

# СВІТ

# ФІЗИКИ

№1  
2009

науково-популярний журнал



**ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ  
НАН УКРАЇНИ – 80 РОКІВ**

*Назад у минуле дороги нема.  
Вибір – Всесвіт або ніщо.*

*Герберт Веллс*



# 80 років ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ НАН УКРАЇНИ



*Директор Інституту фізики,  
член-кореспондент НАН України  
Л. П. Яценко вітає учасників конференції  
з ювілеєм*



*Президент НАН України, академік  
Б. Є. Патон обговорює актуальні наукові  
проблеми з академіками А. Г. Наумовцем,  
М. С. Бродиним та членом-кореспондентом  
Л. П. Яценком*



*Доктор фіз.-мат. наук А. М. Негрійко та член-кореспондент Л. П. Яценко  
вітають з ювілеєм доньку засновника та першого директора Інституту  
фізики О. Г. Гольдмана З. О. Шиліну*

*Редакційна колегія та читачі журналу "Світ фізики" щиро вітають  
колектив Інституту фізики НАН України  
з 80-річчям від часу заснування Інституту.  
Бажаємо Вам великих наукових досягнень на благо української науки.*

*Редколегія*

Журнал "СВІТ ФІЗИКИ",  
заснований 1996 року,  
реєстраційне свідоцтво № КВ 3180  
від 06.11.1997 р.

Виходить 4 рази на рік

**Засновники:**

Львівський національний університет  
імені Івана Франка,  
Львівський фіз.-мат. ліцей,  
СП "Євросвіт"

Головний редактор

**Іван Вакарчук**

заступники гол. редактора:

**Олександр Гальчинський**

**Галина Шопа**

Редакційна колегія:

**Ігор Анісімов**

**Олекса Біланюк**

**Михайло Бродин**

**Петро Голод**

**Семен Гончаренко**

**Ярослав Довгий**

**Іван Климишин**

**Юрій Ключковський**

**Богдан Лукіянець**

**Олег Орлянський**

**Максим Стріха**

**Юрій Ранюк**

**Ярослав Яцків**

Художник **Володимир Гавло**

Літературний редактор

**Мирослава Прихода**

Комп'ютерне макетування та друк  
СП "Євросвіт", наклад 1000 прим.

**Адреса редакції:**

редакція журналу "Світ фізики"  
вул. Саксаганського, 1,  
м. Львів 79005, Україна

тел. у Львові 380 (0322) 39 46 73

у Києві 380 (044) 416 60 68

phworld@franko.lviv.ua; sf@ktf.franko.lviv.ua

www.franko.lviv.ua/publish/phworld

*"З метою реалізації рішень I Всеукраїнської наради з питань поліпшення якості фізико-математичної освіти Міністерство освіти і науки України затвердило план дій щодо поліпшення якості фізико-математичної освіти на 2009–2012 роки:*

– Забезпечити шкільні бібліотеки сучасною літературою з фізики та математики, інформатики;

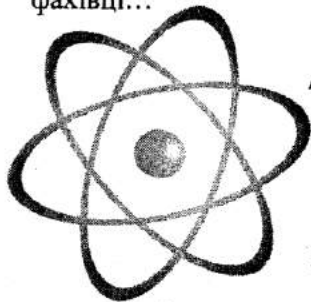
– Організувати розроблення якісної навчальної літератури з природничо-математичних дисциплін на основі компетентного підходу до їхнього вивчення у старшій профільній школі та вищих навчальних закладах;

– Вжити заходів щодо налагодження випуску науково-популярної літератури для дітей та створення навчальних телепрограм, що популяризують науку та її досягнення;

– Організувати передплату науково-методичних журналів "Математика в школі", "Фізика та астрономія у школі", "Інформатика та інформаційні технології у навчальних закладах", науково-популярних журналів "Світ фізики", "Світогляд", "Математичної газети", "Колосок", "Комп'ютер у школі та сім'ї", "У світі математики", "Країна знань", "Фізика у школах України";

– Забезпечити бібліотеки вищих навчальних закладів сучасною науково-методичною та навчальною літературою з фізики та математики;

– Популяризувати фізико-математичні науки, висвітлювати їхню соціальну, науково-фундаментальну та науково-прикладну роль; відобразити у науково-методичній, науково-популярній пресі сучасні досягнення та відкриття українських науковців, інформацію про науково-дослідницькі виробництва, що діють в Україні, міжнародні проекти, в яких беруть участь українські вчені та фахівці..."



*Не забудьте  
передплатити журнал  
"Світ фізики"*

**Передплатний індекс  
22577**

Передрук матеріалів дозволяється лише з письмової згоди редакції та з обов'язковим посиланням на журнал "Світ фізики"

© СП "Євросвіт"

# ЗМІСТ

## **1. Нові та маловідомі явища фізики**

*Довгий Ярослав.* ДВ-революція в світлотехніці 3

*Негрійко А. М., Рябченко С. М.* 80 років Інституту фізики НАН України: віхи історії 10

*Атуневич Софія.* Лазерна локація штучних супутників Землі 11

## **2. В допомогу абітурієнту**

*Локтєв Вадим.* “Ненаукові” поради старого дослідника 31

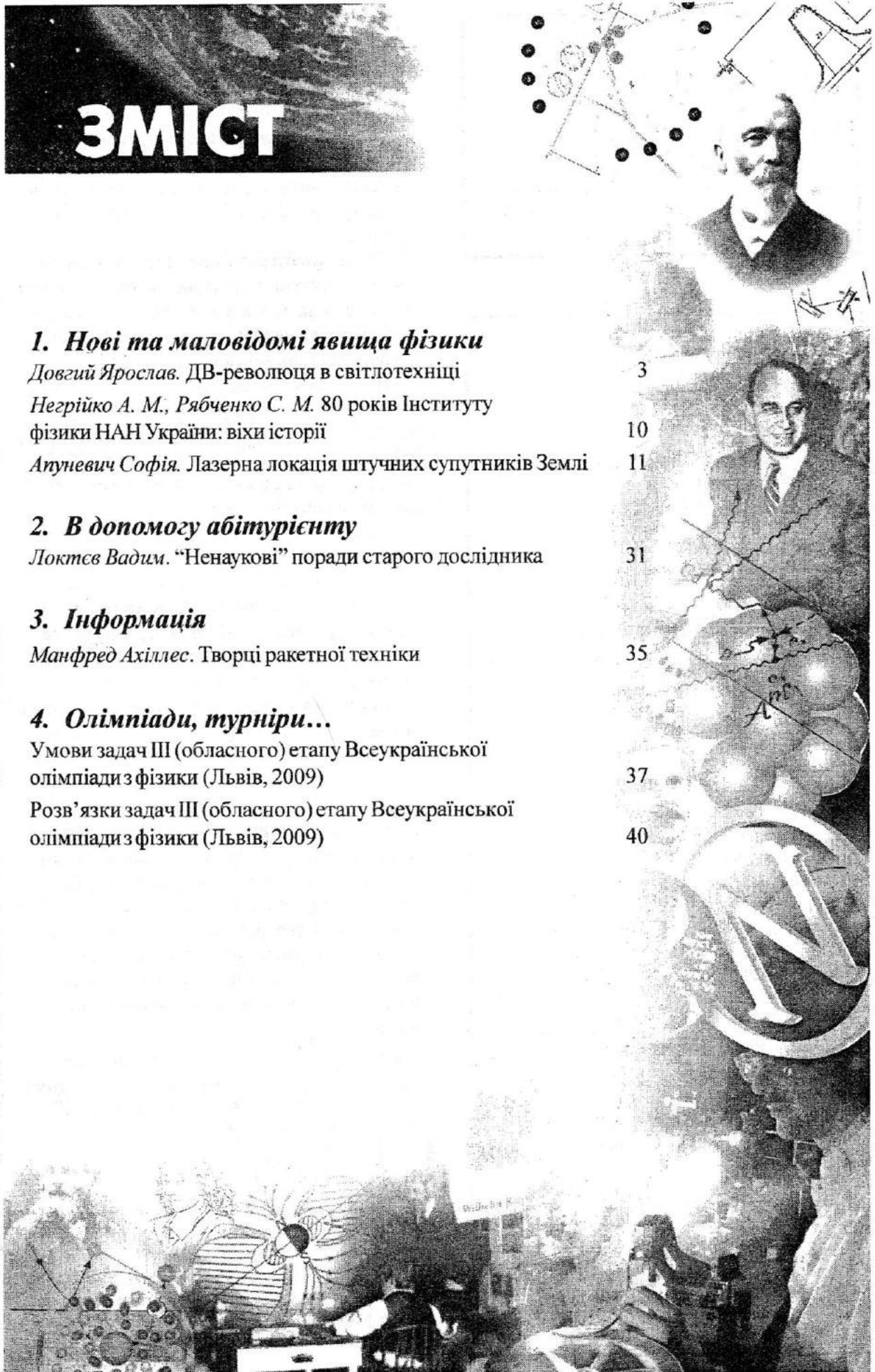
## **3. Інформація**

*Манфред Ахіллес.* Творці ракетної техніки 35

## **4. Олімпіади, турніри...**

Умови задач III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики (Львів, 2009) 37

Розв’язки задач III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики (Львів, 2009) 40







До 80-річчя  
професора Миколи Голоняка

## ДВ-РЕВОЛЮЦІЯ В СВІЛОТЕХНІЦІ

Ярослав Довгий,

Заслужений професор Львівського національного університету  
імені Івана Франка, голова Фізичної комісії НТШ

### Вступ

Діодні випромінювачі (ДВ) – когерентні (лазерні діоди =  $L$ -діоди) і некогерентні (світлодіоди =  $S$ -діоди) – це новий клас джерел світла, що характеризуються очевидними перевагами над звичними випромінювачами: високий коефіцієнт перетворення електричного струму у світлове випромінювання, малі розміри, великий ресурс тощо.

$L$ -діоди застосовують у лазерних принтерах, CD та DVD системах, як лазерні указки, пристрої для лазерних шоу тощо. Їх використовують як джерела збудження інших твердотільних лазерів, зокрема волоконних лазерів. У результаті нині створено компактні і високопотужні лазерні пристрої (до десятків кіловат) з к.к.д. до 70 %. Такі комплекси успішно застосовують у машинобудуванні. Наприклад, на автомобільних заводах фірми “Фольксваген” функціонують понад 500 зварювальних лазерних комплексів цього типу. До речі, дослідження з лазерного зварювання та лазерного оброблення твердих і надтвердих матеріалів було розпочато в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона ще з 1965 року. Лазерне зварювання має низку суттєвих переваг: вищу точність, рівність та чистоту зварних швів, відсутність великих зон прогріву, а звідси й деформацій. Аналогічні лазерні зварювальні установки застосовують і в авіаційній промисловості. Ця технологія виявилася ефективною також для виготовлення “композитних” матеріалів.

$S$ -діоди найчастіше застосовують у пристроях оптичної індикації та в інтегральних оптико-електронних схемах. Підсвітка рідких кристалів здійснюється світлодіодами. У найближчій перспективі ці джерела світла стануть звичними у світлофорах, освітлювальних системах, у керованих багатоцільових світлоопромінювальних пристроях для сільського господарства, лісівництва, фотополімерної поліграфії тощо. Відомо, що в Україні технопарк на базі Інституту фізики напівпровідників НАН України також працює над подібним проектом. Ці мініатюрні випромінювачі мають перспективу і для метрології як тестові джерела випромінювання видимого діапазону.

Хто мав нагоду виступати або давати інтерв'ю на телебаченні, зауважив, яка духота в кабіні ТБ-диктора від освітлювальних потужних ламп розжарення. Нові ж світлодіодні освітлювачі забезпечують значно комфортніші умови праці. Те ж стосується салонів і кабін авіалайнерів тощо.

### $S$ - та $L$ -діоди з погляду фізики твердого тіла

Світлодіод – це напівпровідниковий пристрій, що перетворює електричну енергію в некогерентне випромінювання оптичного діапазону. Активна ділянка такого випромінювача є  $p$ - $n$ -перехідом (рис. 1). Як видно, в  $n$ - і  $p$ -ділянках напівпровідника електрони та дірки вироджені. Якщо до  $p$ - $n$ -переходу прикласти напругу прямого змі-

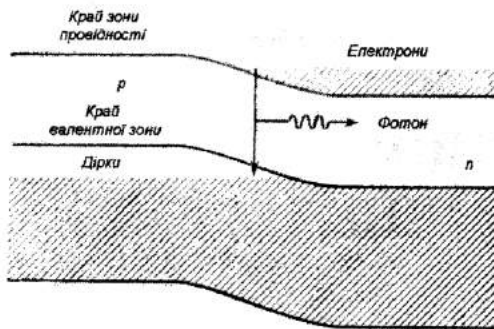


Рис. 1. Активна ділянка p-n-переходу

шення, то в результаті інжекції неосновних носіїв крізь цей перехід виникатиме випромінювання. Напругу прикладають невисоку (майже 2 В) з дотриманням полярності у провідному напрямку (рис. 2). Інкєкція неосновних носіїв струму (наприклад, електронів) в активну ділянку призводить до їхньої рекомбінації з основними носіями (наприклад, дірками), через що електрична енергія перетворюється у світлову. Це – випромінювальна рекомбінація. Можлива також безвипромінювальна рекомбінація, коли енергія збудження перетворюється в теплову. Що вища випромінювальна рекомбінація, то більша світлова ефективність або світловий к.к.д. S-діода. Це залежить від параметрів базового напівпровідника. Встановлено, що випромінювальна рекомбінація ефективніша у прямозонних напівпровідниках. Іншими словами, у

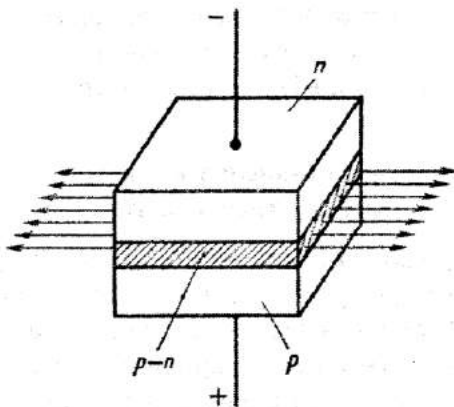


Рис. 2. Схема L-діода

межах двозонної моделі процес рекомбінації належить розуміти як перехід електрона з енергетичного стану зони провідності у вакантний (незайнятий) стан валентної зони. Це так звана міжзонна рекомбінація. З рис. 1 легко зрозуміти, що енергія квантів випромінювання

$$h\nu \cong E_g,$$

де  $E_g$  – ширина забороненої зони напівпровідника.

Загалом можливі такі випромінювальні переходи збуджених носіїв у напівпровідниках:

1. міжзонна рекомбінація;
2. випромінювальні переходи із зони провідності на акцепторні рівні;
3. випромінювальні переходи з донорних рівнів у валентну зону;
4. переходи з донорних локальних рівнів на акцепторні;
5. внутрізонні переходи, зокрема, явища, зумовлені так званими гарячими носіями (гальмівне випромінювання).

Для підсилення світла та одержання лазерної генерації потрібно оптичний резонатор. У L-діодах як дзеркала резонатора є відполіровані грані напівпровідника, оскільки відбивна здатність на межі кристал-повітря достатньо висока. Старанно відполіровані грані кристала є пласкопаралельні (резонатор типу Фабрі-Перо) і перпендикулярні до площини p-n-переходу. Вихідне випромінювання, тобто промінь лазерної генерації, поширюється у площині p-n-переходу, як зображено на рис. 2.

Якщо пріоритет відкриття діодних випромінювачів (цілком випадкового відкриття) належить Олегові Лосеву (1922), то у розробленні сучасної технології світлодіодів та лазерних діодних випромінювачів вирішальна роль належить Миколові Голоняку.

### Чародій світла:

#### Микола Голоняк і ДВ-технології

Винахідником першого промислового світлодіода і лазерного діода (1962) на основі матеріалу  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  був Микола Голоняк (Nick Holonyak), американський фізик українського походження, батьки якого із Закарпаття. (У листі від 27 серпня 1997 року він про себе мені писав: “Я, звичайно,





вважаю себе американцем карпаторусинського походження”). Він був серед перших розробників лазерів на гетеропереходах, що випромінюють у видимій області спектра.

З іменем М. Голоняка пов'язано виникнення нового напрямку сучасної світлотехніки – розроблення технології та дослідження основних властивостей діодних випромінювачів, а також інших важливих пристроїв сучасної напівпровідникової електроніки.

Микола Голоняк народився 3 листопада 1928 року в Зейглері (Zeigler), штат Іллінойс, США.

Його батько Микола Голоняк походив із неможливої багатодітної родини. Він прибув до Америки сто років тому (1909), залишивши вдома двох братів і сестер. Працював шахтарем. Його старший брат загинув в австро-угорській армії під час Першої світової війни, а молодший – згодом переїхав до Америки, де також працював шахтарем на копальнях Південного Іллінойсу. Мати Ганна (дівооче прізвище Росоха) також походила із Закарпаття (з сусіднього села). Вона була сиротою, прибула до Америки 1921 року разом із молодшим батьковим братом. Тут батьки познайомилися й одружилися.

Син Миколи та Ганни Голоняків був дуже здібний до навчання. Успішно закінчивши школу, він вступив до Іллінойського університету, де здобув звання бакалавра (1950), магістра (1951) і доктора філософії (1954) у галузі електротехніки. Закінчивши аспірантуру, одружився. Дружина – Катерина. М. Голоняк був студентом і першим аспірантом славного Джона Бардіна, двічі лауреата Нобелівської премії.

У 1955–1957 роках М. Голоняк служив в армії, у військовій частині, що була дислокована в Японії. Цікавий момент: як вояк тодішньої окупаційної армії в Японії, за сприяння Дж. Бардіна д-р М. Голоняк там зустрівся і подружився з японськими фізиками Мітіо Хатаяма (Mitio Hatayama) і Макото Кікучі (Makoto Kikuchi), які згодом прославилися як подвижники японського електронного прориву: Хатаяма заснував дослідницьку лабораторію “Sony”, а Кікучі став його наступником. Як згадує проф. Голоняк, він провів там спеціальний семінар з кремнієвих технологій для Кікучі та його колег, заздалегідь попередивши американських адвокатів, що не розголошуватиме низки ноу-гау. Мож-

ливо, це стало поштовхом для початку розвитку мікроелектронної технології в Японії (1956–1957), адже корпорація “Sony” і нині відома своєю першокласною електронною продукцією. На прохання Кікучі наш герой навіть ухитрився тоді дістати шматочок досконалого монокристал кремнію, яку йому прислали швидкою армійською поштою. Вірогідно це міг бути шматок того досконалого кристал Si, що його у Массачусетському технологічному інституті на замовлення декількох фірм вирощував Олександр Смакула. До речі, із найдосконалішої кремнієвої технології започатковувалося функціонування відомої “Силіконової долини” (Silicon Valley).

Після служби в армії, М. Голоняк працював у лабораторії з досліджень напівпровідників фірми “General Electric”, де започаткував систематичні дослідження напівпровідникових тунельних діодів, заклавши технологічні основи виготовлення *p-n-p-n*-пристроїв та методичні основи низькотемпературної тунельної спектроскопії. Ці праці носили піонерський характер, а їхній автор був першопрохідцем у цих надзвичайно перспективних напрямів фізики і техніки напівпровідників.

У 1960–1962 роках М. Голоняк перший одержав *p-n*-перехід у системі  $Ga_xAs_{1-x}P$ , а відтак сконструйовані ним на цій системі 1962 року світлодіоди і напівпровідникові лазери видимого діапазону спектра набули комерційної ваги. (Зазначмо, що GaAs-ні інжекційні лазери генерують у ближньому ІЧ-діапазоні:  $\lambda = 0,85$  мкм).



– Це чудово!  
(Джон Бардін захоплений здобутками свого колеги)

Із 1963 року М. Голоняк став професором Іллінойського університету (факультет електронної і



комп'ютерної техніки) та членом Центра перодових досліджень цього університету. Разом зі своїми студентами та аспірантами він налагодив вирощування з розплаву напівпровідникових бінарних кристалів групи  $A^{III}B^V$ , а також твердих розчинів і по-різному легованих систем на їхній основі. Вперше було одержано червоно-оранжево-жовто-зелені діодні випромінювачі (когерентні й некогерентні) на легованих азотом сплавах  $In_{1-x}Ga_xP$ ,  $In_{1-x}Ga_xP_{1-z}As_z$ ,  $Al_xGa_{1-x}As_{1-y}P_y$  та  $GaAs_{1-x}P_x$ , а також на гетеропереходах у різних потрійних і чотирикомпонентних системах на основі  $A^{III}B^V$ , таких, наприклад, як  $Al_xGa_{1-x}As_{1-y}P_y$ ,  $In_{1-x}Ga_xP_{1-z}As_z$ .



*Між друзями-фізиками нема жодних секретів.  
(Акад. Жорес Алфьоров у лабораторії  
проф. Миколи Голоняка)*

У 1970–1971 роках у лабораторії М. Голоняка упродовж шести місяців проходив стажування Жорес Алфьоров. Саме він ініціював у Фізико-технічному інституті (Ленінград, нині Санкт-Петербург, Росія) масштабний проєкт – виготовлення мікроелектронних пристроїв на гетеропереходах. Цей успішний проєкт завершився тим, що 2000 року акад. Ж. І. Алфьоров одержав Нобелівську премію з фізики.

Починаючи з 1976 року, дослідження проф. Голоняка стосуються фізики і технології світлодіодних та лазерних випромінювачів на квантових ямах, а також технології інтегральних оптоелектронних систем. До речі, термін “quantum well laser” уперше ввів у фізику саме проф. М. Голоняк. Надзвичайно тонкі технології виготовлення гете-

роструктур і надструктур (надграток), які він розробив, знаходили якнайшвидше комерційне (промислове) впровадження, оскільки в цьому були зацікавлені найпотужніші (часто конкуруючі) фірми таких країн як США, Японія та ін. Це особливо стало відчутним тоді, коли 1978 року проф. М. Голоняк першим одержав і продемонстрував лазер безперервної дії на “quantum well” за кімнатної температури. Як ми тепер знаємо, навіть лазерні указки та різноманітні пристрої для лазерних шоу завдячують цьому винаході.

Як уже зазначалось, ще у 1956–1957 роках д-р М. Голоняк зробив вирішальний внесок у створення кремнієвих  $p-n-p-n$  ключів і керованих кремнієвих випрямлячів (тиристорів). Цей напівпровідниковий прилад є сьогодні основою багатьох енергетичних установок. Піонерська робота Миколи Голоняка із співавторами з лабораторії “Белл Телефон”, яку було опубліковано 1956 року, відіграла унікальну роль у розвитку силової кремнієвої електроніки і кремнієвої мікроелектроніки. Створена тоді дифузійна технологія  $p-n-p-n$  ключів стала основою розробки 1957 року у фірмі “Дженерал Електрик” перших силових керованих випрямлячів. Так професор Микола Голоняк став основним творцем силової кремнієвої електроніки – основи сучасної перетворювальної техніки в енергетиці.

І хоч глибокошановний герой нашої оповіді вирізняється серед академічної еліти надзвичайною скромністю (у листах до мене він волів із замилюванням писати про свого Вчителя Джона Бардіна, про себе ж – мінімум тексту), все ж з енциклопедичних видань знаємо, що різні міжнародні визнання, титули та відзнаки не могли оминути його. Ось деякі з них: редактор серії монографічних видань “Solid State Physics Electronics” і член редколегії “Proc. IEEE” (1966–1974), член редколегій журналів “Solid State Electronics” (1960–1991), “J. Appl. Phys.” (1978–1980) та “Appl. Phys. Lett.” (1978–1980), член Національної інженерної академії США (1973), Національної академії наук США (1984), почесний член Американської академії мистецтв і науки (1984), почесний член науково-інженерного товариства IEEE (1994), почесний член Американського фізичного товариства та Американського оптичного това-





риства, іноземний член Національної академії наук України, член редакційної ради "Українського фізичного журналу". Про нагороди згадаємо дещо пізніше.

### Новий етап ДВ-технології

**Н**овий етап у розвитку світлотехніки, що зумовлений світлодіодною революцією, посправжньому розпочався недавно, з 1990-х років. Це галузь високих технологій, точніше – нанотехнологій.

