникають у різних областях: біотехнології, мікроелектроніці, промисловості, медицині, вивченні космосу та ін. У сфері медицини – це боротьба з хворобами, попередження будь-яких розладів у роботі людського організму, шляхом введення в нього нанороботів. Заміна нанороботами крові, зробить цілком можливим досягнення особистого безсмертя людини.

Завдяки неймовірним фізичним, оптичним, магнітним та електричним властивостям наноматеріалів найближчим часом відбудеться технологічний переворот у промисловості. Об'єкти нанотехнології – подрібнені до нанорозмірів метали, нові сполуки вуглецю, пластмаси, змішані в різних співвідношеннях дадуть змогу отримати речовини, властивості яких запрограмовані людиною. В найближчому майбутньому можливе створення персональних синтезаторів та копіюючого обладнання, які дозволять виготовляти будь-які предмети побуту людини.

Активне впровадження нанотехнологій приведе світ до нової технологічної революції і вплине на всі сфери діяльності людини – наша цивілізація перейде на якісно інший щабель свого розвитку.

## НЕРІВНІСТЬ БЕЛЛА У СУЧАСНІЙ ФІЗИЦІ

Лещенко С.С. *студент*, Опанасюк А.С. *доцент*

Один з найцікавіших експериментів у квантовій оптиці був запропонований в результаті дискусії, викликаній обговоренням парадоксу Ейнштейна – Подольського – Розена (ЕПР-парадоксу).

Відомо, що в основі квантової механіки лежить ймовірнісний підхід. Будь-який квантовий об'єкт не можливо охарактеризувати точно заданими фізичними параметрами. Для опису таких об'єктів використовують хвильову функцію. Цю функцію можна представити у вигляді амплітуди ймовірності того, що мікрочастинка знаходиться в певній точці простору, має певну швидкість або енергію. З цим не погоджувався Ейнштейн, який вважав, що ймовірнісний опис окремих частинок не відповідає фізичній реальності, а пов'язаний з неповнотою квантової теорії. В зв'язку з цим досить відомий вислів вченого: "Бог не грає у кості з Всесвітом". Фактично Ейнштейна ввів у фізику теорію прихованої змінної. Хто правий «батьки-засновники» квантової механіки Бор, Гейзенберг, Шредінгер чи Ейнштейн було не зрозуміло на протязі тривалого часу.

У 1964 році Джон Белл довів, що можна провести певний експеримент, який дозволить визначити, чи дійсно квантово-механічні об'єкти описуються хвильовими функціями розподілу ймовірностей, чи все ж існує прихований параметр, який дозволяє точно визначити їх положення у просторі та імпульс. Існує дуже багато видів нерівностей Бела (НБ), але у кожному з них входять фізичні величини, які можна виміряти в експериментах з корельованими частинками.

Починаючи з 1960-х років і до нашого часу було проведено більше ніж 30 експериментів з перевірки цих нерівностей. У більшості експериментів як корельовані частинки використовувалися фотони. Всі проведені експерименти показали, що НБ порушуються. Це означає, що несправедливе припущення, виходячи з якого вони виведені, - припущення про те, що у обох частинок існують певні параметри з моменту їх народження. У такому разі, експерименти з перевірки НБ доводять істотно ймовірнісну поведінку навіть окремо взятої частинки. Висловлюючись словами Ейнштейна, можна сказати: експерименти з перевірки НБ показали, що Бог дійсно грає в кості. Це означає, що будь-яка теорія, що змінить або покращить квантову механіку, збереже невизначеність можливостей, фундаментальну роль випадковості та зв'язність квантових систем.

## КВАНТОВА ТЕЛЕПОРТАЦІЯ

Горовий Р.І. *студент*, Опанасюк А.С. *доцент*

В кінці 20-го сторіччя тема телепортації перейшла зі сторінок фантастичних романів у суто наукові видання. Це пов'язано з відкриттям явища квантової телепортації (КТ) станів.

