

## ПОСТАТЬ ОЛЕКСАНДРА СМАКУЛИ В ІСТОРІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ФІЗИКИ

*Ярослав ДОВГИЙ*

Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Кирила і Мефодія 8, Львів 79005  
e-mail: dovgy@physics.wups.lviv.ua

Редакція отримала статтю 21 вересня 2010 р.

До 110-річчя дійсного члена НТШ,  
професора Олександра Смакули (1900-1983)

У статті визначено поняття „технологічна фізика” і показано, що одним з піонерів у становленні цього напрямку експериментальної фізики був Олександр Смакула.

### 1. ПРО ФІЗИКУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНУ І ТЕОРЕТИЧНУ

Фізика є передовсім наукою експериментальною. Як відомо, експериментальний метод Галілея започаткував класичну фізику. Нині кожен професор вищої школи знає, що без постановки демонстраційних дослідів викладання фізики (як загального курсу, так і окремих спеціальних курсів) не може вважатися повноцінним.

Експеримент у фізиці – це запрограмоване відтворення певного явища з вимірюванням параметрів явища та визначенням відповідних функціональних залежностей або закономірностей.

Як розуміти вислів “визначення закономірностей”? Насамперед – це первісне експериментальне виявлення параметричних залежностей, що адекватно описують явище, себто відкриття фізичного закону чи емпіричного правила. Окрім того, це також може бути перевірка (підтвердження або спростування) теоретично передбачуваної закономірності, моделі.

То що ж тоді первинне – експеримент чи теорія? Запитання, звісно, на кшталт – “курка чи яйце?...” Загально визнано, що теоретична фізика (як класична, основоположні засади якої були закладені Ньютоном і Кеплером як принципи аналітичної теоретичної механіки, так і модерна теоретична фізика з її основними теоріями – квантовою механікою і теорією відносності) є базою наукового світобачення або, як кажуть, наукової картини світу.

Поділ фізики на експериментальну і теоретичну став звичним до такої міри, що він впливає на формування структур відповідних академічних інститутів, університетських кафедр, на напрямки підготовки спеціалістів та політику комплектування наукових кадрів.

## 2. ТЕХНОЛОГІЇ – НОВИЙ АСПЕКТ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ФІЗИКИ

Метою цієї статті є висвітлення нової, дещо затіненої грані у погляді на експериментальну фізику, а саме, сучасного акцентування її **технологічних** аспектів. Можливо, через деякий час це спричиниться й до зміни парадигми...

Одним із фундаторів технологічного напрямку експериментальної фізики був славетний український фізик Олександр Смакула [1].

Що таке “технологія”? Мовознавці цей термін витлумачують як “сукупність способів переробки матеріалів, виготовлення виробів і процеси, що супроводять ці види робіт”. Нині вельми актуальними є т.зв. високі технології – нанотехнології, комп’ютерні технології, біотехнології та ін. [2]. Ключовим словом усякої технології є “ноу-хау” (“знаю, як”), тобто знання всіх тонкощів процесів, що забезпечують її реалізацію. Звичайно, у цьому розумінні можна говорити й про технологію постановки демонстраційного експерименту, будь-якого оригінального фізичного досліду. Але тут доречнішим буде вживати термін “методика”, оскільки він є твердо усталеним у науковій та методичній літературі.

Найголовніше у технологіях – одержання матеріалів та виробів з наперед заданими, очікуваними властивостями.

Отже, технології – це:

1. цілеспрямоване керування властивостями матеріалів, функціональних елементів та пристроїв;
2. програма та засоби реалізації відповідних процесів.

Одна річ – висунути нову фізико-технічну ідею, інша – забезпечити можливість її технологічного втілення. Якби О. Смакула у 1935 р. лише обнародував ідею просвітлення оптики, але не запропонував та не продемонстрував на фірмі Цайс-Сна технологію просвітлення фотографічних об’єктивів, то хто знає, чи його патент знайшов би світове визнання.