Суттєвий поступ у світлодіодній технології було здійснено 1991 року в Японії. Річ у тім, що для детальної передачі кольорових відтінків ( $\epsilon$  така наука – кольорознавство) потрібні три основні кольорні компоненти – червона (red), зелена (green) і синя (blue) – т. зв. RGB-компоненти. Перші світлодіоди випромінювали в червоній ділянці спектра. Проф. Голоняк зумів виготовити також світлодіоди в оранжевій, жовтій та зеленій ділянках, а ось синього кольору добитись було неможливо. Для цього треба було виготовити *p-n*-переходи в широкозонних напівпровідниках, наприклад, у нітриді галію (GaN). Було з'ясовано, що якщо в GaN галій частково замінити індієм, тобто синтезувати систему  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ , то можна отримати свічення від фіолетового до зеленого кольорів залежно від вмісту індію (що виражається індексом  $x$ ). Однак виникла серйозна технологічна проблема щодо створення *p-n*-переходу. Якщо систему  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  *p*-типу вдавалося створити, то за жодних технологічних прийомів одержати цей матеріал *p*-типу ніяк не вдавалося.

І ось восени 1991 року японський фізик і технолог Судзі Накамура (Shuji Nakamura) опублікував статтю, де повідомлялося про створення надпрецизійної установки для епітаксialного вирощування дуже тонких і досконалих шарів  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  та про освоєння технології отримання *p-n*-переходів з яскраво синім свіченням. Надтонкі шари  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  почергово наносили на пластину-підкладку з карбиду кремнію (SiC), створюючи надгратки. А *p*-тип матеріалу одержували методом електронного опромінення. Цей проект коштував три мільйони доларів.

Із 1993 року японська фірма "Nichia", де працював С. Накамура, розпочала промисловий серійний випуск цих світлодіодів, що яскраво світилися

з силою світла 1 кд. Це був справжній прорив у діодній світлотехніці, адже якщо на "синій" чип-світлодіод нанести відповідний люмінофор, то завдяки перетворенню частини світлового потоку у зелено-жовто-червоні тони можна врешті одержати біле світло. А це вже заявка на кардинальні зміни всієї освітлювальної техніки.

Дозвольте здивувати вас, шановний читачу, зіставленням параметрів двох типів джерел світла з майже однаковою світловіддачею – ламп розжарення та світлодіодних випромінювачів. Активна випромінювальна область *S*-діода (область *p-n*-переходу) в  $10^5$  разів менша від розміру нитки розжарення звичайної (наприклад, 100-ватної) лампочки; якщо паспортний ресурс, тобто тривалість безперервного горіння останньої майже 500 годин, то світлодіод може світити понад 100 тис годин! Разюча відмінність у к.к.д., спектральному розподілі випромінювання тощо.

Можемо стверджувати, що з початком ХХІ сторіччя розгортається справжня світлодіодна революція.

Світова науково-технологічна еліта належно відзначила першопрохідців цього напрямку. Про Нобелівську премію Жореса Алфьорова вже згадувалося. Микола Голоняк за внесок у галузі фізики і технологій світлодіодів видимого діапазону та діодних лазерів нагороджений премією фірми General Electric (1962), відзнаками Науково-інженерного товариства IEEE (1973, 1975, 1976, 1981), медаллю John Scott (1975, Філадельфія), медаллю Американського електрофізичного товариства (1983), першою премією фірми Sigma Xi Monie (1988), медаллю Едісона (1989), національною медаллю США у царині науки (1990), відзнакою Американського оптичного товариства (1992), нагородою Національної академії наук США за промислове впровадження наукових здобутків (1993), дипломом Американської асоціації з електроніки з нагоди її 50-річчя (1993, "Американський внесок у майбутнє"), медаллю Американського товариства з інженерної освіти (1993), відзнакою ім. Джона Бардіна (1995), премією Міжнародного комітету "Глобальна енергія" (2003) та ін.

У 1992 році проф. М. Голоняку присвоєно почесне звання доктора honoris causa Фізико-технічного інституту ім. А. Ф. Йоффе (м. Санкт-Петербург, Росія). У 1994 році він одержав почесне



звання доктора техніки Нотр-Дамського університету (США), а 1995 року – наукову премію Японії.



Проф. Судзі Накамура (Shuji Nakamura)  
(нар. 22.05.1954)

Кафедра електротехніки, комп'ютерної техніки та фізики в Іллінойському університеті, яка нині носить ім'я Джона Бардіна і де постійно працює професор Микола Голоняк, починаючи з 1993 року спонсорується японською корпорацією "Sony".

А Судзі Накамура у вересні 2006 року було нагороджено відомою премією "Millennium". Цю премію засновано у Фінляндії 2002 року за ініціативою Фінської академії технологій. Нею нагороджують раз на два роки. Це високопрестижна премія рівня Нобелівської (1 млн євро). Досить сказати, що попереднім лавреатом (2004) був винахідник Інтернету Тім Бернерс-Лі (Tim Berners-Lee).

#### Діодні випромінювачі і нанотехнології

Технологія діодних випромінювачів, яку описано вище, – типовий приклад сучасної нанотехнології. За допомогою складної високовакуумованої та автоматизованої технологічної установки, де комбінується нанесення шарів з програмованим електронним опроміненням, надтонкі шари  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  товщиною майже 3 нм наносять по чергово у переміжку з бар'єрними шарами GaN (майже 7 нм) на SiC-підкладку, що структурно близька до GaN. Так нині синтезують надгратки з випромінювальними  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ -шарами.

Зазначмо, що подібного роду продукти нанотехнологій не мають природних аналогів.

Випромінювальні  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ -шари під час детального розгляду виявляються суттєво неоднорідними, а саме, у площині цих шарів спостерігаються острівкові скупчення In, у результаті чого утворюються квантові точки.

Отже, схематично описані вище гетероструктурні композиції є джерелами рекомбінаційного випромінювання в короткохвильовій ділянці спектра. За цього механізму в системі  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  маємо фантастично високу ефективність перетворення електричної енергії у світлову – майже 50 % інтегрально (біле світло) і ще вище для певних спектральних складових.

#### Лазери нового покоління

Є одна науково-технічна галузь, де особливо успішно використовуються діодні випромінювачі. Це нове покоління твердотільних лазерів (ТТЛ) з діодним збудженням. Поперечне збудження напівпровідниковими діодними випромінювачами або т. зв. напівпровідниковими діодними лініями (рис. 3) на промисловому лазерному ринку за останні два роки (2007–2008) перевершило 50 %. (Можливе також т. зв. поздовжнє збудження, але воно складніше в реалізації і його застосовують рідше).

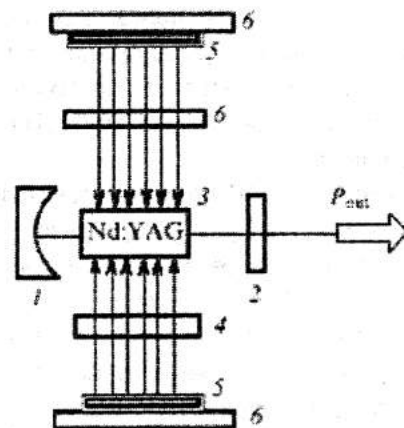


Рис. 3. Схема поперечного ДВ-збудження у неодимовому лазері: 1, 2 – дзеркала резонатора; 3 – активний елемент; 4 – циліндрична лінза; 5 – діодна лінійка; 6 – термостабілізатор





Лазерна діодна лінійка – це компактний (шириною майже 10 мм) монолітний потужний випромінювач, виготовлений за технологією інтегральних схем. Вона містить майже 100 однакових лазерних структур. Типові параметри: інтегральна потужність випромінювання понад 100 Вт при струмі майже 100 А, к.к.д. перевищує 50 %. Тривалість імпульса  $\sim 10^{-4}$  с, частота повторення імпульсів майже 100 Гц.

Для збудження активних елементів залежно від їхньої конфігурації в ТТЛ можуть застосовуватися також двомірні діодні матриці, які можуть містити сотні або тисячі *L*-діодів.

Застосування монолітних або напівмонолітних конструкцій, що включають в одному елементі активне середовище, оптичний резонатор, а також компактну систему збудження з блоком керування – це явні переваги ТТЛ з діодним збудженням.

У чому переваги ДВ-збудження над ламповим? Відзначмо найголовніші з них.

1. Під час діодного збудження к.к.д. на порядок вищий, ніж під час збудження імпульсними лампами. Це зумовлено двома причинами – високим к.к.д. діодних випромінювачів, а також вузьким спектром цих випромінювачів, який можна добре узгіднити зі спектром поглинання активного середовища ТТЛ.

2. Завдяки малій інерційності діодних випромінювачів легко забезпечується стабілізація вихідних параметрів лазера та керованість цими параметрами.

3. Великий ресурс роботи (майже  $10^5$  годин).

4. Відсутність у спектрі випромінювання напівпровідникових діодів УФ-складової дає змогу збільшити термін придатності активних елементів,

оскільки такі процеси, як виникнення центрів забарвлення та фотохімічні перетворення стають неактуальними.

5. За умови нині вже розроблених оптимальних інженерних рішень застосування діодного збудження дає змогу досягти значно вищої потужності генерації ТТЛ, ніж це було під час лампового збудження. Це відкриває нові можливості наукових і технологічних застосувань лазерів нового покоління.

6. Твердотільні лазери з діодним збудженням можуть бути вельми малих розмірів, вони менш критичні щодо температурного режиму роботи.

### Замість висновків

З'ясовуючи механізми рекомбінаційного випромінювання в напівпровідниках, ми вище вказали лише на міжзонну рекомбінацію носіїв. Проте дуже важливими є й інші механізми, оскільки легування та породження у міжзонному інтервалі локальних рівнів дає змогу цілеспрямовано впливати на структуру спектра вихідного випромінювання. Ці проблеми є цілком конкретними – підбір складу твердого розчину напівпровідника, вибір легуючих домішок, їхніх концентрацій, режимів імплантації тощо. У цій статті немає змоги докладно зупинитися на цих проблемах. Але без такої конкретики дослідник не матиме жодних шансів на успіх у цих складних технологіях.

Берімо приклад з професорів Миколи Голоняка, Жореса Алфьорова та Судзі Накамури: успіх матиме той, хто фахово вникатиме у сутність явищ і тонкощі технології. Поверховість і верхоглядство – нехай це буде не для нас!

**Із сумом повідомляємо, що 27 березня 2009 року в Нью-Йорку помер член редколегії нашого журналу, видатний український та американський учений, фізик Олекса-Мирон Біланюк.  
Поділяємо смуток родини та усієї наукової спільноти.**

**Редакційна колегія**



## 80 РОКІВ ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ НАН УКРАЇНИ: ВІХИ ІСТОРІЇ

**А. М. Негрійко**, доктор фізико-математичних наук,  
**С. М. Рябченко**, член-кореспондент НАН України

### Про головні віхи розвитку Інституту

На початку ХХ сторіччя стан наукових досліджень у галузі фізики в Україні визначався, переважно, діяльністю представників університетської науки. Серед них були яскраві особистості, які доклали значних зусиль для підготовки кадрів, створення та розвитку технічної бази. Відому наукову школу з експериментальної фізики у Київському університеті започаткував М. П. Авенаріус. У Київському політехнічному інституті Г. Г. де Метц, який очолював там кафедру фізики (згодом її очолив професор О. Г. Гольдман), організував фізичну лабораторію, де, серед іншого, одержували та використовували для досліджень зріджене повітря.

Водночас, тенденції розвитку світової науки і техніки вимагали створення потужних спеціалізованих науково-дослідних фізичних центрів. Готуючи Закон Української держави "Про заснування Української академії наук у Києві", який підписав гетьман П. Скоропадський 14 листопада 1918 року, одним із перших документів підготовчої комісії була доповідна записка професора Київського університету Й. Й. Косоногова "Про заснування Фізичного Інституту Української академії наук у Києві" і створення цього Інституту у структурі академії було передбачене. Проте здійснення цих планів через низку обставин відтермінувалося більше як на десять років.

При Наркоматі освіти УСРР 1921 року було створено Науковий комітет, який розпочав формування наукової інфраструктури України шляхом створення науково-дослідницьких кафедр (НДК) із різних питань науки. Кафедри згодом стали фундаментом для створення науково-дослідних інститутів.

В Україні (1921) було засновано дві перші кафедри (обидві – з фізики): київську (при Київсь-

кому політехнічному інституті, керівник – О. Г. Гольдман) і харківську (керівник – Д. А. Рожанський). Існує версія, що 1921 року київську наукову структуру було організовано як Фізичну дослідницьку лабораторію при Київському губпрофосвіті, яку 1922 року перетворено в Київську науково-дослідницьку кафедру фізики. За іншими джерелами дві кафедри з фізики було створено саме 1921 року.

Київська науково-дослідницька кафедра з фізики розгорнула активну діяльність, і 1927 року О. Г. Гольдман подав клопотання про перетворення її на науково-дослідний інститут. Ці клопотання дали свої результати. За постановою Підготовчої комісії Раднаркому УСРР (протоколи № 48 і № 49 від 18–23 червня 1928 року). Інститут фізики в м. Києві було внесено до списку наукових установ Наркомосвіти УСРР, які з 1928–1929 рр. фінансуються із держбюджету УСРР. Протоколом Раднаркому УСРР № 51/598 від 9 жовтня 1928 року було прийнято постанову про затвердження нових установ та їх умовних асигнувань, у переліку якого був Інститут фізики. У документах Наркомосвіти УСРР зберігається особова справа О. Г. Гольдмана, у якій зазначено, що Гольдмана Олександра Генріховича затверджено директором Науково-дослідного інституту фізики з 1 січня 1929 року (лист № 589-а від 20 лютого 1929 року). Реальна робота Інституту розпочалася 1929 року, тому загальноприйнято, що саме цей рік є роком створення Інституту фізики Національної академії наук України.

Науково-дослідний інститут фізики Наркомосвіти УСРР з 1932 року був підпорядкований Всеукраїнській Академії наук (ВУАН), а 1936 року його перейменовано в Інститут фізики АН





УСРР (із 1937 року УРСР). Організатора і першого директора Інституту О. Г. Гольдмана 1929 року обрали академіком по кафедрі фізики.

На час створення Інституту його штат налічував 20 працівників, серед них 6 наукових працівників та 10 аспірантів.

Новоутворений Інститут одержав приміщення по вул. Чудновського (нині – Терещенківська), 3, куди й переїхав улітку 1929 року. Маючи небагато обладнання, невеликий штат працівників, у перші роки існування Інститут свою діяльність спрямовував на розширену підготовку молодих наукових кадрів, пошук та формування тематики досліджень. Ця робота була досить успішною, попри вкрай складні умови того часу. Труднощі тих років добре ілюструє звіт О. Г. Гольдмана за 1930 рік, де як найважливіше досягнення наведено факт під'єднання будинку Інституту до міської електричної мережі змінного струму. Але попри все робота налагоджувалася.

Уже у перші роки Інститут став потужною школою підготовки наукових кадрів. У інформації про наукових співпрацівників, що виростили в Інституті фізики Академії наук УРСР, який було підготовлено до 20-річчя утворення Інституту, зазначено,

що аспірантами науково-дослідчої кафедри були дійсний член АН УРСР, доктор фіз.-мат. наук професор В. Є. Лашкар'єв та дійсний член АН СРСР, доктор фіз.-мат. наук професор В. П. Линник. Вступили до аспірантури науково-дослідчої кафедри та закінчували аспірантуру Інституту фізики член-кореспондент АН УРСР доктор фіз.-мат. наук професор Н. Д. Моргуліс та доктор фіз.-мат. наук професор С. Д. Герцрікен. Аспірантуру Інституту фізики закінчували академік АН УРСР і директор Інституту у 1949–1965 рр. М. В. Пасічник), доктор фіз.-мат. наук В. І. Ляшенко, майбутній член-кореспондент АН УРСР П. Г. Борзяк, кандидати фіз.-мат. наук К. Б. Котляревська та А. М. Павленко, доктор фіз.-мат. наук М. Д. Габович, кандидат фіз.-мат. наук А. Ф. Мальнев, кандидат фіз.-мат. наук, директор Інституту в 1938–1941 рр. О. Г. Миселюк та інші.

До 1938 року в Інституті організаційно сформувались три основні напрями науково-дослідних робіт: фізика напівпровідників (керівник – О. Г. Гольдман, із 1939 року – В. Є. Лашкар'єв); фізика електронних та електровакуумних процесів (керівник – Н. Д. Моргуліс); рентгенометалофізика (керівник – С. Д. Герцрікен).

## МІЖНАРОДНИЙ РІК АСТРОНОМІЇ 2009

### ЛАЗЕРНА ЛОКАЦІЯ ШТУЧНИХ СУПУТНИКІВ ЗЕМЛІ

**Софія Апуневич**, науковий співробітник *Астрономічної обсерваторії Львівського національного університету імені Івана Франка*

**Л**азерна локація штучних супутників Землі... Це поняття з'явилося за декілька років після запуску першого штучного супутника Землі (ШСЗ) та появи лазера. Поеднавши ці дві грандіозні події, людство отримало потужний інструмент за допомогою якого вже впродовж декількох десятиріч успішно розв'язують низку наукових і прикладних задач.

Звернімося до історії, прослідкуймо як все починалось. 4 жовтня 1957 року здійснено запуск першого штучного супутника Землі, кодова назва – ПС-1 (“Простейший Спутник-1”). Це була від-

полірована алюмінієва куля діаметром 58 см та масою 83 кг. Запуск здійснювався з науково-дослідного полігону міністерства оборони СРСР “Тюра-Там” (згодом полігон отримав назву космодром Байконур). На орбіту супутник було виведено ракетою-носієм Р-7.

Радянські газети з гордістю рапортували про тріумф вітчизняної науки та технології. У заголовках тогочасних іноземних газет можна побачити, на скільки світ був здивований, дізнавшись про вихід на орбіту штучного супутника Землі.



Перед війною, 1941 року Інститут налічував 122 працівники, з них 36 наукових працівників (5 докторів та 10 кандидатів наук), 7 аспірантів і 15 осіб науково-допоміжного персоналу. До складу Інституту входила велика експериментально-виробнича майстерня, де працювали висококваліфіковані фахівці та було відповідне обладнання. Інститут мав свій друкований орган – “Українські фізичні записки”, які почала видавати ще з 1926 року Київська науково-дослідча кафедра фізики.

На жаль, репресії 1930-х років нанесли велику шкоду діяльності Інституту. Важкою втратою був арешт та заслання за межі України засновника Інституту та його першого директора академіка О. Г. Гольдмана. Він зміг повернутися в Україну та до рідного Інституту лише 1959 року.

Під час війни Інститут фізики було евакуйовано до Уфі, де його об'єднали з Інститутом математики під керівництвом академіка АН УРСР Г. В. Пфейффера. Штат працівників Інституту значно скоротився (кількісний склад працівників в об'єднаному Інституті фізики та математики на 1942 рік налічував 30 штатних одиниць). До Інституту увійшли також евакуйовані до Уфі і зара-

ховані спочатку до евакуйованого туди ж дніпропетровського Інституту фізичної хімії працівники Українського фізико-технічного інституту академік АН УРСР О. І. Лейпунський, професор Г. Д. Латишев, професор Ф. Ф. Ланге. О. І. Лейпунського призначили керівником відділу фізики об'єднаного Інституту, Ф. Ф. Ланге очолив спецвідділ. Зазначмо, що у штаті евакуйованого до Уфі дніпропетровського Інституту фізичної хімії були також вчені із харківського УФТІ академік І. В. Обреїмов та А. Ф. Прихотько, які, особливо остання, відіграли згодом велику роль у розвитку Інституту фізики. Робота фізиків в Уфі була спрямована на потреби оборонної галузі (промисловості зв'язку, авіамоторобудування, хімічного машинобудування тощо).

У роки війни Інститутом було розроблено і впроваджено у масове виробництво перший радянський купроксний випростувач (В. Є. Лашкарьов, С. І. Пекар). Цей прилад застосовували у апаратах зв'язку. Було розроблено захисне покриття для п'єзоелементів від дії вологості (В. Є. Лашкарьов). Колектив працював над завданнями Наркомату авіаційної промисловості, що були спря-

## МІЖНАРОДНИЙ РІК АСТРОНОМІЇ 2009

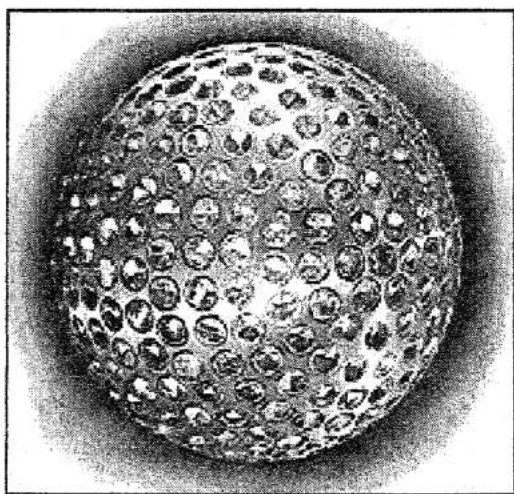


Рис. 1, а. Супутники, які використовують у сучасних програмах Міжнародної служби лазерної локації: Лагеос

Перший супутник залишався на орбіті 21 день.

Згодом, 1960 року, у науково-дослідній лабораторії Г'юза, яка розташована у м. Малібю (Каліфорнія, США) працював перший лазер. Теодор Мейман створив твердотільний оптичний квантовий генератор (лазер), активним середовищем якого був рубіновий стрижень. Він генерував імпульси світла довжиною хвилі 694 нм.

Попередниками лазерів були мазери, які генерували радіовипромінювання в мікрохвильовому діапазоні. Їх винайшли радянські учені М. Г. Басов та О. М. Прохоров та американець Ч. Таунс зі співробітниками у 1953–1954 роках. За створення квантових генераторів науковці одержали Нобелівську премію з фізики 1964 року.

До моменту появи лазера для локації або віддалеметрії штучних супутників використовували



мовані на вдосконалення систем запалювання авіаційних двигунів, розроблено пластмасу на основі місцевих матеріалів (Н. Д. Моргуліс).

Велику роботу із організації радянського Атомного проекту, підготовки кадрів для нього проводив у ті воєнні роки завідувач відділом фізики об'єднаного Інституту фізики і математики АН УРСР, академік АН УРСР О. І. Лейпунський. Цей період його діяльності добре описано у сучасній мемуарній літературі. Можна припустити, що саме завдяки активній участі О. І. Лейпунського у Атомному проекті, та за його ініціативи в Інституті фізики АН УРСР у Києві розпочали дослідження з ядерної проблематики. Справді, 26 липня 1944 року було прийнято спільну постанову Раднаркому УРСР і ЦК КП(б)У про відновлення будівництва циклотрона в Україні. Постановою було дозволено АН УРСР відновити будівництво циклотрона в м. Києві при Інституті фізики Академії наук УРСР, тоді як за постановою Раднаркому УРСР та ЦК КП(б)У, що була прийнята раніше, у квітні 1941 року, циклотрон мали будувати у Харкові при Фізико-технічному інституті. Будівництво циклотрону в Києві планували завершити 1946 року. У серп-

ні 1944 року Київською міськрадою та головним архітектором м. Києва О. В. Власовим було запропоновано 5 земельних ділянок для майбутнього будівництва: на Солом'янці – Мокрий яр, район “Красного хутора”, лісовий масив Пущі-Водиці, в Святошино та в районі Звіринця на території відновлюваного Ботанічного саду АН УРСР. Академія наук, у особі академіка О. І. Лейпунського та Президента АН УРСР академіка О. О. Богомольця, додатково запропонувала район Голосіївського лісу. Ділянку було вибрано саме на околиці цього лісу, а згодом там було побудовано і сучасні приміщення Інституту. У 1954 році циклотрон було уведено в дію.

Наприкінці війни, 1944 року, об'єднаний Інститут фізики і математики повернувся з евакуації. Хоч рішення про розділення об'єднаного Інституту на окремі Інститути фізики і математики, які існували до війни, було прийнято ще 1943 року, фактично це відбулося лише після повернення до Києва. Інститут фізики АН УРСР розмістився в своїх попередніх приміщеннях. За постановою Президії АН УРСР від 7 липня 1944 року його директором став академік О. І. Лейпунський.

## МІЖНАРОДНИЙ РІК АСТРОНОМІЇ 2009

мікрохвильовий радар, чим забезпечувалась похибка вимірів 50 м.

З появою нових лазерних технологій почали розробляти дещо іншу методику спостережень ШСЗ, передбачалась можливість збільшення точності визначення траєкторії супутників.