Термін КТ був введений у 1993 році С. Bennett, G. Brassard с співавторами. Під КТ розуміють передачу від однієї мікрочастинки до іншої набору деяких її квантових характеристик (значення спіну у електрона або ядра, поляризації і фази у фотона), або хоча б однієї з таких характеристик. Звернемо увагу що, це зовсім не фізичне і не миттєве перенесення самої частинки з однієї точки простору до іншої.

Явище КТ проявляється в існуванні миттєвої незалежної від відстані взаємодії між частинками мікросвіту, що входять в єдину (зв'язану) квантову систему. Така система утворюється кожний раз, коли мікрочастинки вступають у взаємодію одна з одною або народжуються в єдиному процесі і після цього не вступають у взаємодію з іншими частинками. Обмін інформацією про стан між зв'язаними частинками відбувається без будь-яких полів, миттєво і не залежить від відстані. Такий зв'язок лише на перший погляд виглядає містичним, але на мові фізиків він досить тривіальний - просто частинки, що взаємодіють мають спільну хвильову функцію.

Експериментальна реалізація КТ поляризаційного стану фотона була здійснена у 1998 році Босхі з співавторами. В 2004 році надійшло повідомлення про експериментальне спостереження КТ квантового стану атома відразу двома дослідницькими групами: М. Riebe та ін. (телепортація квантового стану  $Ca^+$ ) і М. D. Barrett з співавторами (телепортація кубіту на основі  $Be^+$ ). В вересні 2006 року, вперше здійснили телепортацію комбінованого квантового стану двох фотонів.

КТ може відіграти визначну роль в майбутніх системах передачі інформації, квантовій криптографії, квантових комп'ютерах. Можливо, що КТ зможе знайти застосування і в системах радіолокації субміліметрового діапазону, в якому вже помітна квантова природа електромагнітного випромінювання.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЛИТОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УРАВНЕНИЯ СИНУС-ГОРДОНА

Гузик С.И. *студент*, Боровик В.А. *доцент*, Панченко Л.Н. *доцент*

Солитон – структурно устойчивая уединенная волна в нелинейной диспергирующей среде. Понятие солитон введено в 1965 году американцами Норманом Забуски и Мартином Крускалом, но впервые дано описание солитона в 1834 году Дж. С. Расселом. Много лет спустя солитон был переоткрыт при совсем иных обстоятельствах.

Солитоны ведут себя подобно частицам, поэтому их называют квазичастицами. Удивительной особенностью солитонов (отмеченной еще Расселом) является их способность сохранять свои скорость и форму при прохождении друг через друга. Единственным напоминанием о состоявшемся взаимодействии являются постоянные смещения наблюдаемых солитонов от положений, которые они занимали бы, если бы не встретились. Есть мнение, что солитоны не проходят друг через друга, а отражаются подобно столкнувшимся упругим шарам. В этом также проявляется аналогия солитонов с частицами. Наиболее известными и хорошо исследованными нелинейными уравнениями математической физики являются уравнения, описывающие распространение волн в нелинейных средах, одним из них является уравнение синус-Гордона. Решениями таких уравнений могут быть ударные волны или солитоны.

Приложения солитонной теории в настоящее время находят применение при исследованиях линий передачи сигналов с нелинейными элементами, пограничного слоя, атмосфер планет, волн цунами, волновых процессов в плазме, в теории поля, физике твердого тела, теплофизике экстремальных состояний веществ, при изучении новых материалов, при создании моделей решеток кристаллов, в оптике, биологии и многих других областях. Высказано мнение, что бегущие по нервам возбуждения – солитоны.

В данной работе рассматривается модель упругой ленты, в которой распространение упругой волны приводится в виде движения солитона. Решая уравнение синус-Гордона, находим параметры солитона.

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ МОЛЕКУЛЯРНОЇ ДИНАМІКИ В КОМП'ЮТЕРНОМУ ЕКСПЕРИМЕНТІ ПРИ РОЗРАХУНКАХ ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АНСАМБЛЮ ЧАСТИНОК.