Афоризм “пануватиме той, хто володіє інформацією” належить доповнити: “і технологіями”. Бо, окрім технологічного алгоритму (інформації), необхідні засоби реалізації запрограмованих процесів. У сучасних високих технологіях це дуже складне, автоматизоване і високоточне обладнання, яке доступне небагатьом. Недарма відомий польський письменник Станіслав Лем (до речі, уродженець Львова та гімназійний учень професора Мирона Зарицького) одну із найцікавіших своїх футурологічних книг (1964 р.) щодо майбутньої ролі кібернетики і космонавтики так і назвав – “Сума технологій”...



Рис. 1. Титульна сторінка патенту О. Смакули.

### 3. ХТО ПЕРШИМ ЗАПАТЕНТУВАВ СПОСІБ ПРОСВІТЛЕННЯ ОПТИКИ?

Необхідність просвітлення оптики (або підвищення прозорості оптичних об'єктів, призм чи вікон за рахунок зменшення відбивної здатності оптичних поверхонь) зумовлена двома причинами. По-перше, якщо оптична система складається з елементів з високими показниками заломлення або ж якщо кількість елементів велика, втрати світла із-за відбивань можуть стати надто великими (понад 80%). По-друге, в результаті багатократних відбивань на фотоприймач попадатиме дифузний світловий потік (дифузне тло), що призведе до зменшення контрасту та чіткості зображення.

Майже століття після винайдення фотографії (1840 р.) на ці обставини не звертали увагу, оскільки фотооб'єктиви були однолінзові або не вельми складні.

Перший патент на спосіб виготовлення просвітленої оптики одержав Олександр Смакула. Спосіб просвітлення оптики, розроблений О. Смакулою, був запатентований 1 листопада 1935 р. [3]. Хоч патент більше року був засекречений [4], пріоритет О. Смакули загально-визнаний [5,6].

#### 4. ТЕХНОЛОГІЯ ПРОСВІТЛЕННЯ ОПТИКИ

Процес виготовлення просвітленої оптики зводиться до програмованого нанесення тонкоплівкових просвітлюючих покриттів. Серед розмаїття методів нанесення плівок, найголовніший – термічне напилення у високому вакуумі. Останнім часом застосовують також технології лазерного напилення. Покриття виходять довговічні й високоефективні.

Домогтися ахроматичного просвітлення, тобто просвітлення в широкій області спектра, та ще й за умови різних кутів падіння світлових променів – це складна багатопараметрична задача. Адже для цього необхідні багат шарові тонкоплівкові покриття з нанесенням шарів змінної товщини. Олександр Смакула розробив технологію і апаратуру для одержання таких багат шаровиків за умови, що в процесі нанесення шарів товщину плівок можна регулювати від центра до країв оптичної деталі згідно з будь-якою бажаною закономірністю [7].

У загальному, проблема синтезу просвітлюючих покриттів зводиться до мінімізації функціоналу  $F$ , який для діапазону хвильових чисел  $[k_1, k_2]$  у випадку падіння світла на оптичну поверхню під довільним кутом  $\gamma$  має вигляд:

$$F = \int_{k_1}^{k_2} \left\{ \beta R_s [k, \gamma, n(x)] + (1 - \beta) R_p [k, \gamma, n(x)] \right\} dk, \quad (1)$$

де  $\beta = \sin^2 \alpha$ ,  $\alpha$  – кут між площиною падіння та площиною поляризації,  $R_s$  і  $R_p$  – френелеві енергетичні коефіцієнти відбивання для  $s$ - і  $p$ -поляризованих хвиль,  $n(x)$  – функція розподілу показника заломлення по нормалі до поверхні просвітлення (т. зв. профільна функція),  $k = 2\pi/\lambda$ .