Два з половиною роки відтоді, коли винайшли рубідієвий лазер, на орбіту запущено супутник Експлорер-22В з висотою орбіти майже 1000 км. 31 жовтня 1964 року в Центрі космічних польотів Годдарда (Грінбелт, США) осцилограф відтворив слабкий сигнал, що повернувся від супутника. З цією подією пов'язують початок ери лазерної локації. Завдяки переходу на лазерну техніку похибка визначення віддалі становила 3 м, тобто точність вимірів значно зросла.

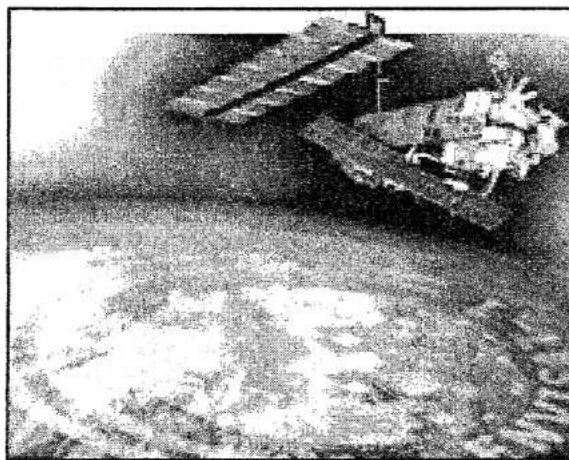


Рис. 1, б. *Envisat*





На 1945 рік за штатним розкладом до складу Інституту входили:

– відділ ядерної фізики (з 1947 року відділ № 3), зав. відділом – академік О. І. Лейпунський;

– відділ радіоактивного випромінювання (ліквідовано 1947 року), зав. відділом – член-кореспондент АН УРСР Г. Д. Латишев;

– відділ напівпровідників (з 1947 року відділ № 5), зав. відділом – академік В. Є. Лашкар'єв;

– відділ фізики електродних явищ (з 1947 року відділ № 2), зав. відділом – член-кореспондент АН УРСР Н. Д. Моргуліс;

– спектральний відділ (з 1947 року відділ № 6), зав. відділом – доктор фіз.-мат. наук А. Ф. Прихотько;

– відділ теоретичної фізики (з 1947 року відділ № 8), зав. відділом – вакансія, з 1946 року – доктор фіз.-мат. наук С. І. Пекар;

– відділ теорії ядра (з 1947 року відділ № 4), співробітник відділу – кандидат фіз.-мат. наук О. С. Давидов, майбутній академік АН УРСР.

– відділ теорії твердого тіла (з 1947 року відділ № 9), зав. відділом – вакансія, старший науковий співробітник відділу – кандидат фіз.-мат. наук О. Г. Миселюк;

– відділ циклотрону (з 1947 року відділ № 7), зав. відділом – В. І. Охатрін.

Із 1949 року до 1951 року у складі Інституту був відділ технічної фізики під керуванням члена-кореспондента АН УРСР, згодом академіка АН СРСР О. О. Харкевича, який працював, зокрема, над розробленням запам'ятовувальних пристроїв для перших вітчизняних ЕОМ.

Як видно навіть із назв відділів, в Інституті значно оновилися тематика досліджень. У 1945 році її доповнено дослідженнями з ядерної фізики, якими керували О. І. Лейпунський, а після його переїзду до Москви – М. В. Пасічник та Г. Д. Латишев, роботами з оптики і спектроскопії кристалів під керуванням А. Ф. Прихотько, теоретичної фізики, теорії ядра та теорії твердого тіла (С. І. Пекар, О. С. Давидов, згодом К. Д. Толпиго, М. Ф. Дейген, І. М. Дикман), фізики плазми (М. Д. Габович, П. М. Марчук). Продовжувалися роботи з фізичної електроніки (Н. Д. Моргуліс, П. Г. Борзяк), фізиці напівпровідників (В. Є. Лашкар'єв, В. І. Ляшенко, Г. О. Федорус, О. Г. Миселюк). Широкому розгортанню цих робіт сприяло спорудження та введення у експлуатацію 1953 року нового комплексу лабораторних приміщень і житлових будівель по вул. Великій Китаївській, 144 (нині прос-

## МІЖНАРОДНИЙ РІК АСТРОНОМІЇ 2009

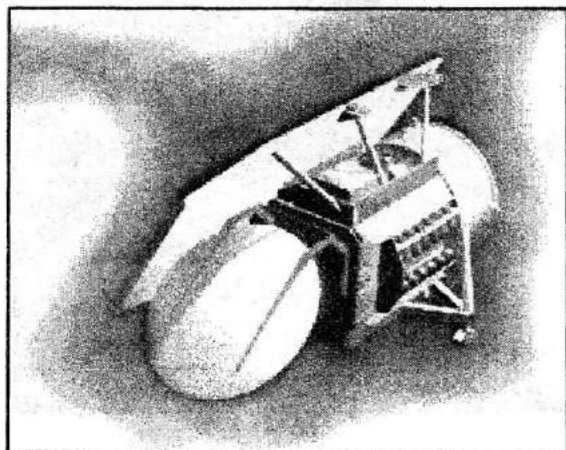


Рис. 1в. ГФО

На початку 1967 року створено першу міжнародну лазерно-локаційну кампанію, до якої входило три європейські станції: у Франції, Греції, Алжирі та дві в США. Ці станції визначали координати ШСЗ, що дало змогу створити модель поля тяжіння Землі.

Американські астронавти Нейл Армстронг і Базз Олдрин 1969 року на космічному апараті Аполло-11 здійснили посадку на Місяць, де залишили перший відбивач світла. Це стало початком лазерної локації Місяця. Цього ж року під егідою Національного американського космічного агентства (НАСА) було проведено перші пробні денні спостереження.

Від 1972 року успішно працюють станції в Чехословаччині. НАСА спонсорує станції в Польщі, Латвії, Болівії, Кубі та Індії, а уряд США фінансо-



пект Науки, 46). Головний корпус Інституту зведено за проектом відомого київського архітектора А. В. Добровольського у співпраці з С. Я. Ходик.

Важливою для Інституту подією було введення 1946 року в дію першої в Києві і 2-ої в Україні кріогенної лабораторії, створеної за ініціативи А. Ф. Прихотько, що підняло на якісно новий рівень переважну більшість експериментальних досліджень Інституту.

У 1956 році було закінчено спорудження циклотронної лабораторії, а 12 лютого 1960 року в Інституті фізики запущено ядерний реактор. Ці унікальні установки дали змогу широко розгорнути дослідження з вивчення структури атомного ядра, радіаційної фізики твердого тіла та інші.

У системі АН УРСР 1945 року було створено Лабораторію металофізики на чолі з академіком Г. В. Курдюмовим, яку 1955 року було перетворено в Інститут металофізики АН УРСР. До складу лабораторії увійшов відділ дифузійних процесів Інституту фізики (професор С. Д. Герцрікен).

На базі відділів Інституту фізики, зокрема відділу напівпровідників на чолі з академіком В. Є. Лашкарьовим та частини відділу теоретичної фізики, академіка С. І. Пекара, М. Ф. Дейгена та ін., з метою розвитку наукових досліджень

із фізики напівпровідникових приладів та їх застосувань, 1960 року створили Інститут напівпровідників АН УРСР (нині Інститут фізики напівпровідників НАН України ім. В. Є. Лашкарьова).

На базі теоретичних відділів Інституту 1966 року було створено Інститут теоретичної фізики АН УРСР.

Кілька відділів ІФ АН УРСР відповідного профілю стали основою створеного 1970 року Інституту ядерних досліджень АН УРСР.

Дещо пізніше, 1994 року, на базі відділу оптичної квантової електроніки Інституту був створений ще один академічний інститут – Міжнародний центр “Інститут прикладної оптики” НАН України.

Як бачимо, кадровий потенціал Інституту фізики був настільки сильним, а представлені в ньому напрями – актуальними, що це дало змогу утворити названі нові Інститути, які за короткий час стали чільними науковими центрами в своїх галузях.

Треба зазначити, що перехід значної частини вчених до новостворених інститутів не призвів до помітного зниження наукового рівня робіт у самому Інституті фізики. За участю та за ініціативи провідних вчених Інституту були започаткова-

## МІЖНАРОДНИЙ РІК АСТРОНОМІЇ 2009

во підтримує станції в Перу, Бразилії, Південній Африці. Лазерна локація ШСЗ стає справді глобальною.

Завдяки спільній програмі НАСА та уряду Франції у 1975–1976 роках виведено на орбіту пасивні супутники для потреб лазерної локації, Старлет та Лагеос-1. Від цього часу почалася ера космічної геодезії. Ці супутники використовували для вивчення проблем геодезії та перевірки теорії гравітаційного поля Землі. Разом зі Стелла та Лагеос-2 вони зіграли важливу роль у розвитку геодезії як науки.

Упродовж 1975–1979 років за підтримки НАСА, введено в експлуатацію супутники Геосат та Сісат, які розробляли для місії океанічної альтиметрії, тобто для вивчення змін висоти світового океану.

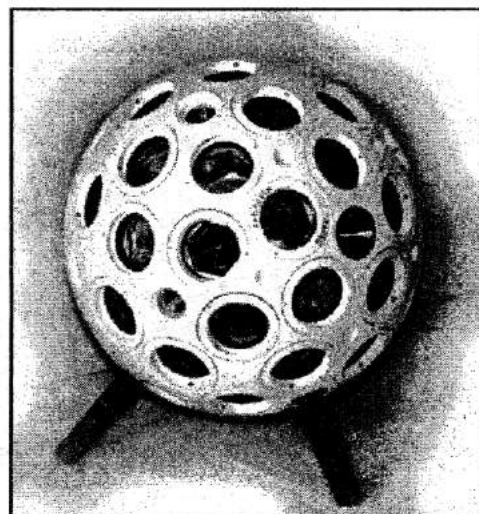


Рис. 1, г. Ларетс



ні нові наукові напрями, здійснювалися організаційні заходи щодо їх кадрового та технічного забезпечення. Створювалися нові наукові підрозділи, діяльність яких охоплювала широке коло напрямів сучасної фізики.

Поряд із традиційними для Інституту напрямками досліджень (фізика кристалів, фізична електроніка) у 1960-х роках розгорнуто дослідження у нових важливих напрямках – оптичної квантової електроніки та голографії, нелінійної оптики, піроелектричних приймачів випромінювання та ін. Це відповідало потребам часу: наприкінці 1950-х – початку 1960-х років зародилася і почала бурхливо розвиватися квантова електроніка, було відкрито лазери. Вчені Інституту були готові до активної діяльності у цій сфері. Надзвичайно важливу роль в ініціюванні та здійсненні цих робіт відіграла академік АН УРСР, Герой Соціалістичної Праці А. Ф. Прихотько, яка за майже п'ятдесят років праці в Інституті створила потужну наукову школу, виховала плеяду учнів і послідовників, які стали на чолі нових для Інституту напрямів. У середині 1960-х років було прийнято рішення про створення на базі відділу фізики кристалів, який з часу заснування (1944) очолювала А. Ф. Прихотько, нових відділів, завданнями яких було розвиток і здійс-

нення цих досліджень. Відділи очолили молоді перспективні вчені:

– відділ нелінійної оптики – М. С. Бродин, нині академік НАН України,

– відділ оптичної квантової електроніки – доктор фіз.-мат. наук В. Л. Броуде (з 1966 року відділом керує М. С. Соскін, нині член-кореспондент НАН України),

– відділ фотоактивності – М. Т. Шпак, згодом академік НАН України (з 1993 року відділом керує доктор фіз.-мат. наук Г. О. Пучковська).

Ще раніше, 1963 року, на базі того ж відділу фізики кристалів було утворено відділ інфрачервоної спектроскопії (А. Ф. Мальнев). Згодом на базі цього відділу було створено лабораторію приймачів випромінювання, яку 1976 року було реформовано у відділ приймачів випромінювання (зав. відділом – доктор фіз.-мат. наук Л. С. Кременчугський, з 1991 року відділом керує кандидат фіз.-мат. наук В. Б. Самойлов).

На базі відділу фізики кристалів 1969 року було створено відділ резонансних явищ (доктор фіз.-мат. наук Д. Ф. Байса).

У Інституті від часу його заснування на високому рівні проводили роботи з фізичної електроніки під керівництвом членів-кореспондентів АН Украї-

## МІЖНАРОДНИЙ РІК АСТРОНОМІЇ 2009

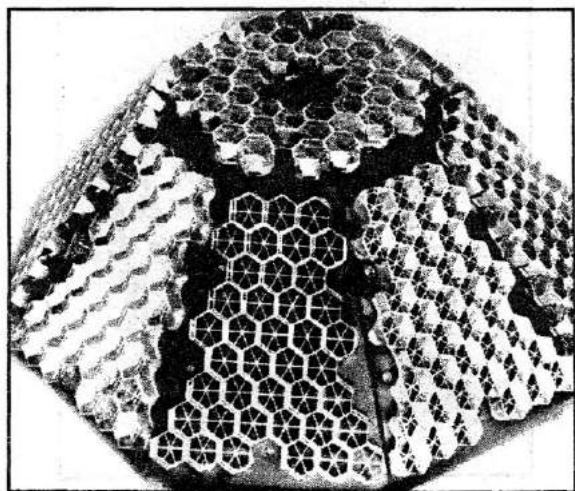


Рис. 1; д. Бе-С

Першу портативну станцію лазерної локації було організовано в Техаському університеті у 1980-х роках.

У період 1979–1993 років науковці НАСА працювали над проектом “Динаміки земної кори”, що мав забезпечувати подальший розвиток технологій та міжнародну співпрацю у вивченні руху тектонічних плит, локальних деформацій земної кори, параметрів обертання Землі, поля тяжіння Землі тощо.

У другій половині 1990-х років з’явилися нові технології та нові наукові підходи до лазерної локації ШСЗ, нові її реалізації.

Міжнародна служба лазерної локації, яку заснували 1998 року, почала координувати роботу пунктів спостереження штучних супутників Землі та Місяця. Ця служба координує геодезичні та





ни Н. Д. Моргуліса і П. Г. Борзяка, переважно у відділі фізичної електроніки – найстарішому відділі Інституту, який заснував Н. Д. Моргуліс 1936 року. Уже у післявоєнний час було започатковано нові оригінальні напрями, які ґрунтувалися, зокрема, на техніці надвисокого вакууму, дифракції повільних електронів, виростили видатні талановиті вчені. Київська школа фізичної електроніки набула широкого визнання в світі.

Межі одного відділу фізичної електроніки стали вузькими, і на його базі виникли нові підрозділи. Це відділ газової електроніки, який очолював від дня заснування 1965 року доктор фіз.-мат. наук М. Д. Габович, а з 1986 року – член-кореспондент НАН України І. О. Солошенко. У 1969 році було утворено відділ адсорбційних явищ, яким від дня заснування незмінно керує член-кореспондент НАН України Ю. Г. Птушинський. Завдяки реформуванню відділу інфрачервоної спектроскопії та залучення частини співпрацівників відділу фізичної електроніки 1971 року утворено відділ електроніки твердого тіла під керуванням доктора фіз.-мат. наук О. Г. Сарбея (нині відділ очолює доктор фіз.-мат. наук В. М. Порошин).

Відділ фізичної електроніки, найстаріший відділ Інституту, і нині продовжує плідну наукову діяль-

ність під керуванням академіка НАН України А. Г. Наумовця, який очолює його з 1981 року.

За ініціативи доктора фіз.-мат. наук В. І. Шаховцова 1975 року в Інституті створено відділ фізики радіаційних процесів (з 1997 року відділом керує доктор фіз.-мат. наук Б. О. Данильченко).

З часом в Інституті у складі відділів утворилася низка лабораторій, які згодом реформували у самостійні наукові відділи. У 1983 році було створено відділ молекулярної фотоелектроніки (зав. відділом доктор фіз.-мат. наук М. В. Курик), який виріс із лабораторії органічних напівпровідників відділу фізики кристалів; 1996 року – відділ фізики магнітних явищ (зав. відділом член-кореспондент НАН України С. М. Рябченко), основою якою стала лабораторія фізики магнітних явищ відділу електроніки твердого тіла; того ж 1996 року – відділ оптики та спектроскопії кристалів (зав. відділом доктор фіз.-мат. наук Ю. П. Гнатенко) на базі лабораторії оптичних властивостей кристалів відділу фізики кристалів; 2004 року – відділ фотонних процесів (зав. відділом член-кореспондент НАН України І. В. Блонський) на основі лабораторії фотоакустики і оптики відділу нелінійної оптики.

## МІЖНАРОДНИЙ РІК АСТРОНОМІЇ 2009

геофізичні дослідження. Лазерна локація штучних супутників Землі здійснюють завдяки глобальній лазерно-локаційній мережі, що має майже 40 станцій, які розташовані на всій земній кулі.

В Україні працює чотири станції лазерної локації: Голосіїв-Київ, Сімеїз, Кацівелі, Львів, які об'єднано в локальну мережу.

Станцію лазерної локації "Голосіїв-Київ" було засновано Головною астрономічною обсерваторією Національної академії наук України (ГАО НАНУ) 1985 року. Вона розташована на території ГАО НАНУ у Києві.

Станцію лазерної локації "Сімеїз" було засновано 1988 року Кримською астрофізичною обсерваторією (нині – Науково-дослідний інститут "Кримська астрофізична обсерваторія" Міністерства освіти і науки України). Станція розташована

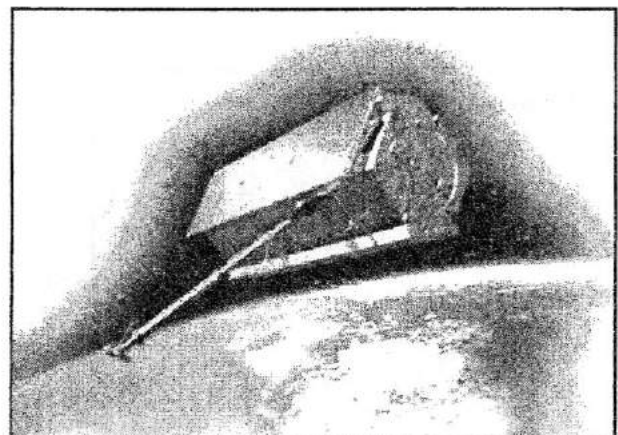


Рис. 1, ж. *TerraCap*



Зовсім недавно, 2006 року, на базі лабораторії лазерної спектроскопії, яку заснував доктор фіз.-мат. наук М. В. Данилейко та лабораторії фізики лазерних середовищ, яку створив доктор фіз.-мат. наук Є. О. Тихонов, було утворено відділ лазерної спектроскопії (зав. відділом доктор фіз.-мат. наук А. М. Негрійко) та відділ когерентної і квантової оптики (зав. відділом член-кореспондент НАН України Л. П. Яценко).

У 1995 році в Інституті створено відділ фізики біологічних систем під керуванням доктора фіз.-мат. наук В. М. Харкянена, який розгорнув активну і плідну роботу у новому для Інституту напрямі.

Відділ теоретичної фізики, який до утворення Інституту теоретичної фізики, очолював академік О. С. Давидов, з 1974 року працює під керуванням члена-кореспондента НАН України П. М. Томчука.

Треба зазначити, що від початку створення Інституту теоретичним дослідженням у ньому приділяли велику увагу, в Інституті працювали теоретичні відділи, якими керували відомі учені. У перші роки діяльності Інституту теоретичними дослідженнями в Інституті керував професор Л. Й. Кордиш, далі професор Л. Я. Штрум, згодом академіки С. І. Пекар та О. С. Давидов. Певний час у складі Інституту працював теоретичний відділ

елементарних частинок під керуванням (за сумісництвом) академіка М. М. Боголюбова. У складі Інституту були також теоретичні відділи під керуванням академіка О. Г. Ситенка, доктора фіз.-мат. наук В. В. Владімірова, лабораторія теорії недосконалих кристалів під керуванням доктора фіз.-мат. наук В. Л. Вінецького. В Інституті працювали у різні часи такі відомі теоретики: члени-кореспонденти НАН України К. Б. Толпиго, М. Ф. Дейген, доктори фіз.-мат. наук Е. Й. Рашба, А. Ф. Лубченко та інші.

У травні 1986 року працівники Інституту активно долучились до робіт з ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС. Багато його працівників брали участь у роботах, які виконувала НАН України. Великий внесок у них з перших днів аварії зробив заступник директора Інституту В. І. Шаховцов. Він разом із Ю. М. Козиревим на певних етапах були координаторами дій НАН України у Чорнобилі.

За умов економічної нестабільності початку–середини 1990-х років відбулися значні зміни кадрової структури Інституту. Майже припинився приплив до Інституту наукової молоді. Багато молодих, талановитих і працездатних фахівців, не маючи достатньої платні за наукову діяльність, вимушено змінили фах. Майже нездоланною стала проблема

## МІЖНАРОДНИЙ РІК АСТРОНОМІЇ 2009

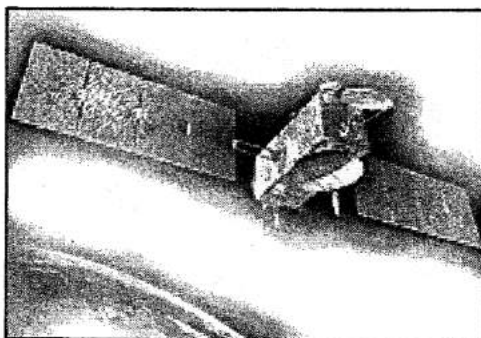


Рис. 1, з. Джейсон

на узбережжі Чорного моря у смт. Сімеїз. Також на кримському узбережжі розташована станція лазерної локації “Кацивелі”. Її засновано 1984 року на базі Кримської наукової станції Фізичного інституту Академії наук СРСР (ФІАН). Від 2000 року ця станція є структурною одиницею Кримської лазерної обсерваторії Головної астрономічної обсерваторії НАН України.

Станція лазерної локації “Львів” розпочала роботу 1987 року в Астрономічній обсерваторії Львівського національного університету імені Івана Франка. Станція розташована на території Астрономічної обсерваторії університету у селищі Брюховичі, 10 км північніше від Львова.

Українська мережа є регіональною складовою міжнародної мережі, що входить до Міжнародної служби лазерної локації.



забезпечення житлом молодих науковців. На жаль, багато талановитих учених у той час залишили з Інституту.

Водночас, демократичні перетворення в державі відкрили нові можливості для роботи науковців. У 1990-х роках стали звичними конкурси на здобуття грантів ДКНТ України, а згодом Міністерства науки і технологій України. На перехідному етапі значну допомогу Інститут одержав від міжнародних фондів. Значно розширилися міжнародні контакти, щороку багато працівників Інституту відвідують іноземні наукові центри, де працюють разом із колегами зі США, Європи, Азії.

Найскладнішими були умови роботи в Інституті в період 1992–1998 рр. Узимку середня температура повітря в приміщеннях була помітно нижча, ніж треба для комфортного самопочуття. Час від часу вимикали електроенергію. Майже припинилося забезпечення наукових досліджень кріорідинами. Не вистачало витратних матеріалів, деталей для поточного ремонту обладнання, реактивів. Наукова бібліотека майже не одержувала нових надходжень (крім допомоги від Міжнародного Наукового фонду). Особливо економічні труднощі позначились на рівні експериментальних робіт, їхній

складності, насиченості сучасними приладами для проведення експериментів. Проте роботи продовжувалися. Працювали наукові семінари, точилися дискусії, велися експерименти та теоретичні розрахунки, друкувалися статті, монографії.

Упродовж останніх років НАН України вдалося переломити негативні тенденції у діяльності наукових установ. Щороку зростало фінансування, хоча й нині воно ще далеке від потрібного рівня. За державні кошти були придбані деякі унікальні прилади для центрів колективного користування. Інститут фізики став базою для фемтосекундного лазерного комплексу вартістю майже один мільйон доларів США, на базі якого створено Центр колективного користування приладами Інституту. За власні кошти Інституту вдалося відновити, хоч і в обмеженій кількості, виробництво зрідженого гелію, здійснити вкрай потрібні ремонтні роботи корпусів Інституту, енергетичних і теплових мереж. Наукові підрозділи активно використовують можливості міжнародної кооперації для залучення додаткових коштів на придбання обладнання та матеріалів. Хотілося б сподіватися, що позитивні тенденції збережуться й надалі.

## МІЖНАРОДНИЙ РІК АСТРОНОМІЇ 2009

Принцип лазерної локації полягає у вимірюванні часу поширення лазерного променя до супутника і назад.