Безпалій А. *студент*, Маковейчук Д. *студент*,  
Боровик В.О. *доцент*, Панченко Л.М. *доцент*

В теперішній час методи комп'ютерного експерименту є інструментом, що використовується у багатьох областях науки. Мотивація їх застосування для вивчення фізичних систем різнобічна. Комп'ютерний експеримент дозволяє вивчати складні системи та є «еталоном», з яким можна порівнювати різні приблизні моделі. В основі комп'ютерного експерименту є добре визначена модель фізичної системи, для якої розраховуються фізичні характеристики. В даній роботі фізичні параметри ансамблю частинок розраховуються методом молекулярної динаміки (МД). Метод МД розраховує у фазовому просторі траєкторії сукупності молекул, кожна з яких підпорядковується класичним законам руху. Суть метода МД полягає в чисельному рішенні рівнянь руху на комп'ютері. Викликає інтерес молекулярна динаміка канонічного ансамблю, описуюча рівновагу системи в тепловому резервуарі, для якого кількість частинок  $N$ , об'єм  $V$  та температура  $T$  – фіксовані ( $NVT$  – ансамбль), а повний імпульс системи дорівнює нулю. При постійній температурі повна енергія не є постійною величиною, тому схема моделювання повинна передбачати введення флуктуацій в повну енергію  $E$ . Розглядаються способи введення флуктуацій при постійній температурі і (або) тиску. Розглядається система із  $N$  частинок при постійному тиску  $P$ . В ній повна внутрішня енергія не зберігається, але зберігається ентальпія  $H$ . Це  $NPH$  – ансамбль. Використовуючи алгоритми, наведені в [1], були розраховані фізичні характеристики для  $NVT$  і  $NPH$  – ансамблів.

1. Хеерман Д.В. Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике. – М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1990.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО В КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Николаенко Р.С. *студент*, Коваленко Д.С. *студент*,  
Боровик В.А. *доцент*, Панченко Л.Н. *доцент*

Компьютерное моделирование играет в современной физике важную роль, так как в программу, моделирующую физическую систему, закладываются лишь основные законы исследуемой модели с минимальным анализом. Одним из самых распространённых методов моделирования, применяемых в квантовой физике, физике твердого тела, физике плазмы и астрофизике является метод Монте-Карло.

Эффективная вычислительная процедура метода Монте-Карло для микроканонического ансамбля состоит в разделении исходной макроскопической системы на две подсистемы: исходную, называемую далее системой, и подсистемы, состоящей из одного элемента, которую авторы назвали демоном (по аналогии с демоном Максвелла). Роль демона аналогична роли члена кинетической энергии в методе молекулярной динамики. Обходя элементы системы, и передавая энергию, он обеспечивает изменение конфигурации системы. Если энергии, запасенной в мантии демона оказывается достаточно, он отдает энергию тому элементу системы, которому требуется энергия, для осуществления изменения конфигурации. И наоборот, если для изменения конфигурации требуется уменьшить энергию системы, энергия передается частицей демону. Единственное ограничение состоит в том, что энергия демона должна быть положительной.

Также ярким примером применения метода Монте-Карло в физике является моделирование кинетики роста кристаллов, тонких пленок и наноразмерных частиц из газовой фазы.

Применение математического моделирования на современном этапе приводит к появлению алгоритмов, требующих больших вычислительных затрат, использование которых напрямую не реализуемо. Метод Монте-Карло, как представитель стохастических методов, в этой ситуации становится единственно возможным.

В настоящей работе метод Монте-Карло использовался для моделирования кинетики роста тонких пленок.



## НАНОТЕХНОЛОГІЯ

Зимин М.А. *студент*, Хмаренко А.М. *ведучий інженер*

Нанотехнологія – междисциплинарная область науки, в которой изучаются закономерности физико-химических процессов в пространственных областях нанометровых размеров с целью управления отдельными атомами, молекулами, молекулярными системами при создании новых молекул, наноструктур, наноустройств и наноматериалов со специальными физическими, химическими и биологическими свойствами.