На рис. 1 і 2 показані результати комп'ютерних обчислень коефіцієнтів відбивання  $R(\lambda)$

$$R(\lambda) = \beta R_s + (1 - \beta) R_p \quad (2)$$

для довільної поляризації [8].

Як бачимо, зміна структури багат шарового тонкоплівкового покриття суттєво впливає на спектри відбивання  $R(\lambda)$  та пропускання  $T(\lambda) = 1 - R(\lambda)$ . У випадку рис. 1 функціонал (1) мінімізований у широкому діапазоні спектра (ахроматичне просвітлення), тоді як композиція, яку характеризує рис. 2, для просвітлення менш придатна.

Із викладеного вище легко зрозуміти також (див. рис. 1 і 2), чому візуально просвітлені об'єктиви у відбитому світлі характеризуються фіолетовим відтінком.

Для найпростішого випадку одношарового покриття при нормальному падінні монохроматичного світла мінімізація відбивної здатності, як вперше показав О. Смакула [3], пов'язана з виконанням двох фізичних вимог:

а) фазова умова:

$$nd = \frac{\lambda}{4} (2m + 1), \quad (3)$$

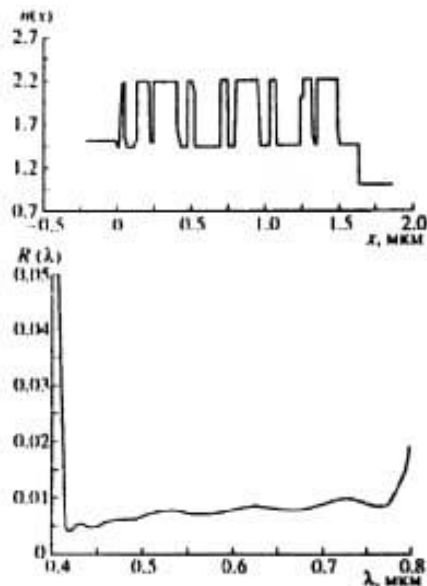


Рис. 2. Профіль показника заломлення  $n(x)$  і спектр відбивання  $R(\lambda)$  для багатошарового покриття при  $\gamma = 45^\circ$ ,  $n_{\min} = 1,45$ ,  $n_{\max} = 2,20$  та  $n_0 = 1,52$ .

де  $n$  і  $d$  – показник заломлення і товщина плівки,  $m = 0,1,2,3,\dots$ ;  
 б) умова амплітуд:

$$n = \sqrt{n_0}, \tag{4}$$

де  $n_0$  – показник заломлення підкладки (оптичної деталі). Щоб добитися мінімального відбивання променів, що падають на поверхню під прямим кутом, плівка повинна мати у всіх місцях однакову товщину. Якщо ж світловий промінь падає на поверхню не під прямим кутом, мінімальне відбивання досягається тільки у випадку неоднакової товщини нанесеної плівки. В цьому випадку рівняння (3) переходить у рівняння [7]

$$d = \frac{\lambda}{4} (2m + 1) \frac{1}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi}}, \tag{5}$$

де  $\varphi$  – змінний кут падіння світлового променя.

О. Смакула писав [4]: “Перехід від винаходу до конвеєрного виробництва вимагав розв’язання різних проблем, які були подолані за відносно короткий час, так що конвеєрне виробництво змогло розпочатися ще у 1936 р. Одним з найважливіших факторів був підбір матеріалу. Вже попередні дослідження показали, що поряд із показником заломлення суттєвий вплив на зменшення відбивання має товщина шару і що йдеться про явище інтерференції. Дотримання товщини шару досягається шляхом випаровування певної кількості речовини в та-