Для супутника Аджісай (у перекладі з японської мови означає “тортензія”), висота орбіти якого становить 1490 км, тривалість проходження лазерного променя в обидва боки – 0,019 с. Для порівняння, мандрівка променя до Сонця і назад триватиме 16 хв, а у випадку Місяця – 2,6 с.

Аналогічні вимірювання часу проходження променя станціями мережі дають змогу надзвичайно точно відтворювати орбіту супутника.

Кожна сучасна лазерно-локаційна станція має такі підсистеми: лазер, систему детектування, службу часу, ГПС прив’язку, передавальну та приймальну оптику, обладнання для ведення телескопа, програмне забезпечення для ведення телескопа та опрацювання даних.

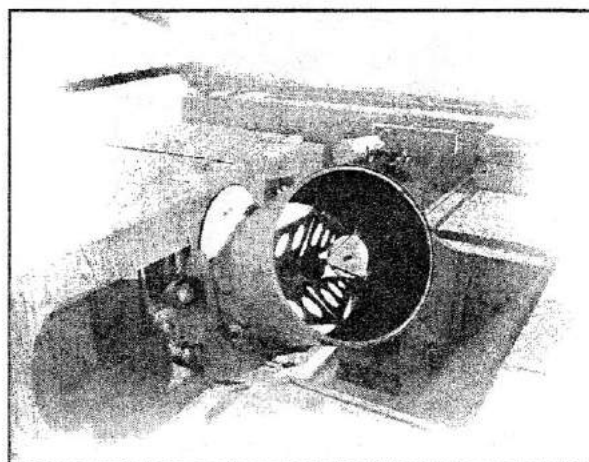


Рис. 2. Станція лазерної локації ШСЗ “Львів”





### З наукового доробку вчених Інституту фізики НАН України

Становлення та розвиток Інституту фізики НАН України відбулися завдяки активній творчій праці вчених, які у різний час працювали в Інституті, та його керівників. Як уже згадувалося, першим директором з часу заснування Інституту (1929) і до арешту (1938) був академік О. Г. Гольдман. Згодом директорами Інституту були О. Г. Миселюк (1938–1941), академіки Г. В. Пфейффер (1941–1944), О. І. Лейпунський (1944–1949), М. В. Пасічник (1949–1965), А. Ф. Прихотько (1965–1970), М. Т. Шпак (1970–1987), М. С. Бродин (1987–2006), член-кореспондент НАН України І. О. Солошенко (2006–2007). Від 2007 року Інститут очолює член-кореспондент НАН України Л. П. Яценко.

В Інституті працювали відомі фізики академіки В. В. Єременко, О. Ф. Німець, О. Г. Ситенко, О. В. Снітко, члени-кореспонденти АН України В. Є. Дяченко, О. О. Харкевич та інші.

Учені Інституту зробили вагомий, а в деяких випадках вирішальний внесок у розвиток багатьох напрямів сучасної фізичної науки. Добре відомі їхні фундаментальні дослідження в багатьох галузях ядерної фізики та фізики напівпровідників, фізики

твердого тіла та рідких кристалів, фізичної і квантової електроніки та фізики плазми.

Про вагомість наукових досягнень Інституту фізики НАН України свідчить той факт, що в ньому найбільше в країні (п'ять) офіційно зареєстрованих наукових відкриттів.

У 1965 році зареєстровано відкриття “Явище холодної електронної емісії при проходженні струму через острівцеві металічні плівки”, диплом № 31 з пріоритетом від 26.06.1963 року (П. Г. Борзяк, О. Г. Сарбей і Р. Д. Федорович).

У 1966 році зареєстровано відкриття “Явище розщеплення невироджених молекулярних термів в кристалах, що мають дві або більше молекул в елементарній комірці” (“давидовське розщеплення”), диплом № 50 з пріоритетом від 1951 року Автор відкриття – О. С. Давидов. Відкриттям передбачалось виникнення в спектрах поглинання мультиплетних смуг, кількість яких співпадає з кількістю молекул у комірці кристалу, що було експериментально підтверджено у відділі А. Ф. Прихотько та багатьох інших лабораторіях.

Офіційно відкриттям визнано також “Явище багатозначності анізотропії властивостей напівпровідникових кристалів в сильних електричних полях, зумовленої особливостями їх зонної струк-

## МІЖНАРОДНИЙ РІК АСТРОНОМІЇ 2009

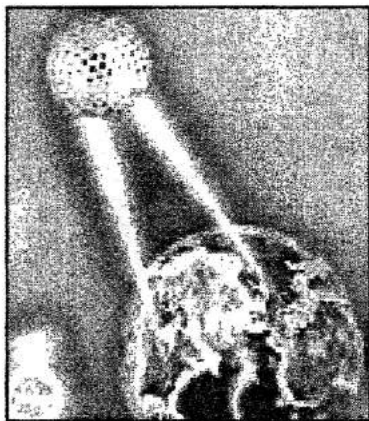


Рис. 3. Принцип лазерної локації ШСЗ

Лазерна локація штучних супутників Землі завжди розвивалася, використовуючи найновіші наукові і технічні досягнення. Завдяки чому точність результатів спостереження змінювалася від декількох метрів на початку свого становлення до кількох міліметрів нині.

Лазерна локація ШСЗ є одним із сучасних методів вивчення руху спеціалізованих супутників у полі тяжіння Землі. Результати віддалеметрії використовують для розв'язання широкого кола теоретичних і практичних задач. Насамперед, це задачі геодезії, тобто вивчення фігури та розмірів Землі; геодинаміки, вивчення горизонтальних та вертикальних рухів тектонічних плит, льодового покриву та світового океану; космічної навігації, що забезпечує грамотне та безпечне керування літальними апаратами.



тури”, диплом № 294 (пріоритет від 10.06.1971 року в частині теоретичного обґрунтування і від 2.06.1980 року в частині експериментального виявлення). Явище виявляється в нестійкості однорідного розподілу електричного поля в кристалі та виникненні шарів з різними за величиною та напрямом електричними полями. Серед авторів відкриття О. Г. Сарбей, співпрацівники Інституту фізики напівпровідників АН УРСР та німецькі вчені.

С. І. Пекар, працюючи в Інституті, передбачив “Явище розповсюдження додаткових світлових хвиль (хвиль Пекара) в кристалах”, яке також знайшло експериментальне підтвердження в лабораторіях Інституту і визнано відкриттям, диплом № 323 з пріоритетом від 23.05.1957 року.

У держреєстрі СРСР зареєстровано наукове відкриття Е. Й. Рашби “Явище комбінованого резонансу в кристалах”, диплом № 327 з пріоритетом від 7.10.1959 року, зроблене в ІФ АН УРСР, і яке полягає в поясненні резонансних переходів між станами з різними проекціями спінів носіїв струму у напівпровідниках під дією змінного електричного поля завдяки спин-орбітальної взаємодії.

В Інституті одержано також багато нових наукових результатів у різних галузях фізичної науки, які добре відомі фахівцям і свого часу мали значний резонанс у наукових колах.

Уже перші роки існування Інститут як науково-дослідна установа мала значні здобутки. У довоєнний період О. Г. Гольдман за участі В. К. Бернацького, В. І. Ляшенка, Г. А. Федоруса досліджував фізичні явища на контакті метал–напівпровідник у твердих випростувачах, зокрема, міднозакисних (купроксних). Особливе зацікавлення до цих явищ виник після відкриття В. І. Ляшенком приелектродних стрибків потенціалу, не пов’язаних із хімічним запірним шаром. Це була нова для фізики напівпровідників галузь. Дослідження явищ на контакті метал–напівпровідник було успішно доведено до створення кількісної теорії контактів (С. І. Пекар), яка добре узгоджувалась із експериментами і не втратила свого значення досі. В. Є. Лашкар'юв 1941 року опублікував статтю “Исследование запирающих слоев методом термозонда” (Известия АН СССР. Сер. физ. Т. 5, 1941) та у співавторстві з К. М. Косоноговою працю “Влияние примесей на вентильный фотоэффект в закиси меди”. Він

встановив, що носії струму по обидва боки “запірного шару”, розташованого паралельно до межі мідь–закис міді, мають протилежний знак. Ці роботи треба розглядати як піонерські з відкриття і дослідження *p-n*-переходу.

Як результат детальних фундаментальних досліджень в Інституті були розроблені нові фотоелементи високої чутливості на базі сульфідів срібла (В. К. Бернацький, А. Ф. Мальнев, Д. С. Гейхман). Дослідне виробництво Інституту випускало такі фотоелементи для потреб понад п’ятдесяти промислових підприємств СРСР аж до початку 1970-х років.

Дослідження електронних та йонних процесів у вакуумі та розріджених газах посідали важливе місце у тематиці Інституту з початку його заснування. У відділі фізики електродних процесів вивчали процеси йонізації атомів та нейтралізації йонів на поверхні металу у вакуумі, процеси емісії термо-, фото- та вторинних електронів активними катодами у вакуумі. Важливим досягненням було створення 1931 року Н. Д. Моргулісом теорії йонізаційного манометра та розроблення 1934 року першої квантовомеханічної теорії поверхневої йонізації атомів. Підсумком робіт із катодного розпилення та йонно-електронної емісії був розвиток уявлень про них як про нерівноважні процеси, які не описувались відомою на той час теорією локального розігріву. Н. Д. Моргуліс та П. М. Марчук 1949 року експериментально відкрили явище термоемісійного перетворення теплової енергії в електричну.

У відділі рентгено- і металофізики вивчали фізику рентгенівських променів та їх застосування у дослідженні металів. Проводили експерименти з точного вимірювання довжини хвилі рентгенівських променів, вивчали показники заломлення рентгенівських променів методом тотальрефлектометра. Цим же методом було досить точно визначено відношення  $e/m$  для електронів. За участі С. Д. Герцрікена був розроблений метод одержання скла “Гетан”, прозорого для м’яких рентгенівських променів. Використання його вітчизняною промисловістю для виготовлення рентгенівських трубок дало змогу відмовитись від імпорту такого скла.

У галузі металофізики вивчали дифузію металів і сплавів у твердому стані, розроблено кіль-



кісну теорію дифузії у суміші порошоків. Уперше одержано дані про корозію жаростійких та кислотостійких сплавів заліза методами дифракції швидких електронів та електронографії.

У післявоєнний період в Інституті поряд з існуючими сформувався та одержали помітний розвиток кілька нових великих наукових напрямів.

Завідувачем відділу спектроскопії Інституту 1944 року стала А. Ф. Прихотько. Вона та її колеги широко розгорнули низькотемпературні дослідження спектрів молекулярних кристалів, результати яких була експериментальна база для формування нового наукового напрямку – фізики молекулярних екситонів. Цей напрям утвердився тоді, коли О. С. Давидов розробив теорію молекулярних екситонів і став важливим для розвитку фізики твердого тіла. Термін “давидовське розщеплення” широко відомий у науковій літературі, а саме явище, як уже згадувалося, зареєстровано 1966 року як відкриття.

За цикл фундаментальних експериментальних і теоретичних праць “Екситони в кристалах” колектив учених (А. Ф. Прихотько, О. С. Давидов, В. Л. Броуде, М. С. Бродин, Е. Й. Рашба, А. Ф. Лубченко та Є. Ф. Гросс, Б. П. Захарченя, О. О. Каплянський) 1966 року нагородили Ленінською премією. А. Ф. Прихотько із співпрацівниками свого відділу і теоретиками Інституту теоретичної фізики НАН України виконала важливі дослідження спектрів різних модифікацій кристалічного кисню. Аналіз спектрів поглинання монокристалів кисню, які було вперше вирощено, дав змогу встановити, що в кристалі існують зв’язані стани екситонів – молекулярні біекситони. За роботу “Елементарні збудження і взаємодія між ними в кристалах” А. Ф. Прихотько, Л. Й. Шанський, разом із І. Я. Фуголь, В. Г. Манжелієм (ФТІНТ НАН України) та Ю. Б. Гайдідеєм, В. М. Локтевим (Інститут теоретичної фізики НАН України), одержали Державну премію УРСР в галузі науки і техніки 1977 року.

Систематичними дослідженнями дисперсії показника заломлення деяких кристалів М. С. Бродин, А. Ф. Прихотько та М. С. Соскін уперше встановили істотне порушення дисперсійних співвідношень Крамерса–Кроніга в околі екситонних смуг за низьких температур. Було виявлено осциляційний характер інтенсивності низькотемпера-

турного екситонного поглинання (особливо яскраво виражений у кристалі антрацену). Ці принципово нові ефекти пов’язані з явищем просторової дисперсії, теорію якого розробив С. І. Пекар, і яка передбачала існування додаткових світлових хвиль в області екситонного поглинання в кристалах. Детальні дослідження ефектів просторової дисперсії в напівпровідникових кристалах зробила М. І. Страшнікова.

На початку 1960-х років уперше спостерігали екситонну люмінесценцію молекулярних кристалів, яка зумовлена випромінювальними переходами з екситонних зон в основний стан. Дослідженнями М. Т. Шпака, О. Ф. Шеки, Н. І. Остапенко встановлено, що екситонна люмінесценція спостерігається лише в надзвичайно чистих і досконалих молекулярних кристалах. Порівняльний аналіз спектрів поглинання та люмінесценції дав змогу точно визначити енергію чисто екситонних переходів, коливальні частоти в основному та збудженому стані, параметри екситонних зон, а також виявити новий вид збуджених станів, пов’язаних із збуренням домішками основних молекул кристала, – так звані локальні екситони.

У дослідженнях, які проведено у 1970–1980-х роках, отримано нові фундаментальні результати про колективну взаємодію за умов сильного збудження об’ємних напівпровідників. Показана можливість конденсації екситонів у шаруватих кристалах, виявлено основні ознаки існування електронно-діркової плазми в групі напівпровідників  $A_2B_6$ . У випадку короткого часу життя нерівноважних носіїв відкриті ефекти самоорганізації крапель електронно-діркової рідини (І. В. Блонський, М. Г. Мацко, В. В. Тищенко).

На початку 1990-х років почали досліджувати екситонні явища у низькорозмірних структурах (епітаксійні плівки, квантові точки, квантові ями, надгратки), які дали низку важливих результатів. З’ясувалося, що екситони в надвузьких квантових ямах  $ZnS-ZnSe-ZnS$  можна розглядати як квазі-частинки у просторі, розмірність якого залежить від анізотропії кулонівської взаємодії (М. С. Бродин, С. Г. Шевель, В. В. Тищенко).

Великий внесок було зроблено вченими Інституту у повоєнний період у теорію екситонів, екситонного поглинання світла кристалами. Крім вже згаданих результатів С. І. Пекара і О. С. Давидо-





ва, С. І. Пекар увів термін полярон для квазічастинки, утвореної електроном і створюваними ним деформаціями у кристалі, що рухаються разом із електроном. Він також заклав підґрунтя методу ефективної маси, спільно з М. Ф. Дейгеном сформульоване поняття деформаційного потенціалу у напівпровідниках. Теорію екситонного поглинання світла розробляли в роботах Е. Й. Рашби (“ефект Рашби” у екситонних спектрах молекулярних кристалів з домішками), А. Ф. Лубченка, В. Л. Вінецького, Б. М. Ніцовича та інших. Значний внесок у теорію кристалів зробив К. Б. Толпиго, який, до речі, вперше увів у фізику ідею поляритону – змішаного стану кристалічного збудження і світла, що поширюється у кристалі (розглянуто 1950 року для оптичних фоновів).

За ініціативи та безпосередньої підтримки А. Ф. Прихотько 1967 року в Інституті розпочали досліджувати напівпровідникові властивості молекулярних кристалів та вивчати роль екситонів Френкеля в фотопровідності органічних кристалів. Саме цими роботами було започатковано в Україні новий науковий напрям з фізики органічних напівпровідників. Надалі ці дослідження активно розвивали у відділі молекулярної фотоелектроніки під керуванням М. В. Курика.

З початку 1960-х років в Інституті почали проводити дослідження з радіоспектроскопії твердих тіл. Це були дослідження електронного парамагнетного резонансу (ЕПР) центрів забарвлення лужногалоїдних кристалів та ЕПР напівпровідників, які започаткував М. Ф. Дейген із співпрацівниками (далі ця група перейшла до Інституту напівпровідників НАНУ), дослідження ЕПР радіаційних центрів у кристалах (С. З. Шульга з колегами, далі ця група перейшла до Інституту ядерних досліджень НАНУ), дослідження ядерного квадрупольного резонансу (ЯКР) кристалів (Д. Ф. Байса зі співпрацівниками, ЕПР, ЯКР, антиферромагнетний резонанс у квазідвовимірних системах і шаруватих кристалах, антиферромагнетиках (С. М. Рябченко з колегами). За ці роботи С. М. Рябченка і А. Ф. Лозенка нагородили Державною премією України у галузі науки і техніки 1991 року.

На початку 1970-х років в Інституті вперше в СРСР було розпочато роботи у галузі магнетооптичних досліджень кристалів методами оптичного детектування магнетного резонансу, які дали

змогу різко підвищити чутливість методів магнетного резонансу і проводити дослідження, недоступні окремо оптичним або магнеторезонансним методам. Вивчали кінетику заселення спінових підрівнів оптично збудженого стану, спінову релаксацію основного стану, структуру оптичних смуг поглинання ряду рідкісноземельних йонів (А. В. Комаров, С. М. Рябченко). У ході досліджень наприкінці 1970-х було відкрито нове явище – гігантське спінове розщеплення енергетичних зон носіїв струму та екситонних зон напівпровідників із частковим заміщенням катіонних позицій магнетними йонами (так звані магнетозмішані (інші назви “напівмагнетний” або “розчинений магнетний”) напівпровідники) (А. В. Комаров, С. М. Рябченко, О. В. Терлецький, І. І. Жеру, Р. Д. Іванчук). Дослідження цього явища та його наслідків, таких як можливість феромагнетного впорядкування розчинених магнетних напівпровідників, які передбачили Е. А. Пашицький і С. М. Рябченко 1979 року, проводять у багатьох лабораторіях світу. Нині розглядають реальні можливості його застосування у спінтроніці – новому напрямі фізики і техніки.

У теоретичних дослідженнях в Інституті фізики у післявоєнні роки за участі О. Г. Ситенка, П. М. Томчука, О. О. Чумака, Б. І. Лева, В. А. Шендеровського, В. М. Пергаменщика, В. М. Старкова, С. С. Рожкова, В. П. Лукомського, В. В. Владімірова, В. Л. Вінецького, А. І. Щедрина, В. С. Машкевича, М. В. Кухтарева, Е. А. Пашицького та інших у галузі теорії ядра, теорії лазерної генерації, фізики фоторефракції, теорії надпровідності, фізики напівпровідників, напівпровідникової плазми та йонних пучків, газового розряду, теорії молекулярних та рідких кристалів одержано першорядні результати. Як приклад, можна згадати теорію гарячих електронів у острівцевих металевих плівках та металевих мікро- та наночастинках (П. М. Томчук). Іншим прикладом є праця М. В. Кухтарева, В. Б. Маркова, С. Г. Одулова, М. С. Соскіна, В. Л. Вінецького “Holographic storage in electro-optic crystals. I. Steady state”, що була опублікована у *Ferroelectrics* 1979 року. Там було одержано рівняння фоторефракції, які нині деколи називають “київськими рівняннями”, та яка має найбільшу кількість посилань за всю історію Інституту.



Величезний досвід вивчення органічних молекул і кристалів, який набули представники наукової школи А. Ф. Прихотько, дав змогу розгорнути в Інституті, починаючи з 1970–1980-х років, широкі дослідження в галузі фізики рідких кристалів.

Перші роботи у цьому напрямі було виконано у відділі молекулярної фотоелектроніки за ініціативи М. В. Курика на початку 1970-х років. Рідкі кристали стали предметом досліджень відділу електроніки твердого тіла (О. Г. Сарбей, О. К. Фролова) та лабораторії спектроскопії кристалів під керівництвом Г. В. Клімушевої, а також відділу теоретичної фізики (Б. І. Лев, В. М. Пергаменщик та ін). Бурхливий розвиток цього напрямку в Інституті значною мірою зумовлений активною науковою та організаційною діяльністю доктора фіз.-мат. наук О. Д. Лаврентовича, який від початку 1990-х років плідно працює в Інституті рідких кристалів Кентського університету (США), а з 2003 року очолює його.

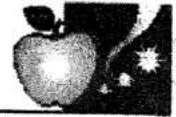
Від часу як керівником відділу фізики кристалів 1995 року став Ю. О. Резніков, дослідження рідких кристалів є основною тематикою цього відділу. Найвідомішим результатом є відкриття Ю. О. Резнікова та В. Ю. Решетняка (Київський національний університет імені Тараса Шевченка) та ін. на початку 1990-х років ефекту фотоорієнтації рідких кристалів полімерною поверхнею, опроміненою лінійно поляризованим світлом. Фотоорієнтація рідких кристалів має велике практичне значення як реальна альтернатива методу натирання орієнтуючих поверхонь у технології рідкокристалічних дисплеїв. Важливим є дослідження гетерогенних рідкокристалічних систем, зокрема суспензій мікро- та наночастинок у РК матрицях (Ю. О. Резніков, О. В. Ярошук). У відділі розробляють нові рідкокристалічні пристрої, серед них перший у світі надгнучкий холестеричний дисплей, створено холестеричні дисплеї з надмалими керуючими напругами (~ 10 V). Властивості йонних рідких кристалів вивчають у лабораторії Г. В. Клімушевої, визначають структури молекул і кристалів нових хіральних сполук (В. І. Кулішов).

Розвиток нового напрямку фізики рідких кристалів – створення матеріалів, утворених шляхом самоорганізації колоїдних частинок у рідкому кристалі, здійснюють у відділі молекулярної фотоелектроніки під керівництвом В. Г. Назаренка.

У 1940–1960 роки в Інституті широко розгорнулись дослідження у галузі ядерної фізики. У цей час в Інституті вводять у дію низку унікальних ядерно-фізичних дослідних комплексів – нейтронні генератори для досліджень із швидкими нейтронами, циклотрон, ядерний реактор. На цих установках вчені-ядерники Інституту одержали низку принципових результатів, зробили вагомий внесок у розвиток сучасних уявлень про структуру ядра та ядерні реакції. Проведені на циклотроні у 1956–1959 рр. дослідження прямих ядерних реакцій дали змогу розробити теорію таких реакцій за участю дейтронів та розвинути теорію прямих ядерних реакцій за участі поляризованих частинок (1959–1963 рр., О. Г. Ситенко). Було досліджено пружне та непружне розсіяння та захоплення нейтронів багатьма ядрами, одержано квантові характеристики рівнів атомних ядер (М. В. Пасічник, О. Ф. Німець та ін.). Важливі результати одержали у теорії атомного ядра О. С. Давидов і О. Г. Ситенко. Після утворення на базі відділів Інституту фізики Інституту теоретичної фізики та Інституту ядерних досліджень роботи у галузі ядерної фізики продовжуються у цих установах.

За короткий час після відкриття лазерів значне місце у наукових дослідженнях Інституту зайняли роботи з квантової електроніки, нелінійної оптики та голографії. Роботи у цих напрямках розвивали у відділах оптичної квантової електроніки (керівник – М. С. Соскін), нелінійної оптики (М. С. Бродин), фотоактивності (М. Т. Шпак). У 1965–1966 роках уперше було створено лазери з перебудовою частоти на основі твердих активних середовищ (рубін, неодимове скло) та розроблено нові методи лазерної спектроскопії середовищ з неоднорідно уширеними спектрами (В. Л. Броуде, М. С. Соскін, В. Й. Кравченко). Наприкінці 1960-х – початку 1970-х років було розроблено метод швидкісної перебудови спектру випромінювання лазера упродовж імпульсу накачування. Такі світ-лазери значно розширили можливості лазерної спектроскопії.

Експериментально та теоретично вивчали механізми підсилення та генерації світла у розчинах органічних барвників (М. Т. Шпак, Є. О. Тихонов), продовжували дослідження нелінійних оптичних явищ під час взаємодії електромагнетного випромінювання великої інтенсивності з розчинами органічних барвників, розпочато ще у середині 1960-х



років, коли Є. О. Тихонову вдалося одному із перших у СРСР здійснити генерацію лазера на барвниках з використанням розчинів синтезованих в Україні ціанінових барвників.

За розроблення фізичних основ керування частотою вимушеного випромінювання та створення комплексу лазерів із налаштованою частотою М. С. Бродин, М. С. Соскін, В. Й. Кравченко, Є. О. Тихонов, В. Я. Резніченко, М. Т. Шпак одержали Державну премію УРСР у галузі науки і техніки 1974 року.