Важнейшие направления нанотехнологии: материаловедение (создание "бездефектных" высокопрочных материалов, материалов с высокой проводимостью), приборостроение (создание нанороботов), электроника (конструирование нанометровой элементной базы для ЭВМ следующего поколения, нанопроводов, транзисторов, выпрямителей, дисплеев, акустических систем), оптика (создание нанолазеров), медицина (проектирование наноинструментария для уничтожения вирусов, локального "ремонта" органов, высокоточной доставки доз лекарств в определенные места живого организма), управляемые ядерные реакции (наноускорители частиц, нестатистические ядерные реакции).

Наиболее используемые нанопродукты: органические светоизлучающие диодные дисплеи, наноэмульсии и антибактериальные нанопокрывтия, нанокапсулы, нанокатализаторы для автотранспорта, устройства на основе нанотрубок, нанокристаллы, нанолазеры.

В настоящее время разрабатывается магнитная flash-память на основе углеродных нанотрубок, в которой каждая ячейка памяти состоит из двух пересекающихся нанотрубок, содержащих внутри примеси железа или помещенные в ферромагнитное окружение. Возможно хранить информацию в нанотрубках, используя принцип магнитной записи. В роли носителя информации выступает матрица нанотрубок. Полученная память будет энергонезависимой, т.е. при снятии напряжения с устройства данные на чипе будут храниться.

Создание нанопродуктов - путь к увеличению плотности записи информации, энергосбережению и медицинским инновациям.

## ВИБІР КОНСТРУКЦІЇ РОЗПИЛЮВАЧА РІДИНИ ДЛЯ ВИХРОВОЇ КАМЕРИ

Черняк Л.М. *професор*, Фалько С.О. *завідувач лабораторією*,  
Самков О.В. *студент*

Вихрові камери являють собою циліндричні обичайки, у яких газовий потік закручується. У цей потік вводиться рідина, яка під дією закрученого потоку газу розпилюється (диспергується). При таких процесах відбуваються різні активні тепломасообмінних процеси – основа багатьох технологічних процесів.

Аналіз літературних джерел показує, що існують такі способи (диспергування рідини: гідравлічне; механічне; пневматичне; пульсаційне; ультразвукове і електричне.

Гідравлічне розпилювання рідин відбувається за рахунок тиску нагнітання рідини при подальшому вільному розпаді струменя, який витікає з великою швидкістю з соплового отвору розпилювача. Недоліком його є відносно великі затрати енергії та невелика виробнича продуктивність по рідині.

Пневматичне диспергування виникає внаслідок динамічної взаємодії потоку рідини, що розпилюється, з потоком газу. Недоліком цього способу є підвищена витрата енергії на розпилювання і відносно мала продуктивність,

Електричне розпилювання полягає в тому, що струмінь рідини подається в область сильного електричного поля, під дією якого на поверхні рідини відбувається деякий розподіл тиску. Він деформує струмінь, при цьому деформації можуть досягти великої величини і привести до утворення тонких ниток, які потім дробляться на окремі краплі. Недоліки - необхідність в громіздкому дорогому устаткуванні, висока енергоємність, незначна продуктивність і складність обслуговування.

Ультразвукове диспергування. Струмінь рідини подається на елемент п'єзоелектричного або магнітострикційного генератора, що коливається. Недоліками п'єзоелектричних і магнітострикційних пристроїв для розпилювання рідин є: їх мала продуктивність і необхідність складного дорогого устаткування.

Механічне розпилювання здійснюється за допомогою пристроїв, що обертаються від спеціального приводу. Характер подрібнення рідини в даному випадку значною мірою визначається її витратою та фо-

рмою струменя, який витікає з механічного розпилювача рідин. Перевага цього способу: можливість розпилювання високов'язких і забруднених рідин, широкого регулювання продуктивності розпилювача без істотної зміни дисперсності.

Як видно, у всіх розпилювачах рідин вона перед розпилюванням перетворюється в такі форми, що мають найбільшу поверхню (струмені різної форми, плівки), а тому нестійкі і швидко розпадаються. Найбільш нестійкими є плівки. У плівках на межі розділу рідини і газу виникають стійкі поверхневі хвилі, впадини на яких є найбільш нестійкими місцями. Саме в цих місцях відбувається самовільний, майже без витрат енергії розрив суцільності плівок, тобто їх диспергування.