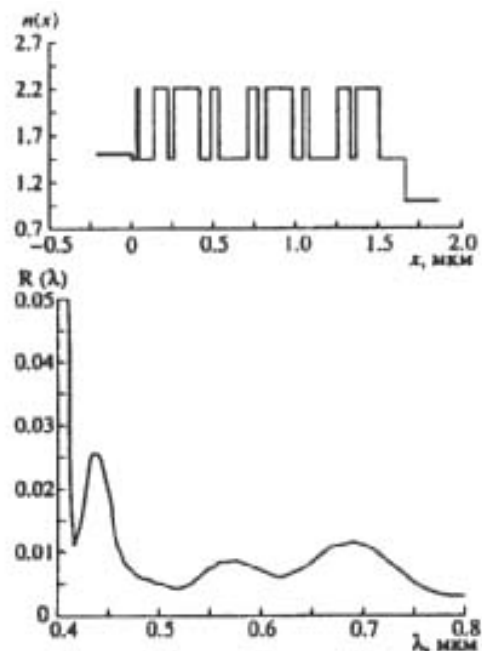


Рис. 3. Зміна спектра відбивання при іншому профілі  $n(x)$  і попередніх параметрах.

ких задалегідь експериментально знайдених умовах, як рівень вакууму, швидкість випаровування, віддаль між джерелом випаровування і поверхнею скла, а також температура поверхні скла. Безпосередній контроль за виготовленими плівками здійснюють шляхом візуального порівняння кольору світла, відбитого від плівки та від еталонних скляних зразків. Рівномірність товщини шару на всій оптичній поверхні досягається шляхом особливого розміщення просвітлюваних оптичних елементів відносно випарників. Відхилення складало в більшості випадків декілька відсотків. Особливих зусиль вимагають малі, сильно випуклі поверхні лінз мікроскопів.

Для серійного виробництва елементів з просвітленою оптикою треба було розробити високопродуктивне обладнання, яке було б простим в експлуатації, але працювало б надійно і швидко. Були сконструйовані подвійні вакуумні установки, два скляні ковпаки яких були вміщені в одній відкачній системі. У той час, як один скляний ковпак відкачується, інший може наповнюватися оптичними елементами. Цією установкою можна було здійснювати щопівгодини нове нанесення плівок.

На підставі цих результатів Цайс отримав патент №685767 від 1 листопада 1935 року. Моє прізвище не було названо, тому що відповідно до тодішнього закону про патенти фірма не мала права назви-

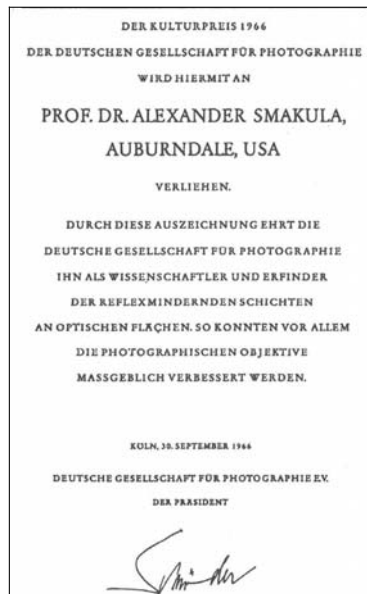


Рис. 4. Почесний диплом від Німецького фотографічного товариства, що його 1966 р. отримав О. Смакула.

вати прізвище винахідника. З військових міркувань патент тримався у таємниці. Лише в 1938 році після публікації Картврігта і Гарнера [9] заборону на публікацію патента було знято”.

Винаходи і розробки професора О. Смакули з просвітлення оптики увійшли в історію фізики. Це золота сторінка в історії фотографічної, кінематографічної та ін. відео-техніки. Цей здобуток нашого вченого відносять до найважливіших винаходів ХХ століття поряд з винаходами транзистора, лазера, інтегральної схеми.

## 5. ЗАСЛУЖЕНА СЛАВА ВІНАХІДНИКА

В листі до брата Андрія, датованому 19 вересня 1966 р., О. Смакула писав: “На 26 вересня я лечу з жінкою до Німеччини. Там запросили мене; дадуть мені культурну премію за мої наукові праці. Буде там наукова конференція фотографічного товариства й інтернаціональна виставка фотографічних і кінових апаратів. Там буде телевізійна передача і всякі промови, де будуть славити мої заслуги для науки. Як вернусь звідти, то напишу Тобі більше як там було”.