На початку 1970-х років в Інституті розпочалися роботи у галузі фізики високостабільних лазерів (М. В. Данилейко). На підставі результатів досліджень резонансних явищ у кільцевих лазерах із нелінійним поглинанням видимого та інфрачервоного діапазону були створено, досліджено та виготовляли прилади в Інституті перші в СРСР високостабільні кільцеві лазери, які мали високі метрологічні характеристики і їх було рекомендовано до використання як вторинні еталони частоти (М. В. Данилейко, В. П. Федін, О. М. Фаль, Л. П. Яценко). Надалі було запропоновано новий метод внутрішньо резонаторної частотно-модуляційної спектроскопії і розроблено на його основі стабілізовані газові лазери зі стабільністю частоти  $7 \cdot 10^{-15}$  за часу усереднення 100 с (Л. П. Яценко, М. В. Данилейко, О. М. Фаль).

У 1990-роках значного розвитку у роботах лабораторії лазерної спектроскопії набули дослідження у галузі когерентної та квантової оптики. Наприкінці 1980-х В. І. Романенко, Л. П. Яценко висунули ідею про здійснення вимушеного світлового тиску на атоми у полі зустрічних амплітудно-модульованих хвиль. Пропозицію було реалізовано шляхом першого здійснення вимушеного світлового тиску на атом натрію у біхроматичному лазерному полі (В. С. Войцехович, М. В. Данилейко, А. М. Негрійко, Л. П. Яценко). Згодом ці автори також показали теоретично і підтвердили експериментально, що використання вимушених переходів дає змогу передати значний імпульс від лазерного поля до молекули, чого зробити у традиційних схемах здійснення світлового тиску у лазерних полях не вдавалося. Нині продовжуються роботи із вивчення динаміки атома і молекули у когерентних лазерних полях, пошук нових квантових реперів для лазерних стандартів частоти і

довжини. Зокрема, запропоновано та обґрунтовано нові методи лазерного контролю населеностей квантових рівнів атомів і молекул, які ґрунтуються на використанні адіабатичної еволюції системи атом + когерентне лазерне поле (Л. П. Яценко, В. І. Романенко).

Уперше 1965 року створено лазери на змішаних однорідних напівпровідниках, які під час двофотонного накачування забезпечують перебудову частоти генерації у видимій та ближній ультрафіолетовій ділянках спектра. Показано, що основним каналом їх генерації є екситонні переходи. Розвинута двофотонна спектроскопія напівпровідників групи  $A_2B_6$ , за допомогою якої одержано нову інформацію про енергетичну структуру кристалів. Широко досліджували явища самодії лазерного випромінювання в напівпровідникових та лужногалоїдних кристалах. Встановлено та досліджено основні механізми нелінійної зміни показників заломлення в низці напівпровідників групи  $A_2B_6$ ,  $A_3B_5$  та ін. (М. С. Бродин, А. О. Борщ, В. Я. Резніченко).

У 1960–1980-х роках в Інституті розробляли кілька напрямів досліджень у галузі голографії та її застосувань. На кристалах CdS здійснений запис динамічних ґраток з рекордною швидкістю – до  $5 \cdot 10^{-9}$  с. Запис здійснювався шляхом збудження електрона у зону провідності під час двофотонного фотопереходу (М. С. Бродин, М. С. Соскін, С. Г. Одулов, А. О. Борщ). Важливим результатом у галузі динамічної голографії стало виявлення, теоретичне пояснення та експериментальна реалізація на низці середовищ нового типу перекачки енергії лазерних пучків – нестационарного перекачування енергії (В. Л. Вінецький, М. В. Кухтарев, С. Г. Одулов, М. С. Соскін). В Інституті розвивають новий напрям – прикладну голографію, який нині успішно розробляють у Міжнародному центрі “Інститут прикладної оптики” НАН України.

За роботи зі створення фізичних основ динамічної голографії та нових методів перетворення просторової структури світлових пучків 1982 року М. С. Бродина, М. С. Соскіна, С. Г. Одулова нагородили Державною премією СРСР.

Від початку 1980-х років в Інституті активно розвивають методи нелінійної спектроскопії кристалів із використанням динамічних ґраток. Групою динамічної голографії під керуванням С. Г. Оду-





лова за участі його молодих колег К. В. Щербіна, О. М. Шумелюка, М. Ю. Гулькова та ін. одержані результати, які визнані у світі. Зокрема, доведено існування в кристалах без центру інверсії особливих електричних струмів, спричинених антисиметричними компонентами об'ємного фотогальванічного ефекта; створено новий клас когерентних оптичних генераторів – голографічних лазерів.

Перші експерименти, що 1989 року виконали В. Ю. Баженов і М. В. Васнецов, із дослідження “оптичних вихорів” привели до створення синтезованої дифракційної ґратки з роздвоєнням центральної смуги. Така ґратка стала прототипом оптичних елементів, які нині використовують у всьому світі у дослідях з сингулярної оптики.

Теоретичний та експериментальний розвиток сингулярної оптики у Інституті (М. С. Соскін, М. В. Васнецов) став помітною віхою у роботі відділу оптичної квантової електроніки. У останні роки тут створено засади поляризаційної та динамічної сингулярної оптики, яка дала змогу вперше вивчити процес народження оптичних вихорів у нестационарних полях. За дослідження з утворення дислокацій хвильових фронтів у світлових пучках під час їхньої взаємодії з нелінійно-оптичними кристалами М. С. Соскін та М. В. Васнецов одержали премію НАН України ім. А. Ф. Прихотко.

І. П. Теренецька досліджує вплив лазерного випромінювання на кінетику фотосинтезу вітаміну D у різних середовищах, нею розвинуто і запатентовано метод вимірювання біологічно активної сонячної і штучної УФ радіації.

У післявоєнні роки продовжували дослідження у галузі фізичної електроніки, переважно спрямовані на розроблення ефективних катодів, вивчення їх оптичних та фотоелектричних властивостей. Н. Д. Моргуліс та П. М. Марчук, досліджуючи у 1949–1951 рр. термоелектронну емісію вольфраму і молібдену в парах цезію, відкрили новий, так званий термоемісійний, метод прямого перетворення теплової енергії в електричну, який згодом використовували у багатьох лабораторіях світу для створення високоефективних генераторів електроенергії, зокрема, для космічних застосувань.

У 1950-ті роки під керівництвом Н. Д. Моргуліса за участі Ю. Г. Птушинського було розпочато сис-

тематичні дослідження електронно-адсорбційних явищ на поверхні полікристалів тугоплавких металів. Уперше в СРСР у лабораторну практику було впроваджено надвисокий вакуум, а також нові прогресивні методики дослідження властивості поверхні. Було встановлено закономірності зміни роботи виходу та теплоти адсорбції під час покриття поверхні вольфраму атомами лужних і лужноземельних елементів, а також 100 % конденсація атомів металу на атомарно-чистій поверхні іншого металу.

У 1960-х роках почали досліджувати електронно-адсорбційні явища на окремих гранях металічних монокристалів, які показали значний вплив атомної структури підкладки на властивості адсорбційних систем (А. Г. Наумовець, Ю. Г. Птушинський, В. К. Медведєв, О. А. Панченко, О. Г. Федорус). Дещо згодом розпочали дослідження за низьких температур механізмів формування самих адсорбованих плівок, поверхневої дифузії адсорбованих атомів, вивчення структури плівок методом дифракції повільних електронів.

Ще в 1940–1950-ті рр. Н. Д. Моргуліс та П. Г. Борзяк розкрили природу високої ефективності срібно-киснево-цезієвих та сурм'яно-цезієвих фотокатодів. Уперше було знайдено спосіб опису оптичних властивостей катодів за допомогою оптичних констант, які одержували за оригінальною методикою, що привело до відкриття “оптичного” підсилення чутливості.

Відкриття, що зробили П. Г. Борзяк, О. Г. Сарбей та Р. Д. Федорович, стало підґрунтям для розвитку нового напрямку – фізики диспергованих металічних плівок. Колектив учених Інституту (П. Г. Борзяк, Ю. О. Кулюпін, Г. А. Катрич, О. Г. Сарбей, Р. Д. Федорович, С. О. Непійко, П. М. Томчук) за дослідження у цій галузі нагородили Державною премією України в галузі науки і техніки 1986 року. Цей напрям успішно розвивають й нині.

Від початку 1960-х років в Інституті почали дослідження з фізики гарячих електронів у напівпровідниках. Вивчали явища переносу в сильних електричних та магнітних полях (В. М. Бондар, Ю. Г. Зав'ялов, Л. Ф. Куртенко, О. Г. Сарбей та ін.), вплив розігріву носіїв на властивості електронно-діркової плазми (В. М. Бондар, Н. Кононенко, А. І. Щедрін, В. В. Владіміров), нелінійно-



оптичні ефекти, зумовлені розігрівом електронів ІЧ-світлом (В. М. Порошин, В. М. Васецький, О. Г. Сарбей). Було розроблено методику балістичних фононів (Б. О. Данильченко, В. М. Порошин, О. Г. Сарбей) та досліджено їхню взаємодію з електронами у двовірних системах (Б. О. Данильченко). Під час цих досліджень було зроблено відкриття багатозначної анізотропії електропровідності.

Від середини 1960-х років в Інституті почали вивчати надпровідність. Е. А. Пашицький розвинув уявлення щодо можливостей високотемпературної надпровідності на основі електрон-плазмонної взаємодії, В. Л. Вінецький і В. Й. Кравченко вперше розглянули модель біполяронного її механізму. У середині 1970-х років за ініціативи А. Ф. Прихотько розпочали експериментальні дослідження надпровідності. Експериментально вивчено співіснування надпровідності й хвиль зарядової густини (Д. П. Моїсєєв) та побудовано теорію цього явища (О. М. Габович, О. І. Войтенко).

Активно проводили роботи у галузі радіаційної фізики. Розвинуто принципово нові методи керування властивостями матеріалів, зокрема, енергетичним спектром та просторовим розподілом дефектів у неметалічних кристалах (В. І. Шаховцов, В. Л. Вінецький, І. І. Ясковець).

Значні результати отримано з фізики плазмових джерел і фізики інтенсивних йонних пучків. Виявлення основних механізмів компенсації пучків позитивних і негативних йонів і колективної взаємодії цих пучків з компенсуючим фоном стали підґрунтям нового напрямку фізики плазми – фізики йонно-пучкової плазми (М. Д. Габович, О. А. Гончаров, Г. С. Кириченко, В. П. Коваленко, А. П. Найда, І. М. Проценко, Л. І. Романюк, І. О. Солошенко). Розрахунки кінетики основних елементарних процесів в об'ємі та на поверхнях електродів із одночасними експериментальними дослідженнями джерела негативних йонів дали змогу створити універсальний метод розрахунку емісійних характеристик таких джерел та досягти рекордних значень густини струму негативних йонів у стаціонарному режимі (І. О. Солошенко, А. І. Щедрін). Дослідження динаміки руху струменя рідини в сильних електричних полях дали змогу встановити механізми емісії йонів і крапель у нестійко-

му режимі роботи рідкометалічних джерел йонів (В. В. Владіміров, В. М. Горшков).

У 1960–1980-ті роки набули розвитку роботи зі створення високочутливих приймачів випромінювання. Уперше в СРСР було розроблено піроелектричні приймачі (Л. С. Кременчукський, В. Б. Самойлов), що успішно працювали у ІЧ-радіометрах міжпланетних автоматичних станцій “Марс”, “Венера-9”, “Венера-10”, на штучних супутниках Землі “Метеор”, а також розроблялися для детектування лазерного випромінювання для спеціальних застосувань.

Характерною особливістю досліджень Інституту у повоєнні роки було широке використання низьких температур. Це стало можливим завдяки створенню за ініціативи А. Ф. Прихотько в Інституті другої в Україні (третьої в СРСР) криогенної лабораторії та розробленні кріостатів власного виробництва. Металеві кріостати для оптичних досліджень з системами прецизійного термод контролю, розроблені в Інституті (започатковано В. П. Бабенком, а згодом розвинуто і поставлено на напівпромисловий рівень В. С. Медведєвим із колегами), і нині є одними з найкращих у світі. Їх продовжують виготовляти й нині у криогенній лабораторії Інституту, яку очолює І. П. Жарков для потреб української та світової науки.

За видатні наукові досягнення вчених Інституту нагороджено Ленінською премією, чотирма Державними преміями СРСР та 19 Державними преміями України, а також преміями НАН України та міжнародними преміями.

Із напрацювань останніх років слід згадати лазерний мікромаркувальний комплекс для прецизійної обробки надтвердих матеріалів, унікальний прилад для плазмової стерилізації матеріалів та інструментів медичного призначення – плазмовий стерилізатор, портативну лабораторію для визначення якості питної води “Акватест”, дозиметри ультрафіолетового випромінювання, вимірювачі потужності лазерного випромінювання, прототипи гнучких рідкокристалічних дисплеїв, прилад для дистанційного вимірювання температури буксових вузлів рейкового транспорту в процесі руху тощо.



### Дещо про сьогодні Інституту фізики

Нині в Інституті фізики продовжуються фундаментальні дослідження у таких основних напрямках:

*Фізика конденсованого стану, зокрема й фізику м'якої речовини.* Основну увагу приділяють оптиці та спектроскопії молекулярних, напівпровідникових та рідинних кристалів, композитних матеріалів, вивчають властивості екситонів та інших квазічастинок, квантово-розмірні структури. Досліджують високотемпературну надпровідність, магнетні явища, зокрема, магнетний резонанс, магнетопружність та магнетооптика; оптичні та магнетні явища в напівмагнетних напівпровідниках. Важливе фундаментальне та прикладне значення мають дослідження радіаційних та технологічних дефектів у напівпровідниках, розробки радіаційних технологій обробки напівпровідникових матеріалів та елементів мікроелектроніки. Новими для Інституту є дослідження у галузі фізики біологічних систем, фотоперетворень у біомолекулах, лазерної фотохімії та спектроскопії біомолекул.

*Нанофізика та наноелектроніка.* Початок широких досліджень у галузі нанофізики сягає середини 1960-х років, коли у відділі фізичної електроніки розгорнулися дослідження острівцевих плівок та було відкрито нове явище холодної емісії електронів з таких структур, офіційно визнане як відкриття. Слід зазначити, що до нанооб'єктів фактично належать також моношарові плівки, різнобічне вивчення яких співпрацівники Інституту почали ще у 1930-ті роки. Нині над проблемами нанофізики і наноелектроніки працюють більшість відділів Інституту. Досліджують оптичні, магнетні, транспортні, фотоелектричні властивості низькорозмірних структур, наночастинок різної природи. Проводять роботи у галузі молекулярної наноелектроніки, розробляють методи синтезу наноструктур.

*Фізика лазерів, нелінійна та сингулярна оптика, голографія.* Продовжують дослідження з фізики газових, твердотільних лазерів та лазерів на барвниках. Вивчають нелінійні оптичні явища у напівпровідникових, молекулярних і рідинних кристалах, фоторефрактивних матеріалах, полімерах, органічних молекулах, фотополімерні матеріали для голографії та запису інформації. Активно проводять роботи з нелінійної лазерної спектроскопії надвисокої роздільної здатності, фотоакустичної

лазерної спектроскопії та мікроскопії, розробляють нові методи лазерного керування рухом вільних атомних частинок. Поряд з традиційними для Інституту напрямами, такими як динамічна голографія та оптика багатопучкових процесів, фізика спекл-полів і голографічні кореляційні методи трансформації лазерних пучків, відкривають нові, зокрема сингулярна оптика.

*Фізика поверхні, емісійна та плазмова електроніка.* На сучасному рівні в Інституті проводять дослідження у галузі фізики малих частинок та їхніх ансамблів, вивчають оптичні та емісійні властивості острівцевих металічних плівок, фізичні явища в адсорбованих плівках, адсорбція газів і металів поверхнями твердих тіл, фізика електронної емісії, атомна структура та фазові переходи в двовимірних системах, структура і властивості упорядкованих тонкоплівкових молекулярних систем, твердотільні плазмові явища, гарячі носії заряду та явища самоорганізації в напівпровідниках, фононний транспорт у напівпровідниках.

Нині в Інституті фізики НАН України працює 571 науковець, серед них, 50 докторів наук, 156 кандидатів наук. Інститут має 18 наукових відділів, науково-допоміжні підрозділи, до яких входять науково-технічна бібліотека, відділ маркетингу, інтелектуальної власності та трансферу технологій.

У аспірантурі Інституту навчається майже 20 аспірантів, щорічно десятки студентів із різних вищих навчальних закладів України проходять практику, виконують курсові та дипломні роботи.

В Інституті фізики працюють академіки НАН України М. С. Бродин – почесний директор Інституту та А. Г. Наумовець – віце-президент НАН України, завідувач відділу фізичної електроніки з 1981 року, члени-кореспонденти НАН України Л. П. Яценко – директор ІФ НАН України, І. В. Блонський, С. Г. Одулов, Ю. Г. Птушинський, С. М. Рябченко, М. С. Соскін, П. М. Томчук.

В Інституті сформувались і працюють відомі наукові школи:

1. “*Оптика і спектроскопія неметалічних кристалів*”. Засновник – академік НАН України, Герой Соціалістичної Праці, лауреат Ленінської премії, Державної премії УРСР, Заслужений діяч науки і техніки України А. Ф. Прихотько (1906–1995). Значний внесок у формування школи зробили академіки НАН України М. Т. Шпак (1926–





1993), М. С. Бродин, член-кореспондент НАН України М. С. Соскін. Нині головні напрями, які розвиваються у межах школи, очолюють член-кореспондент НАНУ І. В. Блонський, член-кореспондент НАН України С. М. Рябченко, доктори фіз.-мат. наук Ю. П. Гнатенко, Г. В. Клімушева, М. В. Курик, Г. О. Пучковська, Ю. О. Резніков.

2. “*Нелінійна оптика та лазерна фізика*”. Засновники – учні А. Ф. Прихотько та представники її школи – академік НАН України, лауреат Ленінської премії, Державних премій СРСР, УРСР та України, Заслужений діяч науки і техніки України М. С. Бродин і член-кореспондент НАН України, лауреат Державних премій СРСР, УРСР М. С. Соскін. Нині у межах цієї школи розвиваються сучасні дослідження, лідерами яких є її засновники академік М. С. Бродин та член-кореспондент НАН України М. С. Соскін, а також члени-кореспонденти НАН України С. Г. Одулов, Л. П. Яценко, доктори наук Є. О. Тихонов, А. М. Негрійко, А. О. Борщ, М. В. Васнецов.

3. “*Фізична електроніка*”. Засновники – член-кореспондент НАН України Н. Д. Моргуліс (1904–1976) і член-кореспондент НАН України, лауреат Державної премії УРСР, Заслужений діяч науки і техніки України П. Г. Борзяк (1903–2000). Нині головні наукові напрями, які продовжують традиції школи і визначають сучасний рівень робіт, очолюють академік НАН України А. Г. Наумовець, член-кореспондент НАН України Ю. Г. Птушинський, доктори фіз.-мат. наук О. Г. Сарбей, Б. О. Данильченко, В. М. Порошин.

4. “*Теорія твердого тіла*”. Засновники – академік НАН України, Герой Соціалістичної Праці, лауреат Ленінської премії, Державної премії УРСР, лауреат Державної премії УРСР, Заслужений діяч науки і техніки України О. С. Давидов (1912–1993) та академік НАН України, Заслужений діяч науки і техніки України С. І. Пекар (1917–1985). Нині традиції школи в Інституті фізики НАНУ продовжують наукові колективи, які очолюють членом-кореспондентом НАН України П. М. Томчук та доктор фіз.-мат. наук Е. А. Пашицький.

Окремої згадки заслуговує також науковий напрям “*Фізика йонних пучків та йонних джерел*”, засновниками якого стали доктор фіз.-мат. наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України М. Д. Габович (1914–1994) та член-кореспондент НАН України, лауреат Державної премії України,

Заслужений діяч науки і техніки України І. О. Солошенко (1940–2006).

Інститут має тісні наукові контакти з провідними науковими центрами розвинутих країн. Учені Інституту підтримують тісні зв'язки з вченими Польщі, США, Німеччини, Франції, Італії та Англії, а також Росії, Білорусії, Вірменії, Грузії, Узбекистану. Щорічно майже сотня науковців Інституту виїждить за кордон на запрошення наукових центрів, установ та університетів.

Інститут бере участь у виконанні десятків грантів міжнародних фондів, таких як Міжнародний науковий фонд (фонд Сороса), CRDF, INTAS, УНТЦ.

Інститут щороку є організатором 4–5 міжнародних наукових семінарів та конференцій, зокрема, Інститут є постійним організатором Міжнародної конференції “Електронні процеси в органічних матеріалах” та Міжнародної школи-семінару “Спектроскопія молекул та кристалів”, що проводяться раз на два роки.

Учені Інституту беруть активну участь у координації фізичних досліджень в Україні. Інститут є базовою організацією для Наукової ради з проблеми “Лазерна фізика, лазерні технології”, яка здійснює координацію діяльності установ НАН України та інших відомств у галузі лазерної фізики, лазерних технологій, оптичних захисних технологій, нелінійної оптики та голографії. Головою ради є М. С. Бродин, до її складу входять провідні фахівці з проблеми, серед них учені Інституту.

При Інституті 2005 року створено єдиний в Україні сучасний центр колективного користування “Лазерний фемтосекундний комплекс” НАН України, що є єдиною в Україні унікальною базою для проведення науково-дослідних робіт на світовому рівні з використанням надкоротких світлових імпульсів ( $\sim 10^{-15}$  с) з широкою перебудовою спектру випромінювання в видимому і середньому інфрачервоному діапазоні. Відповідно до розпорядження Президії НАН України Центр надає послуги організаціям НАН України та інших відомств, здійснює навчальний процес з лазерної фізики на сучасному методологічному рівні.

Учені Інституту активно сприяють утвердженню у суспільстві наукового світогляду. Науковці Інституту є авторами науково-популярних статей в українських часописах для школярів і студентів.



Для широкого загалу підготовлено і видано науково-популярні видання, наприклад, методичний посібник А. Г. Наумовця "Ви віч-на-віч з аудиторією: Дещо про "технологію" наукових доповідей, популярних лекцій, дисертаційних промов", навчальний посібник М. Г. Находкіна, А. Г. Наумовця і С. М. Рябченка "Тим, хто торує свій шлях у науку", науково-популярне видання О. М. Габовича, Н. О. Габович "Як у загальноосвітній школі викладати сучасну фізику" у серії Бібліотек журналу "Фізика в школах України", "Збірник задач з фізики. Самостійні та контрольні роботи для 9–11 класів" В. І. Романенка та інші видання. Молодого науковця І. С. Ганджу 2006 року було нагороджено премією міжнародного фонду INTAS за кращий популярний виклад результатів його досліджень.

З 1992 року в Інституті працює Міжнародне енциклопедичне бюро з фізики за розпорядженням Президії НАН України (керівник В. А. Шендеровський). Його науковці виконали велику роботу з повернення із забуття славетних імен учених-фізиків. Зокрема, підготовлено та видано вперше праці визначного вченого – фізика Івана Пулюя (в трьох томах), низку книжок та наукових публікацій про вченого. Підготовлено і видано двотомну книжку про видатних учених (понад сто постатей) "Нехай не гасне світ науки" (В. Шендеровський), низку словників, серед них Українсько-англійсько-німецько-російський словник фізичної лексики (В. Козирський, В. Шендеровський), Українсько-англійсько-російський словник з радіаційної безпеки (В. Козирський, С. І. Шаховцова, В. Шендеровський); Українсько-англійсько-російський тлумачний словник із радіології та радіологічного захисту (Ю. Бездубний, В. Козирський, В. Шендеровський).

Значним внеском науковців Інституту фізики у розповсюдження наукових знань та створення довідково-енциклопедичної наукової літератури стала підготовка за участю провідних фахівців Інституту двотомного енциклопедичного словника "Фізика твердого тіла" (головний редактор академік В. Г. Бар'яхтар, заступники гол. редактора В. Л. Вінецький і Е. А. Пашицький).

У 2007 та 2008 роках проводились Дні науки в Інституті фізики у межах Всеукраїнського фестивалю науки, організованого НАН України. Дворічний досвід проведення фестивалю показав, що його

заходи привертають до себе велику увагу школярів та студентів Києва та інших міст України (у межах фестивалю 2008 р. Інститут відвідували, наприклад, школярі Чернігова). Заходи фестивалю сприяли росту зацікавлення фізикою у школярів і студентів, стимулювали участь студентів старших курсів у науковій роботі в Інституті.