Тому для вихрових камер треба використати плівкові механічні розпилювачі, в яких витрати на диспергування рідини значно зменшені. Найбільш просто про це можна сказати таке, вихровому потоку треба допомогти виконати найбільш енергозатратний процес – зробити первинне грубе низькоенергетичне розпилювання рідин, краплі якої потім додатково розплюються вихровим потоком з одночасним процесом тепломасообміну.

Такими низькоенергетичними розпилювачами є відцентрові плівкові розпилювачі рідин.

Одна із конструкцій подібного розпилювача розроблена з участю Черняка Л.М. Рідина через спеціальний пристрій поступає в циліндричну обичайку, яка обертається. На зовнішніх стінках обичайки поряд з отворами під кутом встановлені пластини-плівкоутворювачі. Товстий струмінь рідини, витікаючи з отворів обичайки перетворюються в плівку, яка разом з пластинами обертається. Отвори розташовані по висоті так, щоб окремі плівки рідини на пластині плівкоутворювача встигли з'єднатися в суцільну тонку плівку. Плівка рідини, зриваючись з пластин і потрапляючи в газове середовище інтенсивно диспергується як і в нерухомому газовому середовищі. Крім того, кожна утворена крапля рідини додатково диспергується вихровим газовим потоком. Дослідження такого диспергатора і його взаємодії з газовим потоком будуть проведені на розробленому спеціальному стенді, робота над яким закінчується.

## СТЕНД ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИХРОВИХ АПАРАТІВ

Черняк Л.М. *професор*, Фалько С.О *завідувач лабораторією*,  
Самков О.В. *студент*

У провідних сферах матеріального виробництва роль тепломасообмінних процесів зростає з кожним роком, оскільки їх використання дає можливість здійснити корінні позитивні трансформації практично у всіх сферах промислового виробництва і життя. Але такі процеси вимагають використання великої кількості енергії. Тому в сучасних умовах постала задача науково і практично знайти умови різкого зменшення енергоспоживання при проведенні тепломасообмінних процесів. Це можливо на базі фізичних досліджень умов, які створюють можливість проведення низькоенергетичних масо- і теплообмінних процесів, зокрема, у двофазних системах. Низькоенергетичні процеси дають можливість створення високоінтенсивних тепломасообмінних апаратів великої одиничної потужності.

Основою інтенсифікації тепломасообмінних процесів є створення найбільшої поверхні контакту фаз при можливо меншому енергоспоживанні. Поверхня контакту фаз при диспергуванні рідин обернено пропорційна діаметрам крапель. Застосування вихрових масообмінних апаратів дозволяє виконати умови низькоенергетичного створення високорозвиненої поверхні контактуючих фаз. Це можливо тому, що у таких апаратах можна створити умови для низькоенергетичного дрібнодисперсного диспергування рідин, що у значній мірі дозволяє інтенсифікувати тепломасообмінні процеси і тим самим зменшивши габарити апаратів, зменшити вартість їх виготовлення і експлуатації.

Отже, дослідження процесів у вихрових камерах представляє не тільки науковий, але і значний практичний інтерес.

Одержані при дослідженнях знання основних закономірностей, які протікають у вихрових камерах, дозволять цілеспрямовано регулювати процеси у вихрових тепломасообмінних апаратах, вдосконалити технологію і відповідне технологічне устаткування, підвищити техніко-економічні показники виробництва.

З метою дослідження гідродинамічних і тепломасообмінних параметрів вихрових апаратів була розроблена, виготовлена і оснащена

необхідними вимірювальними приладами напівпромислова установка, схема, якої зображена на рисунку 1.