Важливе значення надається співпраці з університетами та вищими навчальними закладами Києва та інших міст України, від Луганська до Львова та Чернівців і від Чернігова до Сімферополя та Одеси. Упродовж багатьох десятиріч Інститут підтримує тісні ділові стосунки з провідними вищими навчальними закладами Києва та інших міст України. У різні часи професорами Київського університету ім. Тараса Шевченка були О. С. Давидов, В. Є. Дяченко, В. Є. Лашкар'юв, Н. Д. Моргуліс, В. І. Ляшенко, О. Ф. Німець, М. В. Пасічник, С. І. Пекар, О. Г. Ситенко, К. Б. Толпиго. І нині професорами та викладачами Київського університету імені Тараса Шевченка, Національного технічного університету (КПІ), Києво-Могилянської академії та багатьох інших вищих навчальних закладів столиці є провідні вчені Інституту. Вони створюють нові кафедри, читають курси лекцій, керують аспірантами.

У Інституті проходять практику, виконують кваліфікаційні роботи студенти старших курсів вищих навчальних закладів, працівники Інституту читають для них курси лекцій. На базі Інституту під керуванням М. С. Бродина діє базова кафедра квантової електроніки, нелінійної оптики, голографії Фізико-технічного науково-навчального центру НАН України.

Інститут фізики Національної академії наук України у січні 2009 року відзначив своє 80-річчя. Нині це відомий та авторитетний в Україні та за її межами фізичний науковий центр із багатими традиціями, високою науковою культурою, потужним кадровим потенціалом. Ми пишаємося науковими здобутками наших попередників, віддаємо шану ветеранам, висловлюємо щире вдячність усім співпрацівникам Інституту, віримо у нашу молодь і з надією дивимось в майбутнє. Ми впевнені, що науковці Інституту відкриють ще не одну нову сторінку у фізиці, а їхня невтомна праця сприятиме розвиткові та процвітанню нашої України.



## “НЕНАУКОВІ” ПОРАДИ СТАРОГО ДОСЛІДНИКА

*У науці існує щось захопливе:  
вкладеш якусь незначну кількість фактів,  
а отримаєш колосальні дивіденди у вигляді  
умовиводу, та й ще з відсотками.*

Марк Твен

Зовсім скоро школярі та студенти закінчуватимуть черговий навчальний рік, і серед них, впевнений, є чимало таких, хто незалежно від закладу навчання за однією характеристикою складають велику сім'ю, яка їх всіх об'єднує, – вони випускники, що не можуть не турбуватись про своє особисте життя і фахову діяльність. Саме перед ними виникає запитання вибору чи то майбутньої професії, якою хотілося б і варто було б займатися, принаймні, багато років, а найкраще – все життя, або напряму діяльності у вже раніше – наприклад, перед вступом до вищого навчального закладу – обраному фаху, щоб він також залишався цікавим і актуальним назавжди. Мабуть, мої сьогоднішні думки, які я виношу на суд молодого і ще не досить досвідченого читача, все ж більше стосуються студентів-випускників, які в своїй переважній більшості вже знають, якою професією будуть займатися у майбутньому, але ще не дуже уявляють собі, на чому в ній зупинитися, або, краще сказати, яким конкретно її напрямом зайнятися. Якщо ж бути точнішим і пунктуальнішим, то особисто мені легше спілкуватися з тими, хто обрав для себе шлях наукової діяльності, в якій неможливо, щось одного разу або колись вивчивши, успішно працювати довгі роки. Відверто кажучи, науковцеві треба весь час довчатися або навіть перевчатися, щоб залишатися і на рівні оточуючих тебе колег, і на рівні переднього фронту науки, який невпинно і, як з'ясовується, дуже швидко просувається вперед.

Мушу зізнатись, що ще одна обставина спонукає мене звернутись з цими короткими замітками до студентів-фізиків (а разом з ними – хіміків, біологів, математиків), що тільки-но розпочинають свій – фактично самостійний, що не є синонімом

Вадим Локтєв,

академік Національної академії наук України

одноосібний – творчий шлях у фізиці (або в іншій когнітивній науці, насамперед, природничого спрямування). Річ у тому, що впродовж вже майже тридцяти років, читаючи лекції з різних розділів фізики студентам Національного університету імені Тараса Шевченка, а також Національного технічного університету України “КПІ”, я вже звик чути від тих випускників, хто ще перед завершенням навчання дбає про свою успішну кар'єру, такі питання: порадьте, будь ласка, чим конкретно краще зайнятися, або яка галузь фізики – а деколи й науки загалом – обіцяє найнесподіваніші, цікаві й важливі для суспільства результати.

Треба усвідомити, що на подібні запитання однозначна відповідь майже не існує – багато що залежить від різноманітних чинників. Насамперед, маю на увазі експерименти, які визначають, скажімо так, недоліки тієї чи іншої існуючої теорії або прогалини в наших знаннях про оточуючий нас живий і неживий світ, зокрема й Всесвіт. Можуть відігравати роль і випадкові чинники розвитку того чи іншого напряму, врешті-решт фінансові можливості, а вони нерівномірні по різних науках і наукових напрямках. До того ж, будь-хто, навіть геніальна особистість, має свої погляди, уподобання, досвід та інтуїцію, а остання, як відомо, час від часу не спрацьовує, якщо мати на увазі прогнози. Тому простіше спиратися на власне життя та особисте бачення проблеми, але й тут лише як на один з прикладів можливих ситуацій і пов'язаних з ними розмірковувань, не більше.

З іншого боку, досягши певного віку, досить часто згадую рядок із відомої пісні, що “мої роки – моє багатство”. Але в нашому випадку, хотілося б сподіватися, що якщо нижче висловлені мною поради стануть хоча б кому-небудь у нагоді, то слова цього рядка могли б звучати інакше: “Мої роки – ваше багатство”.





\*\*\*

К оли я завершував свою курсову роботу, а це було – страшно уявити – вже майже 40 років тому, фізика (поза навчанням) для мене зводилась до вельми обмеженого кола запитань, які мені формулював мій науковий керівник. Але в ті, тепер, на жаль, далекі, часи було досить багато науково-популярних (наприклад, “Світ фізики”!) часописів для юнацтва, які, безумовно, відігравали свою роль у формуванні наукового світогляду молоді та підвищували її загальну обізнаність, яскраво демонструючи їй неосяжність науки загалом і фізики, хімії, біології, математики зокрема. У них (часописах) висвітлювалось багато заманливих для вивчення проблем, але, спало мені на думку, як можна ними займатися, не опанувавши усього, що зробили раніше попередні покоління учених.

На щастя, для виконання дипломного проекту я потрапив до рук видатного радянського фізика-теоретика Олександра Сергійовича Давидова, який дізнавшись, що я відвідую всі семінари, що тоді проходили в Інституті теоретичної фізики АН УРСР (нині – ІТФ ім. М. М. Боголюбова НАН України), де, власне, я і був дипломником, порадив мені припинити це робити, а більше зосередитись на задачі, яку він мені сформулював, і присвятити час саме власним конкретним дослідженням. Попри мої побоювання, що я ще нічого або дуже мало знаю, він висловив думку, що треба якомога швидше розв’язувати “свою” задачу, а потрібні для цього знання намагатися підхоплювати на ходу. На мій великий подив, досить швидко я впевнився, що такий підхід насправді працює. Мені справді без великих зусиль вдалося просунутися у поставленій переді мною дипломній проблемі, хоча, треба відверто визнати (а тепер я це розумію особливо виразно), і після успішного захисту дипломної роботи я мало що знав про справжню фізику по суті. Але, тим не менш, я засвоїв одну надзвичайно важливу для майбутньої самостійної роботи річ, якою хочу поділитися з читачем і яку можна висловити так: *ніхто не знає всього і, більше того, не має до цього прагнути.*

Сформулювавши попередній тезис, який, безумовно, має право на існування, а я особисто вважаю правильним, я менш за все прагну бути зрозумілим у спосіб, начебто ратую за вузьку спе-

ціалізацію. Ні, і ще раз ні. І справді, що більше ви знаєте або вмієте, то, зазвичай, легше<sup>1</sup> увійти у невідому вам задачу чи проблему, знайти та вивчити адекватні методи її розв’язання і досягнути успіху. Виділеними вище словами, мені хотілося лише закликати вас не боятися жодної проблеми, пробувати їх, як кажуть, “на зуб”, отримуючи нові, потрібні для вас знання, по мірі розуміння, в чому ваша власна освіта неповна або недосконала. Тоді – а я особисто в цьому впевнювався не раз – “лікнеп” відбувається набагато ефективніше та йде швидше, а ваш науковий кругозір розширюється.

\*\*\*

Ще одне правило, яке треба, як на мене, засвоїти всім, хто починає свою власну творчу кар’єру, я б сформулював так: *якщо беретесь за яку-небудь з можливих проблем, зробіть спробу вибрати найскладнішу з них.* Що я маю на увазі, поясню також на власному прикладі.

Захистивши диплом у червні, я мав 2–3 місяці на підготовку до вступних іспитів до аспірантури, де моїм керівником мав бути О. С. Давидов. Здавалося б, а він, як з’ясувалося згодом, думав саме так, я мав би продовжувати тематику дипломної задачі, в якій була знайдена відповідь на деякі на той час актуальні запитання щодо поглинання світла молекулярними кристалами в умовах сильної взаємодії електронних елементарних збуджень (так званих екситонів) з коливаннями кристалічної ґратки (фононами). Натомість, звичайно, залишалася ще низка питань і було абсолютно очевидно, в яких напрямках мають виконуватися майбутні дослідження і що треба одержати в результаті, щоб найшвидше досягти бажаної мети будь-якої аспірантури – підготувати і захистити кандидатську дисертацію.

Напевно, так би і відбувалися мої аспірантські пошуки, якби не сталося таке, що я абсолютно випадково ознайомився з тогорічним звітом АН УРСР, де в розділі про досягнення Відділення фізики прочитав, що в Інституті фізики в Києві спостережено поглинання світла в різних кристалічних фазах кисню, яке за своєю природою залишається незрозумілим. Мене це зацікавило і вже

<sup>1</sup> Попри відомий вислів: “Знання збільшує засмучення”.



скоро я зумів познайомитися з експериментаторами, яким належали відповідні вимірювання, вивчив всю (насправді, на той час невелику) літературу з цього питання і на відміну від інших абітурієнтів, які для аспірантських іспитів готували реферат за своїми дипломними дослідженнями, подав реферат з ще нерозгаданого поглинання в кисні. Більше того, будучи зарахованим до аспірантури, я попросив мого керівника дозволити мені займатися саме кисневою проблемою (вона, між іншим, виявилась О. С. Давидову добре знайомою), а не продовжувати дипломну. Остання йому здавалася ясною та прозорою, в той час як киснева – плутаниною, і він по суті заборонив мені змінювати об'єкт дослідження, стверджуючи, що це не задача для кандидатської роботи, на яку виділяється обмежений і фіксований час. Якщо ж погодитись з моїм бажанням, то нема гарантії не тільки щодо виконання встановленого на дисертаційну роботу терміну, а й загалом щодо розв'язання незрозумілої на той час задачі.

Не знаю чому, але я не погодився. Мені здавалося (а згодом – так і виявилось), що в обох випадках мова йде про поглинання світла конденсованими молекулярними системами і що коли принципи, за якими воно має відбуватися в одній з них, більш менш, зрозумілі, то чому б, знаючи їх, не розібратися у другій. Врешті-решт, фізика двох близьких за своїм змістом задач, не може бути аж занадто різною і треба лише розібратися, що їх розрізняє. Я багато обговорював ці питання з іншим аспірантом О. С. Давидова Юрієм Гайдідеем, і ми після десь півтора року інтенсивних зусиль зуміли знайти деякі причини відмінностей поглинання в кисні від решти молекулярних кристалів. Якщо вже говорити про саме кисневі дослідження, то тут певна роль також належала нашому старшому колезі теоретику Е. Г. Петрову, а, без перебільшення, головна – видатному українському фізику-експериментатору Антоніні Федорівні Прихотько, яка не лише зробила перші вимірювання, а й завжди була готова виконати нові, деколи дуже непрості, щоб перевірити передбачення теорії. Це надзвичайно підштовхувало на нові пошуки, робило обстановку довкола досліджень кисню такою, яка стимулювала справді творчу діяльність кожного, хто брав у ній участь. Зазначу також, що О. С. Давидов, побачивши моє серйозне

ставлення до роботи і, напевно, зрозуміле бажання зробити щось своє, виявив риси справжнього Учителя і не лише не перешкоджав цим дослідженням, а й підтримував їх порадами, підказками, а також, коли це вимагали обставини, критикою. Підсумовуючи, можу сказати, що наприкінці 60-х – початку 70-х років минулого сторіччя поглинання світла в кисні справді виглядало як безнадійна плутанина, але з тих пір сумлінна праця багатьох експериментаторів і теоретиків змогла впорядкувати розрізнені і незрозумілі факти і з'єднати їх всі (майже всі) в єдину послідовну картину. Без удаваної скромності, можу стверджувати, що в цьому є і моя заслуга. Отже, ще одна моя порада: *займатися тим, у чому є плутанина* – саме там мають відбуватися найважливіші події.

\* \* \*

Наступну пораду, боюсь, сприйняти найскладніше. Вона висловлена не мною, а Нобелівським лауреатом (1979) у фізиці елементарних частинок американським теоретиком Стівеном Вайнбергом, однак я її цілком поділяю і вважаю надзвичайно слушною і – при правильному розумінні – корисною. Вона полягає у наступному твердженні: *дозвольте собі витратити час даремно*.

Постає запитання: чому? Спробую пояснити.

Зазвичай, викладачі просять студентів (це ж стосується і школярів) розв'язувати лише ті задачі, про які самі викладачі знають, що це обов'язково треба зробити, щоб пройти і засвоїти курс. До того ж не вважається суттєвим – і про це ніхто (за винятком окремих професорів) не думає, чи мають задачі, які розв'язують, наукове або прикладне значення. Будь-хто, хто був або є студентом, з таким станом речей вимушений погоджуватися, оскільки мова йде лише про навчання. Проте в реальному житті ніхто наперед не знає, які задачі важливі, а які ні. До того ж, деколи взагалі важко стверджувати, чи є задача такою, що має розв'язок у певний момент історії. Нагадаю як приклад, що якраз 100 років тому, на початку ХХ століття, деякі всесвітньо відомі фізики (наприклад, нідерландець Гендрік Лоренц) робили спроби побудувати теорію електрона, які викликалися природнім бажанням зрозуміти, чому величезні зусилля зафіксувати рух Землі крізь ефір ви-



явилися марними і з наукового погляду – безуспішними. Тепер ми знаємо, що використовуючи уявлення класичної фізики, дослідники розв'язували неправильну задачу, оскільки квантова механіка ще не була розроблена. Тільки А. Айнштайн зрозумів, що в межах класичного підходу правильною є інша задача – про вплив руху на простір і час. Це призвело до відкриття спеціальної теорії відносності. Із огляду на те, що завчасно ви ніколи не можете бути впевненими, яка задача правильна, а яка ні, переважна більшість часу в лабораторії, якщо ви експериментатор, або за столом, якщо ви теоретик, буде фактично витрачатися безрезультатно. З цим раджу змиритись. І як твердить той же професор С. Вайнберг, якщо ви хочете бути творчою особою, ви маєте дозволити собі більшу частину вашого робочого часу проводити нетворчо, знаходячись у штилі океану наукових знань.

\* \* \*

Нарешті, ще одне: **обов'язково вивчайте що-небудь з історії науки**, насамперед, з історії вашої галузі науки. Найменш важлива причина для цього – це те, що історія може вас справді чомусь навчити або бути корисною у вашій особистій роботі. По-перше, знання історичних наукових фактів є кращою протидією проти філософії, яка, як свідчить та ж історія науки, формулюючи деякі так звані загальні принципи, деколи заважає вченим поглиблювати свої уявлення про той чи інший конкретний предмет.

По-друге, і що важливіше, історія науки може вас самого примусити вважати вашу роботу такою, що заслуговує на увагу і повагу. Збираючись бути науковим працівником, ви, мабуть, не мрієте про велике багатство, а ваші близькі родичі та друзі не розуміють не лише цього, а й чим і заради чого ви конкретно хочете займатись, на що втрачатимете ваші роки, життя і сили. А якщо ж працюватимете у таких ділянках науки, як абстрактні питання математичної або теоретичної фізики (теорія симетрій, квантова теорія поля, фізика високих енергій, структура Всесвіту тощо), ви навіть не матимете змоги отримати задоволення хоча б від роботи чогось безпосередньо корисного. Проте можете бути надзвичайно щасливі, глибоко

усвідомивши, що ваша майбутня діяльність у науці стане частиною історії людства.

Пропоную ще раз поглянути назад на ті ж 100 років. Згадайте і назвіть, хто були міністрами в уряді Російської імперії, президентом США або канцлером Німеччини 1909 року. Навряд хто-небудь дасть швидку відповідь на подібні загалом дуже прості запитання. Або інше – чи виявилось що-небудь з того, чим тоді займалися постаті, що займали згадані найвищі державні посади, ключовим чинником для життя і подальшого розвитку людства. А от те, що Е. Резерфорд в ті роки відкрив атомне ядро і розпочав фундаментальні дослідження природи радіоактивності, мало і наукове, і, як з'ясувалось згодом, прикладне, а отже, історичне значення для всіх людей на нашій планеті. Без усякого перебільшення, ці суто наукові відкриття вплинули на хід наступної історії безпосередньо. Але не менш або навіть важливіше, що зміна уявлень, зумовлена згаданими науковими відкриттями, мала революціонізує культурологічне значення. Розуміння радіоактивності дало змогу пояснити, чому ядра і Землі, і Сонця можуть бути гарячими до нашого часу після мільйонів років існування і вигорання. Це розуміння усунуло, здавалося б, наукове заперечення, що багато геологів вважали вік Сонячної системи дуже великим. Тоді християни та юдеї були, в свою чергу, вимушені або відступити від віри у буквальну істину Біблії, або відмовитись від інтелектуальної недоречності. Це був лише крок у послідовності розвитку від Г. Галілея, через І. Ньютона і Ч. Дарвіна, чийм, до речі, є поточний 2009 рік, до сучасного, якому, час від часу, вдається послабляти все ще неприступні основи релігійного догматизму. І це надзвичайно суттєво для наукового світогляду, без якого важко, а може й неможливо, уявити майбутнє. Проте варто лише заглянути у будь-яку газету або подивитись телевізор, як починаєш розуміти, що потрібна просвітницька робота далека від свого завершення.

Тому остання порада: **займайтесь наукою!**

Це захоплива робота, яка цивілізує світ і від якої можна відчувати справжню гордість і насолоду, усвідомлюючи себе активно діючим суб'єктом неперервного цивілізаційно-історичного процесу.





## Листи в редакцію

Німецький фізик, професор Манфред Ахіллес упродовж багатьох років, вітаючи свої знайомих, родину, колег із Різдвяними святами, надсилає їм статті про ювілеї видатних фізиків та їхні наукові досягнення. У видавництві "Євросвіт" 2007 року в серії "Бібліотека "Світ фізики" вийшла з друку книжка професора М. Ахіллеса "Weihnachtsbriefe über bekannte Physiker" ("Різдвяні листи про знаменитих фізиків"). Пропонуємо читачам цьогорічну статтю професора про людей, які зробили значний внесок у розвиток ракетної техніки.

## ТВОРЦІ РАКЕТНОЇ ТЕХНІКИ

професор Манфред Ахіллес (Берлін, Німеччина)

В ефлеська зоря вказала мислителям Близького Сходу, де народився Ісус. Це було перше Різдво. Магічне мислення мудреців завжди прагнуло пов'язати земні події з небесними. Добрі люди прийшли після представлення церкви на небі. Але споглядаючи небо, люди завжди хотіли знати, чи доцільно бути добрими. Науковий початок зробили три особи сучасності. Китайці побудували перші ракети, які для розваги глядачів піднялися у "небо", але наука про ракети була невластива їм.

Побутує думка, що ракетна техніка – західноєвропейське творіння. Це не відповідає дійсності. Засновником наукового ракетного дослідження є

росіянин Костянтин Едуардович Ціолковський (1857–1935). Будучи математиком, він дізнався, що ракета може стартувати лише завдяки законові збереження імпульсу. Науковець вивів рівняння ракети. Це диференціальне рівняння є початком ракетного дослідження. Його записують так:

$$mdv = -v_0 dm.$$

Після спеціального обчислення виходить, що потужність ракети залежить лише від швидкості витікання газів  $v_0$ . Ціолковський зробив це 1903 року. На той час він був російським експертом авіації. Не дивно, що перший штучний супутник Землі – радянська конструкція.

Молодий Герман Оберт (1894–1989), який цікавився ракетами, вивчав фізику, зрозумів це рівняння і будував свої моделі. Він рекомендував австрійському командуванню сухопутними військами (він походив із селянського роду Саксонії, тому й був "австрійцем") під час Першої світової війни структуру таких ракетних снарядів, але без успіху. "Ракети летіли тільки на віддаль 2 км", – таким було обґрунтування відмови.

Оберт подав до захисту дисертацію: "Ракета для міжпланетного простору". Однак її не прийняли, оскільки не було "опонента за темою". Як компенсацію йому дали згоду на видачу диплома. Після Першої світової війни Оберт будував пробні ракети.



Костянтин Едуардович Ціолковський  
(1857–1935)



Я мав нагоду познайомитися з Германом Обертом. Адольф Кунерт, тодішній провідник Берлінського планетарію, запросив його у сімдесятих роках, щоб коментувати фільм Фріца Ланга "Жінка на Місяці" (1929), у якому Оберт був науковим консультантом. Віллі Фрітш грав роль командира ракети, він з'являвся у бриджах і кепці. З нинішнього погляду це дуже смішно. Г. Оберт нарікав, що Ф. Ланг спотворив йому багато наукових фактів.

Зусиллями Г. Оберта захопився гімназист, це був барон Вернер фон Браун (1912–1977). Вернер походив із старого дворянства і захоплювався технікою, а згодом вивчав цей предмет. Він допомагав Обертові з великим натхненням і знайомився з основами ракетної справи у нього. Вернер навчався в Берліні та Цюріху й одержав науковий ступінь у 22 роки в Берліні. Він не цікавився політикою, хоча був членом партії, офіцером СС. Коли почалася Друга світова війна, Г. Оберт працював керівником лабораторії у Пенемюнде, оскільки його вважали ракетним експертом.

Оберт був людиною з важким характером. Наприклад, він вважав ракетну програму Фау-2, яку підтримував Браун, накладною і неможливою



*Герман Оберт  
(1894–1989)*

до виконання. Свої розрахунки робив без участі Брауна. Завдяки своїм неймовірним соціальним здібностям, поряд із технічними й науковими, Браун підтримував добрі стосунки з Обертом, а згодом сам став керівником лабораторії. Пенемюнде бомбили, і наприкінці Другої світової війни виробництво переїхало в Нордгаузен. У гіпсових горах будували завод, який тепер був захищений від бомб.

Після війни (1945) американці "запросили" Вернера фон Брауна до Америки, щоб він не потрапив до рук росіян. Однак, тодішній президент Трумен, а згодом і президент Айзенгауер бачили лише військові застосування для ракет. Все змінилося, коли в СРСР 1957 року успішно запустили "супутник Землі", перший штучний супутник Землі.

Приналежність Брауна до різних нацистських організацій не завадила американцям. В Америці він планував і будував щораз більші ракети, що забезпечили 1969 року пілотований політ на Місяць. Американці під пресом успіхів росіян вкладали величезні кошти в його проєкти.

Ми біля телевізора споглядали у Стокгольмі, в готелі, політ на Місяць, оскільки це був сезон відпусток. Однак злі критики вважають, що політ на Місяць був відзнятий у Голлівуді, а на Місяці нікого не було!



*Вернер фон Браун  
(1912–1977)*



## УМОВИ ЗАДАЧ ІІІ (ОБЛАСНОГО) ЕТАПУ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ ОЛІМПІАДИ З ФІЗИКИ (Львів, 2009)

### 8-й клас

#### Задача 1.

Вага деякого тіла у гасі (густина гасу  $\rho_1 = 0,8 \text{ г/см}^3$ ) дорівнює  $P_1 = 5H$ , а у воді (густина води  $\rho_2 = 1 \text{ г/см}^3$ )  $P_2 = 4H$ . Визначить об'єм тіла, його густину та вагу у повітрі.