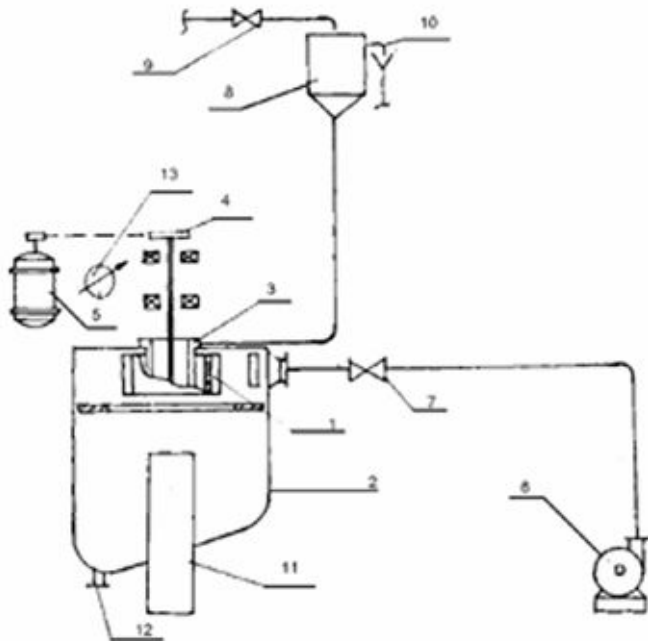


Рис. 1. Схема стенду для дослідження гідродинамічних і тепломасообмінних характеристик вихрових апаратів. 1 – плівковий відцентровий розпилювач рідини; 2 – корпус вихрової камери; 3 – пристрій для подачі і вимірювання об'ємних витрат рідини, яка поступає у відцентровий плівковий розпилювач; 4 – змінні шківів; 5 - електродвигун; 6 – вентилятор; 7 – регулятор і вимірювач витрати повітря; 8 - напірний бак; 9 – вентиль; 10 – переливний пристрій, 11 - воздуховод для відведення повітря паро-газової фази; 12 - зливний патрубок

Робота стенда. Рідина з напірного бака 8 сталою рівня через трубу поступає в розпилювач 3 і далі у вихрову камеру. Витрати потужності фіксуються ватметром 13. Одночасно з подачею рідини в вихрову камеру від вентилятора ВВТ через регулятор витрати 7 подається досліджуваний газ або повітря.

## ВИБІР МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ДИСПЕРСНОГО СКЛАДУ КРАПЕЛЬ У ФАКЕЛІ ДИСПЕРГОВАНОЇ РІДИНИ

Черняк Л.М. *професор*, Фалько С.О. *завідувач лабораторією*,  
Самков О.В. *студент*

Процесу розпаду струменів рідини (диспергуванню) з урахуванням впливу динамічної дії газового середовища на рідину в теперішній час приділяється велика увага, оскільки досконалість великого ряду технологічних процесів залежить від якості диспергування рідин.

У літературі приводяться різні способи вимірювання розмірів крапель, підрахунків їх середнього розміру, отримання характеристик розпилювання, зокрема кривих розподілу крапель за розмірами та визначення поверхні контакту фаз.

Методи вимірювання розмірів крапель можна об'єднати в три групи: прямі методи вимірювання крапель (уловлювання крапель в імерсійну рідину, отримання відбитків крапель, фотографування крапель рідини у польоті та електричні методи); методи, засновані на заміні рідини, що вивчається, речовиною з низькою температурою плавлення, яка набуває при нагріванні фізичні властивості подібні до рідини, що вивчається, з подальшим твердінням крапель у польоті; непрямі методи (оптичні, методи вивчення розсіювання променів світла, седиметричні та інші);

У прямих способах, заснованих на уловлюванні крапель за допомогою імерсійного середовища, використовується спеціальна рідина, яка складається із суміші каніфолі або вазеліну з трансформаторним, касторовим або силіконовим маслами.

Інший поширений метод визначення розмірів і числа крапель - метод відбитків. Плоска робоча поверхня, обернена назустріч потоку, покривається шаром сажі, завтовшки 1мм і зверху тонким шаром окису магнію. Досліджувані краплі пробивають верхній шар і утворюють видимі круглі відбитки в шарі сажі.

Фотографування крапель дозволяє вивчати розпилювання рідин без дії на факел розпилу вимірюючих установок. Недоліками цього методу є обмежене число крапель, оскільки при фотографуванні фіксуються краплі, що потрапили у фокус; неможливість одночасного фотографування всього перетину факела і трудомісткість процесу.

Провівши аналіз і умови нашої роботи для дослідження закономірностей диспергування рідин у вихрових апаратах, був вибраний, як основний метод вивчення розмірів крапель – метод уловлювання кра-

пель в імерсійному середовищі. У цьому методі уловлювання крапель проводиться в спеціальну прозору плоскопаралельну кювету (рис.1).

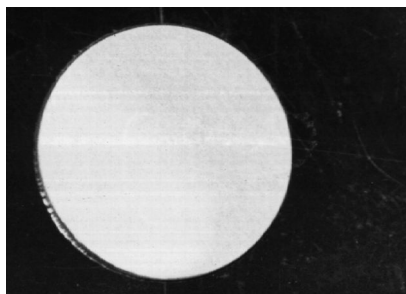


Рис. 1. Плоскопаралельна кювета для уловлювання крапель рідини в імерсійну рідину.

При цьому враховуються такі вимоги: імерсійна рідина повинна бути хімічно інертна по відношенню до рідини, що розпилюється; по можливості мати найнижчу в'язкість, що зводить до мінімуму вірогідність дроблення крапель у момент їх попадання на імерсійну рідину; мати низький поверхневий натяг, особливо при високій дисперсності крапель, щоб найдрібніші краплі могли проникнути через поверхневий шар імерсійної рідини, а також мати приблизно рівну густину з досліджуваною рідиною та оптичну прозорість. Крім того, пробовідбірник повинен бути достатньо компактним, дозволяти варіювати час експозиції, виключати попадання крапель до імерсійного середовища до і після відбору проби; запобігати вторинному дробленню крапель, а також робити мінімальний вплив на досліджувані потоки крапель.

Краплі рідини, які потрапили до імерсійної рідини, фотографуються на мікрофотоустановці, головною частиною якої є вимірювальний інструментальний дослідницький мікроскоп. Інструментальний мікроскоп забезпечує можливість фіксації і переміщення кювети для точного без поворотів і пропусків зон фотографування, як самих крапель, так і на їх фоні масштабної шкали. Отримані фотографії вивчаються і дані після цього вводяться в комп'ютер для побудови кривих розподілу крапель за розмірами, підрахунку середніх розмірів крапель та визначення поверхні контакту фаз.

## МЕТОДИКА І СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ МАГНІТНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РІДИН

Черняк Л.М. *професор*, Хмаренко А.М. *провідний інженер*,  
Калашник І.Г. *інженер*, Борисенко П.О. *учень*

За останні роки активізувалось вимірювання різних характеристик рідин, зокрема електричних, магнітних та інших параметрів і їх змін від зовнішніх полів. Знання цих характеристик і їх залежностей від різних факторів і впливів є вирішальним у визначенні мікромолекулярних властивостей рідин. Це разом з іншими фізичними методами може обґрунтувати експресні методи визначення якості виготовленої продукції, що може служити для продовження термінів зберігання рідин різного призначення (а це є енергозбереження). Такі знання особливо необхідні для рідин, які споживає людина, наприклад, соки, пиво, молочні продукти та багато інших, а також в експресметодах екологічних аналізів рідин.

Вимірювання магнітних характеристик рідин в зв'язку зі слабким проявом їх складає складну експериментальну задачу. Така ситуація виникає тому, що вимірювати зміни магнітних властивостей в стаціонарних магнітних полях практично неможливо (вони мають порядок мінус п'ятий і ще менше). Це ж стосується і застосування стаціонарного електричного струму.

Проаналізувавши ситуацію, нами розроблено методика і стенд для вимірювання магнітних властивостей рідин.

Ця методика застосована на використанні змінних вимірюючих високочастотних електричних струмів. До складу вимірювального приладу входить диференціальна магнітна чарунка з досліджуваною рідиною і підігрівом, високочастотний генератор, мультиметри та інше необхідне обладнання.

Одержані результати пробних експериментів показали, що чутливість вимірювального приладу має четвертий знак. Це свідчить про те, що розроблена методика вимірювань відповідає поставленим умовам щодо проведення експерименту.