#### Задача 2.

Нехай кулька за температури  $t_1 = 35^\circ\text{C}$  має радіус  $R_1 = 24 \text{ мм}$ , а за температури  $t_2 = 60^\circ\text{C}$  – радіус  $R_2 = 26 \text{ мм}$ . За яких значень температури кулька пройде крізь отвір радіусом  $R_3 = 23 \text{ мм}$ .

#### Задача 3.

Айсберг плаває, виступаючи на  $150 \text{ м}^3$  над поверхнею води. Визначить об'єм підводної частини айсберга, якщо густина води дорівнює  $1030 \text{ кг/м}^3$ , а густина льоду –  $900 \text{ кг/м}^3$ .

#### Задача 4.

Автомобіль проїхав  $1/4$  шляху із швидкістю  $70 \text{ км/год}$ . Решту шляху автомобіль половину часу рухався із швидкістю  $12 \text{ м/с}$ . З якою швидкістю рухався автомобіль на останній ділянці, якщо середня швидкість його руху за весь час руху –  $80 \text{ км/год}$ .

### 9-й клас

#### Задача 1.

Неізолюваний дріт, один метр якого має електричний опір  $1 \text{ Ом}$ , намотують на три цвяхи, забиті в дерев'яну дошку. Цвяхи розташовані у вершинах рівностороннього трикутника із довжиною сторони  $30 \text{ см}$ . Скільки витків дроту потрібно намотати, щоб опір між будь-якими двома цвяхами становив  $0,01 \text{ Ом}$ ?

#### Задача 2.

У напрямку Сонця, коли воно перебувало під кутом  $\varphi$  до горизонту кинули м'яч із початковою швидкістю  $v_0$ . З якою швидкістю рухатиметься тінь м'яча в момент часу  $t$  після кидка?

#### Задача 3.

Черепаша, рухаючись із точки  $A$ , проповзла вздовж прямої до точки  $B$  віддаль  $4 \text{ м}$  зі змінною швидкістю, яку можна знайти із співвідношення

$$v = \frac{c}{x+a}.$$

Постійні величини становлять

$$c = 0,1 \text{ м}^2/\text{с}, \quad a = 2 \text{ м}.$$

$x$  – віддаль, на яку перемістилась черепаха від точки  $A$  в певний момент часу. Знайдіть середню швидкість руху черепахи на проміжку  $AB$ .

#### Задача 4.

Студент, набравши в чайник прохолодної води (майже  $10^\circ\text{C}$ ), поставив його нагріватись на електричну плиту і вийшов. Його сусіди стверджують, що почули свисток чайника десь за  $15 \text{ хв}$  після



того, як він залишив кухню. Повернувшись на кухню, студент побачив, що майже вся вода з чайника випарувалась. Оцініть час, упродовж якого чайник був без нагляду господаря. Вважайте потужність теплових втрат постійною. Питома теплоємність води – 4,2 кДж/(кг·К), питома теплота пароутворення – 2,24 МДж/кг.

### 10-й клас

#### Задача 1.

Снаряд, що вилетів з гармати під кутом  $30^\circ$ , розірвався на велику кількість однакових осколків у найвищій точці своєї траєкторії. Осколки повністю випали на землю за час  $t$  і покрили площу  $S$ . Знайдіть максимальну швидкість осколків відносно землі в момент розриву снаряду. Опором повітря знехтуйте. Усі напрямки розлітання осколків вважайте рівномірними.

#### Задача 2.

Оцініть швидкість куль, які вилітають із патронів, які кинули у вогонь. Швидкість кулі під час стрільби з рушниці дорівнює приблизно 800 м/с.

#### Задача 3.

Циліндрична камера завдовжки  $2l$  з поршнем, площа поперечного перерізу якого дорівнює  $S$ , може рухатись по горизонтальній площині з коефіцієнтом тертя  $k$  (рис. 1). Ліворуч від поршня, розташованого в центрі камери, знаходиться газ за температури  $T_0$  і тиску  $p_0$ . Між нерухомою стінкою і поршнем розташована пружина жорсткістю  $\chi$ . У скільки разів потрібно збільшити температуру газу ліворуч від поршня, щоб об'єм цього газу збільшився у двічі, якщо тертям між камерою і поршнем можна знехтувати? Маса камери і поршня дорівнює  $m$ . Зовнішній тиск дорівнює  $p_0$ .

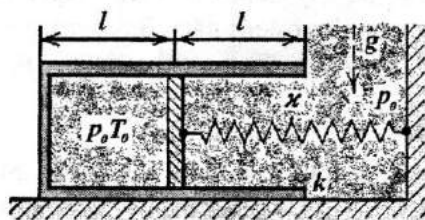


Рис. 1

#### Задача 4.

Навколо нерухомого точкового заряду

$$q_0 = +10^{-9} \text{ Кл}$$

рівномірно обертається під дією сил притягання маленька кулька, заряджена негативно. Яке відношення заряду  $q$  кульки до її маси  $m$  (в Кл/кг), якщо радіус орбіти  $R = 2$  см, а кутова швидкість обертання  $\omega = 3$  рад/с? ( $k = 9 \cdot 10^9$  В·м/Кл).

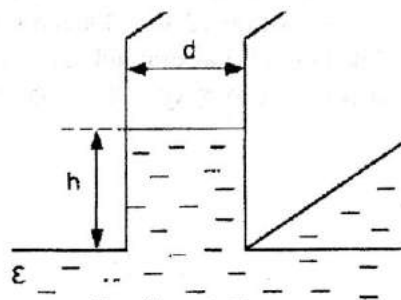
### 11-й клас

#### Задача 1.

У двох балонах, що мають об'єми  $V_1$  та  $V_2$ , містяться два гази за однакової температури і тисків  $P_1$  та  $P_2$ , відповідно. Балони сполучено трубою з краном. Який тиск  $P$  встановиться у балонах, якщо відкрити кран? Вважайте, що температура під час такого процесу не змінюється і гази в хемічну реакцію не вступають.

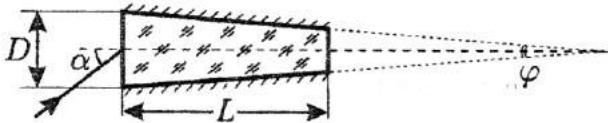
#### Задача 2.

Плоский повітряний конденсатор складається з двох квадратних металевих пластинок розміром  $\alpha \times \alpha$ , які розміщені на відстані  $d$  одна від одної, до того ж  $d \ll \alpha$ . Пластинки конденсатора розміщено вертикально, а їхні нижні краї – горизонтально. Конденсатор заряджають та від'єднують від джерела напруги. Далі конденсатор підносять до посудини з непровідною речовиною так, щоб поверхня рідини торкалась нижніх країв пластин. Рідина втягується у конденсатор і встановлюється на деякій висоті. Знайдіть висоту підйому рідини  $h$ , якщо напруга на конденсаторі наприкінці процесу дорівнює  $U$ . Густина рідини  $\rho$ , діелектрична проникність дорівнює  $\epsilon$ . Поверхневим натягом рідини можна знехтувати.



**Задача 3.**

Скляна пластинка в поперечному перерізі має форму рівнобічної трапеції. Основа трапеції дорівнює  $D$ , висота  $L$ , а кут між бічними сторонами трапеції дорівнює  $\varphi \ll 1^\circ$ . Показник заломлення скла дорівнює  $n$ , а бокові поверхні дзеркальні. За яких кутів падіння  $\alpha$  промінь світла, що падає на більшу основу трапеції, буде виходити через меншу основу трапеції?

**Задача 4.**

На горизонтальній площині лежить півсфера радіусом  $R$  (випуклою стороною догори). З точки, яка знаходиться над центром півсфери (точка, з якої кидають кульку, не лежить на півсфері), кидають у горизонтальному напрямку маленьку кульку, яка падає на площину, не відбиваючись від півсфери. Знайдіть мінімально можливу швидкість кульки в момент падіння на площину. Опором повітря знехтуйте.

**ЗАКОНИ КІРХГОФА**

\*\*\*\*\*

*Алгебраїчна сума струмів у будь-якому вузлі електричного кола дорівнює нулеві (тобто кількість зарядів, які виходять із цього вузла, має дорівнювати кількості вхідних зарядів).*

\*\*\*\*\*

*Сума спадів напруг у будь-якому замкнутому контурі електричного кола дорівнює сумі електрорушійних сил.*



*Густав Роберт КІРХГОФ  
(Gustav Robert Kirchhof)  
(12.03.1824–17.10.1887)*

**Густав Роберт КІРХГОФ** – німецький фізик, який народився у Кенігсберзі (Східна Прусія, нині Калінінград, що входить до Російської Федерації). Він 1846 року закінчив Кенігсберзький університет. Продовжив свою блискучу кар'єру у кількох німецьких університетах. Від 1850 року він був професором Бреславського університету, з 1854 року – професором Гайдельберзького, а від 1875 року – Берлінського. Там він обіймав посаду професора теоретичної фізики і працював до самої смерті. Під час роботи в університеті м. Бреслау (нині місто Вроцлав, Польща) спільно з Робертом Бунзеном заклав основи спектроскопії. Науковець також відкрив низку законів, що описують теплове поглинання і випромінювання (закони Кірхгофа). Другу половину свого життя Кірхгоф через нещасний випадок провів у інвалідній колясці.

У віці двадцяти одного року Кірхгоф сформулював основні правила для розрахунку струмів і напруг в електричних колах, які нині носять його ім'я й залишаються важливим робочим інструментом фахівців у галузі електроніки та електротехніки.

Перше правило Кірхгофа свідчить про те, що коли розглянути будь-яку точку розгалуження (вузол), де сходяться три або більше дротів, то сума електричних струмів, які втікають у вузол, дорівнюватиме сумі стру-

мів, які витікають з нього, що є наслідком закону збереження електричного заряду. Якби це правило не виконувалося, то у вузлі безперервно нагромаджувався (чи зникав) б електричний заряд, а цього ніколи не відбувається.

Друге правило Кірхгофа не менш просте. Якщо складне, розгалужене коло розбити на прості замкнуті контури, то сума усіх спадів напруг у кожному контурі дорівнює сумі електрорушійних сил у ньому. Це правило також має просту фізичну інтерпретацію. Повний приріст енергії електронів (носіїв струму) у будь-якому замкнутому контурі дорівнює нулеві. Якби це було не так, то проходячи замкнутим контуром, електрони набували б або втрачали б енергію, а струм неперервно б наростав або меншав. У першому випадку можна було б отримати вічний двигун, а це заборонено першим началом термодинаміки; у другому – будь-які струми в електричних колах неминуче загасали б, а цього ми не спостерігаємо.

# РОЗВ'ЯЗКИ ЗАДАЧ ІІІ (ОБЛАСНОГО) ЕТАПУ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ ОЛІМПІАДИ З ФІЗИКИ (Львів, 2009)

## 8-й клас

### Задача 1.

Знайдімо вагу тіла в часі:

$$P_1 = P - V\rho_1 g \quad (1)$$

Знайдімо вагу тіла у воді:

$$P_2 = P - V\rho_2 g \quad (2)$$

Із рівняння (1) випливає:

$$P = P_1 + V\rho_1 g.$$

Підставмо його в рівняння (2):

$$P_2 = P_1 + V\rho_1 g - V\rho_2 g.$$

Звідси:

$$P_2 - P_1 = Vg(\rho_1 - \rho_2),$$

$$V = \frac{P_2 - P_1}{g(\rho_1 - \rho_2)},$$

$$V = \frac{(4 - 5) \cdot 10^{-3}}{10(-0,2)} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Знайдімо вагу тіла в повітрі:

$$P = P_1 + \rho_1 g \frac{P_2 - P_1}{g(\rho_1 - \rho_2)} =$$

$$= P_1 + g \frac{\rho_1}{\rho_1 - \rho_2} (P_2 - P_1)$$

$$P = \frac{1}{\rho_1 - \rho_2} ([P_1(\rho_1 - \rho_2)] + \rho_1 [P_2 - P_1]) =$$

$$= \frac{\rho_1 P_2 - \rho_2 P_1}{\rho_1 - \rho_2}$$

$$P = \frac{0,8 \cdot 4 - 5}{-0,2} = 18/0,2 = 9 \text{ Н.}$$

Знайдімо густину тіла:

$$\rho = \frac{P}{Vg} = \frac{\rho_1 P_2 - \rho_2 P_1}{(\rho_1 - \rho_2)g} \cdot \frac{(\rho_1 - \rho_2)g}{P_2 - P_1} =$$

$$= \frac{0,8 \cdot 4 - 5}{-1} = 1,8 \text{ г/см}^3$$

### Задача 2.

Запишімо залежність радіуса кульки від температури:

$$R_i = R_0(1 + \alpha t_i).$$

Звідси

$$R_1 = R_0(1 + \alpha t_1) \quad (1)$$

$$R_2 = R_0(1 + \alpha t_2) \quad (2)$$

$$R_3 = R_0(1 + \alpha t_3) \quad (3)$$

З рівнянь (1) і (2) знайдімо  $R_0$  та  $\alpha$ .

$$\frac{R_1}{1 + \alpha t_1} = \frac{R_2}{1 + \alpha t_2} = R_0,$$

$$R_1 + \alpha R_1 t_2 = R_2 + \alpha R_2 t_1,$$

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 t_2 - R_2 t_1}.$$

$$R_0 = \frac{R_2}{1 + \frac{(R_2 - R_1)t_2}{R_1 t_2 - R_2 t_1}} =$$

$$= \frac{R_2(R_1 t_2 - R_2 t_1)}{R_1 t_2 - R_2 t_1 + R_2 t_2 - R_1 t_2} =$$

$$= \frac{R_2(R_1 t_2 - R_2 t_1)}{R_2(t_2 - t_1)} = \frac{R_1 t_2 - R_2 t_1}{t_2 - t_1}$$





Із рівняння (3) знайдемо температуру  $t_3$

$$\begin{aligned}
 t_3 &= \frac{R_3 - R_0}{R_0 \alpha} = \\
 &= \frac{R_3 - \frac{R_1 t_2 - R_2 t_1}{t_2 - t_1}}{R_1 t_2 - R_2 t_1} = \\
 &= \frac{R_3 t_2 - R_3 t_1 - R_1 t_2 + R_2 t_1}{(t_2 - t_1)(R_2 - R_1)} = \\
 &= \frac{t_2(R_3 - R_1) + t_1(R_2 - R_3)}{R_2 - R_1} = \\
 &= \frac{-60 \cdot 1 + 35 \cdot 3}{2} = \frac{45}{2} = 22,5 \text{ } ^\circ\text{C}.
 \end{aligned}$$

### Задача 3.

З умови плавання тіл випливає:

$$\begin{aligned}
 F_A &= m_{\text{л}} g. \\
 m_{\text{л}} &= (V_1 + V_2) \rho_{\text{л}} \\
 \rho_{\text{в}} g V_2 &= g(V_1 + V_2) \rho_{\text{л}} \\
 V_2 &= \frac{V_1 \rho_{\text{л}}}{\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}}} = 1038 \text{ м}^3.
 \end{aligned}$$

### Задача 4.

За умовою задачі

$$S_2 = \frac{S}{4} = V_1 t_1,$$

тоді

$$t_1 = \frac{S}{4V_1}.$$

Загальний час руху буде:

$$t = t_1 + t_2 + t_3.$$

Нехай

$$t' = t_2 + t_3,$$

де  $t_2$  – час руху зі швидкістю  $V_2$ .

За умовою

$$t_2 = t_3,$$

тоді

$$t_2 = t_3 = \frac{t'}{2},$$

$$\frac{3}{4} S = V_2 t_2 + V_3 t_3 = \frac{t'}{2} (V_2 + V_3).$$

Звідси,

$$t' = \frac{6}{4} \frac{S}{V_2 + V_3} = \frac{3}{2} \frac{S}{V_2 + V_3}.$$

Знайдемо середню швидкість:

$$\bar{v} = \frac{S}{t_1 + t'} = \frac{S}{\frac{S}{4V_1} + \frac{3}{2} \frac{S}{V_2 + V_3}} = \frac{4V_1(V_2 + V_3)}{V_2 + V_3 + 6V_1}.$$

Звідси одержуємо  $V_3$ :

$$V_3 = \frac{6V_1 \bar{v} + \bar{v} V_2 - 4V_1 V_2}{4V_1 - \bar{v}} = 124,8 \text{ км/год.}$$

## 9-й клас

### Задача 1.

Оскільки за умовою задачі опір однаковий між будь-якими двома цвяхами, то з огляду на симетрію системи витки дроту мають бути "повними" – кінець дроту має бути на тому ж цвяку що й початок.

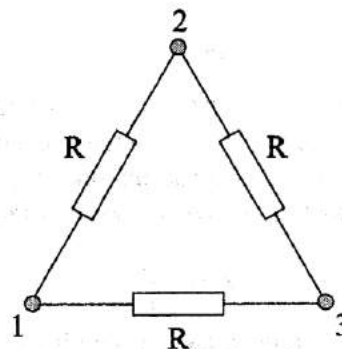


Рис. 1

Знайдімо опір між цвяхами, якщо намотано один виток. Еквівалентну електричну схему зображено на рис. 1. Опір фрагмента дроту, що утворює сторону трикутника, становить

$$R = 1 \text{ Ом/м} \cdot 0,3 \text{ м} = 0,3 \text{ Ом}.$$

Опір деревини, у яку забито цвяхи, вважаємо великим порівняно з опором дроту і не беремо до уваги. Тоді  $r$  опір між цвяхами, наприклад, 1 і 3 можна визначити як опір паралельного з'єднання провідників із опорами  $R$  (ланка 1–3) та  $2R$  (последовно з'єднані ланки 1–2 та 2–3) і становитиме:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{R} + \frac{1}{2R},$$

$$r = \frac{2R}{3}.$$

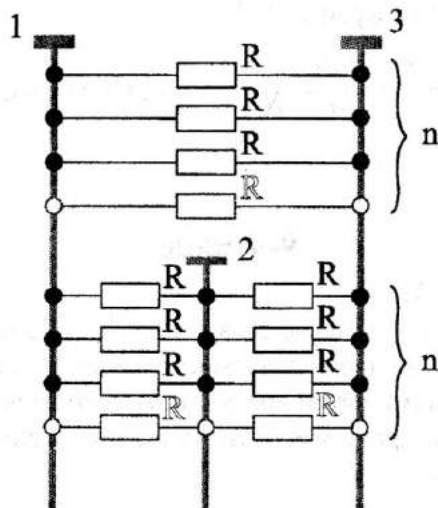


Рис. 2.

Додавання нових витків дроту, як видно із схеми на рис. 2, є еквівалентним паралельному з'єднанню провідників із однаковим опором, тому якщо намотати  $n$  витків, опір між цвяхами становитиме:

$$r_n = \frac{2R}{3n}.$$

Звідси потрібна кількість витків  $n$  становить:

$$n = \frac{2R}{3r_n} = \frac{2 \cdot 0,3 \text{ Ом}}{3 \cdot 0,01 \text{ Ом}} = 20.$$

Отже, треба намотати 20 повних витків.

### Задача 2.

Оскільки віддаль до Сонця є великою, то вважаємо промені Сонця паралельними. Вважаймо м'яч матеріальною точкою. Розглянемо рух м'яча у системі координат, вісь  $Ox$  якої напрямлена вздовж земної поверхні, а початок координат розміщено у місці кидання м'яча (рис. 1). Початок відліку часу відповідає моменту кидання м'яча.

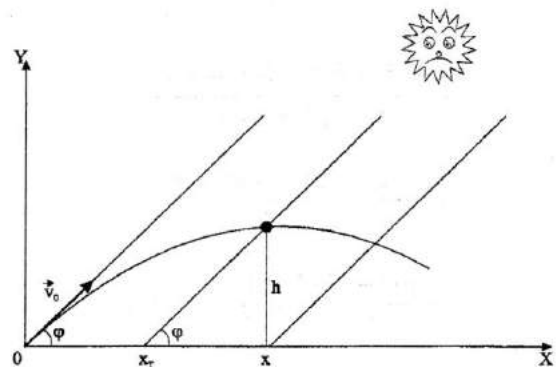


Рис. 1.

Швидкість та координату м'яча вздовж осі  $Ox$  можна знайти як:

$$v_x = v_0 \cos(\varphi). \quad (1)$$

$$x = v_x t = v_0 \cos(\varphi) \cdot t. \quad (2)$$

Із геометричних міркувань (рис. 1) знаходимо зв'язок координати тіні  $x_T$  та м'яча  $x$ :

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{h}{x - x_T},$$

$$x_T = x - \frac{h}{\operatorname{tg}(\varphi)}. \quad (3)$$

Підставивши (2) в (3), отримаємо:

$$x_T = v_0 \cos(\varphi) \cdot t - \frac{h}{\operatorname{tg}(\varphi)}. \quad (4)$$

Висоту польоту м'яча  $h$  можна знайти з такого співвідношення:

$$h = v_0 \sin(\varphi) \cdot t - g \frac{t^2}{2}. \quad (5)$$

Підставивши співвідношення (5) в (4) після математичних спрощень, отримаємо співвідношення для координати тіні:



$$x_T = \frac{g \cdot t^2}{2 \operatorname{tg}(\varphi)}. \quad (6)$$

Порівнюючи рівняння (6) із загальним виглядом залежності, координати тіла від часу при рівноприскореному русі:

$$x = x_0 + v_{0x} \cdot t + a_x \frac{t^2}{2}$$

знаходимо параметри руху тіні:

$$x_{0T} = 0,$$

$$v_{0xT} = 0,$$

$$a_{xT} = \frac{g}{\operatorname{tg}(\varphi)}.$$

Тоді швидкість тіні залежить від часу так:

$$v = v_{axT} + a_{xT} \cdot t = \frac{gt}{\operatorname{tg}(\varphi)}.$$

Отже, швидкість руху тіні м'яча за час  $t$  після його кидання становитиме:

$$v = \frac{gt}{\operatorname{tg}(\varphi)}.$$

### Задача 3.

Розіб'ємо проміжок  $AB$  на  $n$  малих рівних відрізків, у межах яких вважатимемо швидкість руху черепахи постійною (рис. 1). Якщо віддаль між точками  $AB$  становить  $S$ , тоді довжина одного відрізка

$$\Delta x = \frac{S}{n}.$$

Часи, за які черепаха пролазить кожен із відрізків, —  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ , а швидкості черепахи на цих відрізках —  $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ .

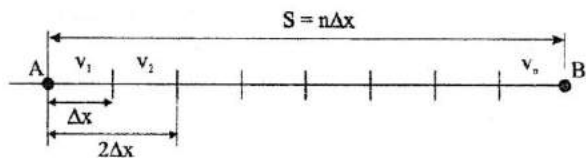


Рис. 1.

Знайдімо час, за який черепаха пролазить увесь відрізок  $AB$ :

$$\begin{aligned} t &= t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n = \\ &= \frac{\Delta x}{v_1} + \frac{\Delta x}{v_2} + \frac{\Delta x}{v_3} + \dots = \frac{\Delta x}{v_n} \end{aligned} \quad (1)$$

Швидкістю черепахи на відрізку вважатимемо її швидкість в кінці відрізка. Враховуючи закон зміни швидкості

$$v = \frac{c}{x+a},$$

швидкість на кожному з відрізків становитиме:

$$\begin{aligned} v_1 &= \frac{c}{\Delta x + a}, \quad v_2 = \frac{c}{2\Delta x + a}, \\ v_3 &= \frac{c}{3\Delta x + a}, \dots, v_n = \frac{c}{n\Delta x + a} \end{aligned} \quad (2)$$

Тоді час, за який черепаха пролазить увесь відрізок  $AB$  (1) із врахуванням (2), становитиме:

$$\begin{aligned} t &= \frac{\Delta x}{c/(\Delta x + a)} + \frac{\Delta x}{c/(2\Delta x + a)} + \\ &+ \frac{\Delta x}{c/(3\Delta x + a)} + \dots + \frac{\Delta x}{c/(n\Delta x + a)} = \\ &= \frac{\Delta x}{c} (\Delta x + a) + (2\Delta x + a) + \\ &+ (3\Delta x + a) + \dots + (\Delta x + a) + (2\Delta x + a) + (n\Delta x + a) \\ &= \frac{\Delta x}{c} (na + \Delta x + 2\Delta x + 3\Delta x + \dots + n\Delta x) = \\ &= \frac{\Delta x}{c} (na + \Delta x(1 + 2 + 3 + \dots + n)) \end{aligned}$$

Сума у дужках є арифметичною прогресією, сума якої становить  $n \cdot (n + 1) / 2$ . Тоді

$$t = \frac{\Delta x}{c} \left( na + \Delta x \frac{n(n+1)}{2} \right). \quad (3)$$

Оскільки  $\Delta x = \frac{S}{n}$ , то вираз (3) матиме вигляд:

$$t = \frac{S}{cn} \left( na + \frac{Sn(n+1)}{2n} \right) = \frac{S}{c} a + \frac{S^2}{c} \cdot \frac{n+1}{2n}. \quad (4)$$





Проаналізуємо вираз

$$\frac{n+1}{2n} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2n}. \quad (5)$$

За умови, що швидкість є постійною в межах одного відрізка, потрібно, щоб його ширина  $\Delta x$  була малою. Отже, кількість відрізків розбиття  $n$  має бути великим. Тоді другим доданком у виразі (5) можна знехтувати:

$$\frac{n+1}{2n} \cong \frac{1}{2}. \quad (6)$$

Підставивши (6) в (4), матимемо:

$$t = \frac{S}{c}a + \frac{S^2}{2c} = \frac{2Sa + S^2}{2c} = \frac{2a + S}{2c}S. \quad (7)$$

Тоді середня швидкість черепахи на проміжку АВ становитиме:

$$\begin{aligned} \langle v \rangle &= \frac{S}{t} = \frac{2c}{2a + S} = \\ &= \frac{2 \cdot 0,1 \text{ м}^2/\text{с}}{2 \cdot 2 \text{ м}} = 0,025 \text{ м/с} = 2,5 \text{ см/с}. \end{aligned}$$

Отже, середня швидкість черепахи на проміжку АВ становила 2,5 см/с.

#### Задача 4.

Електрична потужність плити є постійною. Енергію, яку затрачено на нагрів води від початкової температури до температури кипіння запишемо у вигляді:

$$Pt_1 = Q_1 = cm(T_k - T_0), \quad (1)$$

де  $P$  – ефективна потужність нагрівника;  $Q_1$  – кількість теплоти, яку отримала вода під час нагрівання до температури кипіння;  $T_0 = 10^\circ\text{C}$  – початкова температура води;  $T_k = 100^\circ\text{C}$  – температура кипіння води;  $m$  – маса води;  $c$  – питома теплоємність води;  $t_1$  – час, за який вода нагрілась до температури кипіння. Аналогічно під час кипіння води

$$Pt_2 = Q_2 = Lm, \quad (2)$$

де  $Q_2$  – кількість теплоти, яку отримала вода під час кипіння,  $t_2$  – час, за який вода википіла,  $L$  – питома теплота пароутворення.

Знаходячи потужність із (1) і (2) та прирівнюючи їх, визначмо час  $t_2$ .

$$\begin{aligned} t_2 &= \frac{t_1 L}{c(T_k - T_0)} = \\ &= \frac{15 \text{ хв} \cdot 2240 \text{ кДж/кг}}{4,2 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)} \cdot 90 \text{ К}} \approx 89 \text{ хв}. \end{aligned}$$

Тоді весь час, упродовж якого чайник перебував без нагляду, становив

$$t_1 + t_2 = 104 \text{ хв} = 1 \text{ год } 44 \text{ хв}.$$

Отже, чайник перебував без нагляду господаря упродовж 1 год 44 хв.

### 10-й клас

#### Задача 1.

Вибухнувши у найвищій точці траєкторії, снаряд розлетівся на багато осколків, кожен з яких отримав додаткову швидкість  $u$ , вектор якої спрямований для кожного осколка в різні боки. Максимальну швидкість матиме той осколок, який отримує додаткову швидкість  $u$ , направлену горизонтально:

$$v_{\max} = v \cos \alpha + u, \quad (1)$$

де  $v$  – швидкість вильоту снаряда із гармати.

Отже, щоб знайти  $v_{\max}$ , треба знати швидкість вильоту снаряда з гармати і додаткову швидкість  $u$ , яку отримали осколки завдяки вибуху.

Із умови задачі відомо, що осколки випали на землю за час  $t$ . Зрозуміло, що першим впаде на землю осколок, який мав швидкість  $u$  направлену до землі, а найпізніше – осколок, швидкість якого направлена догори.

Якщо снаряд вибухнув на висоті  $h$ , то спочатку другий осколок полетів догори, досягнувши своєї максимальної висоти, почав падати вниз. На висоті  $h$  він матиме вертикальну швидкість  $u$ , спрямовану до низу. Тобто він матиме такі ж параметри руху, як перший осколок за час  $t$  перед тим. Зміна швидкості  $2u$  відбулася за час  $t$  завдяки дії прискорення  $g$ :

$$2u = gt \Rightarrow u = \frac{gt}{2}. \quad (2)$$



Осколок, який отримав додаткову швидкість  $u$  у напрямку перпендикулярному до вектора горизонтальної швидкості, відхилиться в бік від центра мас усіх осколків на віддаль  $\Delta z$ . Для оцінки припустимо, що максимальне відхилення в бік буде меншим від добутку максимальної горизонтальної швидкості осколка на максимально можливий час перебування в повітрі. Максимальний час перебуватиме в повітрі осколок, який внаслідок вибуху снаряда на висоті  $h$  полетить догори.

$$t_{\max} = \frac{v_{\text{кін}} - v_{\text{поч}}}{g} = \frac{\sqrt{2gh + u^2} + u}{g}$$

Зрозуміло,

$$2gh = v^2 \sin^2 \alpha$$

Тому

$$\Delta z \leq u \cdot t_{\max} = \frac{\sqrt{v^2 \sin^2 \alpha + u^2} + u}{g} \cdot u \quad (3)$$

Знайдемо  $\Delta z$  на підставі величини площі розсіяння осколків:

$$\Delta z \approx \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (4)$$

якщо площа своїми обрисами подібна на круг, або

$$\Delta z \approx \sqrt{\frac{S}{4}}$$

якщо площа своїми обрисами подібна на квадрат.

Прирівнюючи формули (3) і (4), оцінімо значення швидкості вилітання снаряда з гармати.

$$v \geq \frac{\sqrt{\left(\frac{g}{u} \sqrt{\frac{S}{\pi}} - u\right)^2 - u^2}}{\sin \alpha}$$

Звернувшись до формул (1) та (2), знайдемо:

$$v_{\max} = \frac{\sqrt{\left(\frac{g}{u} \sqrt{\frac{S}{\pi}} - u\right)^2 - u^2}}{\operatorname{tg} \alpha} + u$$

Отриманий результат є оцінкою, оскільки ми використали наближені формули для встановлення зв'язку між максимальними розмірами фігури, утвореної осколками, та її площею.

### Задача 2.

Робота порохівих газів

$$A \approx Fl,$$

де  $l$  – довжина частини кулі всередині гільзи.

Оскільки

$$A = \frac{p^2}{2} \left( \frac{1}{m_{\Gamma}} + \frac{1}{m_{\text{К}}} \right),$$

то швидкість кулі буде:

$$v = \frac{p}{m_{\text{К}}} = \frac{1}{m_{\text{К}}} \sqrt{2A \frac{m_{\Gamma} m_{\text{К}}}{m_{\Gamma} + m_{\text{К}}}}$$

У рушниці робота порохівих газів буде:

$$A_0 \approx FL,$$

де  $L$  – довжина розгону кулі в стволі.

За законом збереження енергії:

$$A_0 = \frac{m_{\text{К}} v_0^2}{2} - A_1,$$

де  $A_1$  – робота сили тертя ковзання кулі по стволу.

Нехтуючи  $A_1$ , знаходимо:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2A_0}{m_{\text{К}}}}$$

Швидкість кулі під час стрільби:

$$v_0 \approx \left( \frac{1}{m_{\text{К}}} \right) \sqrt{2A_0 m_{\text{К}}}$$

без врахування віддачі рушниці.

Отже, 
$$v \approx v_0 \sqrt{\frac{\frac{A}{A_0}}{\frac{m_{\Gamma} + m_{\text{К}}}{m_{\Gamma}}}}$$

Припускаючи, що сила тиску порохівих газів  $F$  майже постійна та однакова в цих двох випадках, маємо:

$$v \approx v_0 \sqrt{\frac{\frac{l}{L}}{1 + \frac{m_{\text{К}}}{m_{\Gamma}}}} \approx 40 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

коли

$$\frac{l}{L} \approx 10^2, \quad \frac{m_{\text{К}}}{m_{\Gamma}} \approx 3$$

**Задача 3.**

Потрібно розглянути два випадки:

1.  $kmg \geq \chi l$ ,
2.  $kmg < \chi l$ .

1. Камера перебуває у стані спокою:

$$(p - p_0)S = \chi l,$$

$$p \cdot 2 \frac{Sl}{T} = p_0 \cdot \frac{Sl}{T_0}.$$

Звідси

$$\frac{T}{T_0} = 2 \left( 1 + \frac{\chi l}{pS} \right) \text{ при } kmg \geq \chi l.$$

 2. Камера перебуває у стані спокою до моменту досягнення максимального значення сили тертя спокою. Знайдемо температуру  $T$ , яка відповідає цьому моменту.

Деформація пружини буде:

$$x = \frac{kmg}{\chi}$$

до того ж

$$p - p_0 = \frac{kmg}{S}, \quad \frac{pS(l+x)}{T} = \frac{p_0Sl}{T_0},$$

$$\frac{T}{T_0} = \left( 1 + \frac{kmg}{p_0S} \right) \left( 1 + \frac{kmg}{\chi l} \right).$$

Після виникнення проковзування камери процес збільшення об'єму йде при постійному тиску:

$$\frac{T}{T'} = \frac{T}{T_0} = \frac{V}{V'} = \frac{2lS}{(l+x)S} = \frac{2}{1 + \frac{kmg}{\chi l}}$$

 Підставляючи в цей вираз значення  $T'$ , отримуємо:

$$\frac{T}{T_0} = 2 \left( 1 + \frac{kmg}{pS} \right) \text{ при } kmg < \chi l.$$

**Задача 4.**

Кулька, що рівномірно обертається, має доцентрове пришвидшення, яке створює сила Кулона:

$$F_k = k \frac{q_0 q}{R^2}, \quad F_D = \frac{m v^2}{R}.$$

Враховуючи, що між лінійною швидкістю і кутовою існує співвідношення:

$$v = \omega R,$$

 запишімо рівність і знайдемо з неї відношення заряду  $q$  кульки до її маси  $m$ :

$$k \frac{q_0 q}{R^2} = m \omega^2 R,$$

$$\frac{q}{m} = \frac{\omega^2 R^3}{k q_0} = 8 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}.$$

**11-й клас**
**Задача 1.**

За рівнянням Менделєєва-Клапейрона

$$P_1 V_1 = \nu_1 RT,$$

$$P_2 V_2 = \nu_2 RT,$$

$$P(V_1 + V_2) = \nu RT,$$

 де  $\nu_1$  та  $\nu_2$  – це кількість речовини відповідно в першому і другому балонах,  $\nu$  – загальна кількість речовини.

Оскільки

$$\nu = \nu_1 + \nu_2,$$

одержимо

$$P = \frac{P_1 V_1 + P_2 V_2}{V_1 + V_2}.$$

**Задача 2.**

 Рідина у конденсаторі підніметься на таку висоту  $h$ , щоб повна енергія  $W$  замкненої системи у стані стійкої рівноваги була мінімальна. Ця енергія складається з потенціальної енергії рідини висотою  $h$ :

$$\frac{mgh}{2} = \frac{\rho g d \alpha h^2}{2}$$

й енергії електричного поля конденсатора

$$\frac{q^2}{2C} \quad (q = \text{const}),$$

 де  $\frac{h}{2}$  – висота центра маси рідини.





Ємність такої системи можна розрахувати, зобразивши її у вигляді двох паралельно з'єднаних конденсаторів. Між пластинами одного з конденсаторів знаходиться діелектрик, тоді

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 \epsilon \alpha h}{d},$$

а іншого – повітря, то

$$C_2 = \frac{\epsilon_0 (\alpha^2 - \alpha h)}{d}.$$

Сумарна ємність двох паралельно з'єднаних конденсаторів:

$$C = C_1 + C_2 = \frac{\epsilon_0 \alpha^2}{d} \left( 1 + (\epsilon - 1) \frac{h}{\alpha} \right).$$

Отже,

$$W = \frac{\rho g \alpha d h^2}{2} + \frac{q^2}{2C}.$$

Далі знайдемо значення величини  $h$ , при якій енергія системи буде мінімальною. Прирівнюючи до нуля похідну енергії по  $h$   $W' = 0$ , отримаємо

$$\rho g \alpha d h - \frac{q^2}{2C^2} \frac{\epsilon_0 \alpha (\epsilon - 1)}{d} = 0.$$

Звідси:

$$h = \frac{\epsilon_0 (\epsilon - 1) U^2}{2 \rho g d^2}.$$

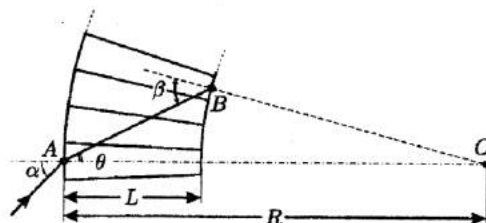
### Задача 3.

Промінь світла, який падає на більшу основу трапеції, декілька разів відбивається від дзеркальних бічних поверхонь, тоді потрапляє на малу основу трапеції. Він пройде через малу основу трапеції, якщо кут падіння його не перевищує граничний кут повного внутрішнього відбивання:

$$\sin \beta_{\max} = \frac{1}{n}.$$

Для розв'язку цієї задачі використаємо метод відображень. Симетрично відносно бічної грані, на якій відбувається дзеркальне відбивання променя, будемо послідовно відображати пластинку.

Після таких послідовних відображень отримаємо, що промінь проходить бічну поверхню трапеції наскрізь. Це відображення ходу променя у пластинці виглядає так, ніби ми відбиваємо пластинку разом із променем відносно бічної поверхні (див. рис.).



Застосуємо до трикутника  $ABO$  теорему синусів:

$$\frac{\sin \theta}{R - L} = \frac{\sin(\pi - \beta)}{R}.$$

Враховуючи, що

$$R = \frac{D}{2 \operatorname{tg}(\varphi/2)},$$

одержимо

$$\begin{aligned} \sin \theta_{\max} &= \left( 1 - \frac{L}{R} \right) \sin \beta_{\max} = \\ &= \frac{1}{n} \left( 1 - \frac{2L}{D} \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right). \end{aligned}$$

Кут  $\alpha_{\max}$  визначаймо із закону заломлення променя:

$$\sin \alpha_{\max} = n \sin \theta_{\max}.$$

Враховуючи малість кута  $\varphi$ :

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \approx \frac{\varphi}{2},$$

остаточно отримаємо:

$$\sin \alpha_{\max} \approx 1 - \frac{L\varphi}{D},$$

$$\alpha_{\max} \approx \arcsin \left( 1 - \frac{L\varphi}{D} \right).$$

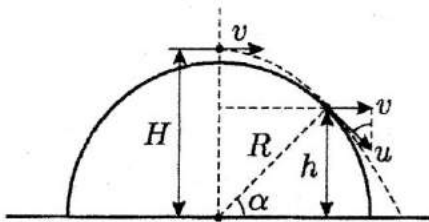
Промінь світла пройде крізь пластинку за кутів падіння:

$$\alpha < \alpha_{\max}.$$

**Задача 4.**

Мінімальна швидкість кульки в момент падіння на площину досягається під час кидання її з мінімальною повною енергією. Потрібно правильно вибрати висоту кидання кульки та її швидкість.

Очевидно, що оптимальна траєкторія польоту кульки мусить майже доторкатись до півсфери у деякій точці. Позначмо початкову швидкість тіла  $v$ , швидкість кульки в точці дотику до півсфери –  $u$ , висоту з якої кидують кульку –  $H$ .



Нехай траєкторія польоту кульки майже доторкається до півсфери на висоті  $h = R \sin \alpha$ , де  $\alpha$  – це кут між горизонтом і радіусом півсфери, проведеним в точку дотику. Вектор швидкості кульки  $\vec{u}$  напрямлений по дотичній до півсфери і в точці дотику утворює кут  $\alpha$  з вертикалю. Горизонтальна складова швидкості  $u$  з часом не змінюється і виражається через кут  $\alpha$  так:

$$v = u \sin \alpha.$$

Час польоту кульки до точки дотику буде

$$t = \frac{R \cos \alpha}{v}.$$

Вертикальна складова швидкості змінюється за законом:

$$u \cos \alpha = gt = \frac{gR \cos \alpha}{v}.$$

Із цих рівнянь для швидкості  $v$  отримаємо:

$$v^2 = gR \sin \alpha.$$

По вертикалі кулька вільно падає і до точки дотику проходить відстань

$$H - h = \frac{gt^2}{2} = \frac{gR^2 \cos^2 \alpha}{2v^2} = \frac{R \cos^2 \alpha}{2 \sin \alpha}.$$

Звідси висота, з якої кидують кульку, дорівнює:

$$H = \frac{R(\sin^2 \alpha + 1)}{2 \sin \alpha}.$$

Запишемо вираз для повної енергії кульки в точці кидання:

$$\begin{aligned} E &= mgH + \frac{mv^2}{2} = \\ &= mgR \left( 2 \sin \alpha + \frac{1}{\sin \alpha} \right). \end{aligned}$$

Мінімальне значення повної енергії в момент кидання забезпечується мінімальним значенням кута  $\alpha$ :

$$\begin{aligned} E' = 0 &\Rightarrow 2 \cos \alpha - \frac{\cos \alpha}{\sin^2 \alpha} = 0 \Rightarrow \\ \sin \alpha &= \frac{1}{\sqrt{2}} \end{aligned}$$

Отже, мінімальне значення повної енергії кульки під час кидання досягатиметься, коли  $\alpha = 45^\circ$  в точці дотику до півсфери. Відповідне значення повної енергії буде:

$$E_{\min} = \sqrt{2} mgR.$$

У момент падіння кульки на площину її потенціальна енергія дорівнює нулеві. Мінімальна швидкість кульки визначимо із закону збереження повної енергії:

$$\begin{aligned} E_{\min} &= \sqrt{2} mgR = \frac{mv_{\min}^2}{2}, \\ v_{\min} &= \sqrt{2\sqrt{2}gR}. \end{aligned}$$

**Шиманська О. Т. Молекулярна фізика. Фізичний практикум. –**

Львів: Євросвіт, 2009. – 350 с.

О. Т. Шиманська

**МОЛЕКУЛЯРНА  
ФІЗИКА.  
ФІЗИЧНИЙ  
ПРАКТИКУМ**

Навчальний посібник підготовлено на кафедрі фізико-математичних наук факультету природничих наук Національного університету “Києво-Могилянська академія”. У ньому викладено основи теорії похибок, описано лабораторні роботи до курсу “Молекулярна фізика”, які виконують студенти 2-го року навчання, подано практичні вказівки щодо опрацювання результатів прямих і не прямих вимірювань, за відтворених і не відтворених умов дослідів. Подано приклади застосування методів математичного опрацювання результатів під час прямих і не прямих вимірювань фізичних величин, приклади застосування методу найменших квадратів. Окремий розділ присвячено основним визначенням, законам та формулам молекулярної фізики. У додатку подано таблиці фізичних властивостей речовин у газовому, рідкому і твердому станах.

Для студентів фізичних спеціальностей та студентів природничих факультетів університетів, на яких вивчають загальний курс фізики.

**Романтик шахів та його епоха. Степан Попель /Упорядник Іван Яремко. –**

Львів: Євросвіт, 2009. – 240 с.



У популярному виданні зібрано публікації, спогади про відомого українського шахіста Степана Попеля, найкращого маестро міжвоєнного Львова, неодноразового чемпіона Парижа, переможця турнірів на американському континенті. Подано сторінки з різних видань України, Польщі, Німеччини, Франції, Канади, США за різні роки.

Зібрано десятки партій Степана Попеля, зокрема й з одинадцятим чемпіоном світу Робертом Фішером.

Книжка багато ілюстрована.

Для шанувальників історії українського спорту, аматорів шахів, широкого загалу.

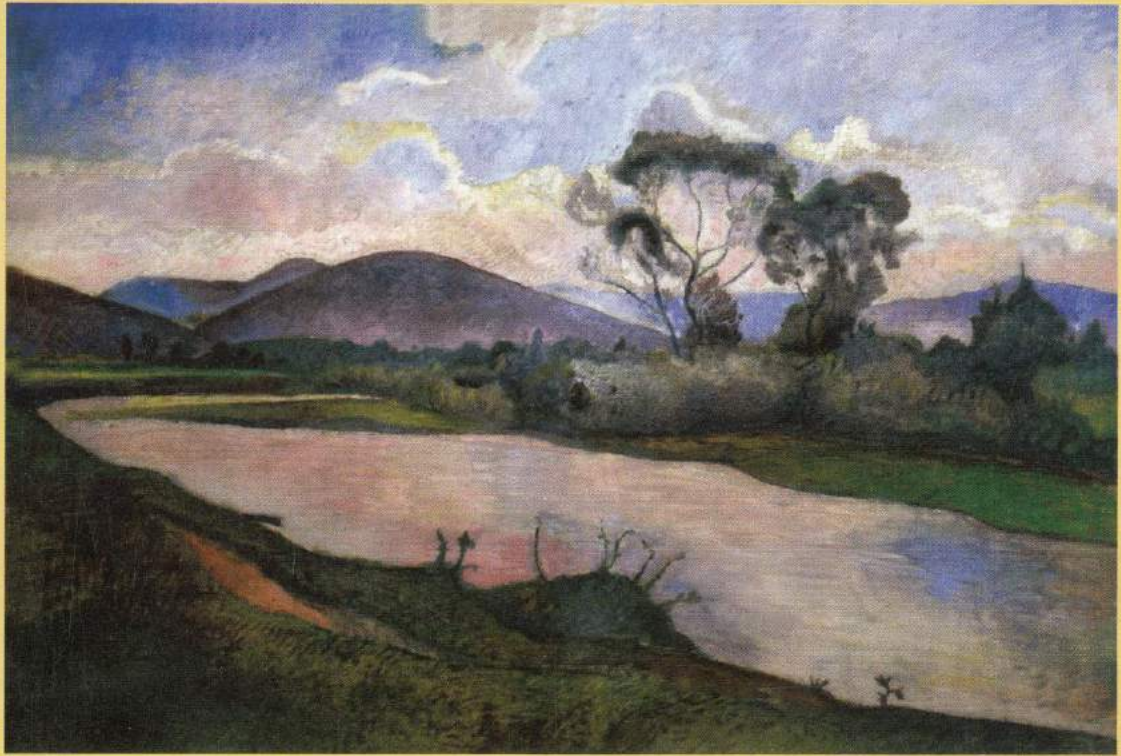
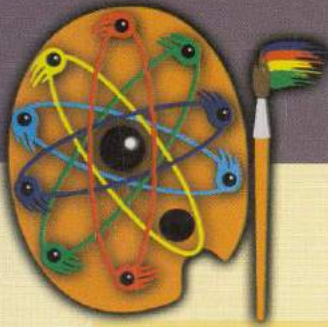
**ШАНОВНІ ЧИТАЧІ!**

**Не забудьте передплатити  
науково-популярний журнал “Світ фізики”,  
попередні числа видання можна замовити  
в редакції журналу за адресою:**



вул. Саксаганського, 1,  
м. Львів, 79005, а/с 6700;  
Phworld@franko.lviv.ua





**Роман Сельський (1903–1990)**  
**Болехів. Картон, олія. 1920.**

**Роман Сельський – маляр-імпресіоніст. Народився 1903 року у м. Сокалі на Львівщині. Син правника Юліана Сельського. Навчався у Львівській художньо-промисловій школі (1921–1922), у Краківській академії мистецтв (1922–1927), перебував у Парижі (1927–1929).**

**Він був учасником численних виставок, зокрема, з морської («Порт», «Море», «Рибальська гавань») та гірської (серія з Чорногори, 1969–1971) тематики. Митець створив чудові пейзажі, портрети та натюрморти.**

**На творчості Сельського відбилися модерні течії західного мистецтва, особливо сюрреалізм. Його картини є в колекціях Київського, Львівського і Варшавського музеїв. З 1947 року Р. Сельський – викладач Львівського інституту прикладного та декоративного мистецтва.**

**Помер Роман Сельський 1990 року у Львові.**