Нагороду Німецького фотографічного товариства Олександрові Смакулі в Кельні вручав тодішній міністр закордонних справ ФРН Герхард Шредер. Було це дня 30 вересня 1966 р. У дипломі було написано:

“Цією відзнакою Німецьке фотографічне товариство вшановує

Таблиця 1. Патенти на винаходи проф. О. Смакули зареєстровані у десятках країн світу. Ось декілька прикладів, одержаних недавно з мережі Інтернет

КРАЇНА	Патент №	КРАЇНА	Патент №
Данія	58874 59467	Норвегія	64259 65043
Іспанія	147700 147901 147902	Угорщина	124425 125289
Італія	381514 386241	Швейцарія	213946 217282
Нідерланди	53154	Швеція	103060
Німеччина	685767 883063 * 6731** 939604*	Японія	140766

\* – патенти ФРН, \*\* – патент НДР

проф., д-ра Олександра Смакулу (США) як науковця і винахідника способу просвітлення оптики, завдяки якому вдалося покращити характеристики фотографічних об'єктивів”.

Після повернення, у листі від 19 жовтня 1966 р. вчений ділиться з родиною у Доброводах враженнями від щойно здійсненого турне в Європу:

“... Тому кілька днів ми вернули з Німеччини. Були ми там несповна три тижні. Величали там мене, радіо передавало вістки про мої наукові досягнення, навіть була телевізія. Дали мені нагороду, погостили таки добре й багато часописей подало різні статті про мене, а то й знімки були. А я зі свої сторони мусів дати декілька доповідей і висловити подяку... І так час минув досить приємно, а тепер знова треба братися до праці, а її в мене доволі...”

29 травня 1968 р. американське Товариство журнальних фотографій також відзначило заслуги О. Смакули.

## 6. ПАТЕНТИ ПРОФ. О. СМАКУЛИ

Патенти на винаходи проф. О. Смакули зареєстровані у десятках країн світу. Ось декілька прикладів, одержаних недавно з мережі Інтернет (табл. 1).

Проанотуємо деякі первинні патенти О. Смакули (табл. 2).



Таблиця 2. Анотації деяких первинних патентів О. Смакули, зареєстрованих у Німеччині

Патент №	Дата реєстрації	Назва патенту	Анотація
685767	1.XI.1935	Verfahren zur Erhöhung der Lichtdurchlässigkeit optischer Teile durch Erniedrigung des Brechsexponenten an den Grenzflächen dieser optischen Teile. Спосіб підвищення пропускання світла оптичними елементами за рахунок зменшення відбивної здатності на межах розділу цих оптичних елементів.	Зменшення втрат світла, зумовлених його відбиванням на межі розділу двох середовищ методом нанесення тонких просвітлюючих шарів товщиною $1/4$ довжини хвилі, а також спосіб одержання цих покриттів.
883063	31.VIII.1953	Verfahren zur Veränderung der Reflexion von Körpern aus organischem Kunststoff. Спосіб зміни відбивної здатності предметів з органічних матеріалів.	Для підвищення відбивної здатності предмет підключають у вигляді анода і піддають дії тліючого розряду. Для зменшення відбивної здатності на шар з високою відбивною здатністю наносять шар речовини з нижчою відбивною здатністю, ніж має шар, що піддавався дії розряду, напр., шар $MgF_2$ .
6731	4.III.1954	Auf einen optischen Körper aufzubringende Schicht. Нанесення поверхневого шару на оптичне скло.	Для зміни фізичних властивостей оптичного скла на нього наносяться декілька (звичайно два) шари з близькими показниками заломлення. Застосовують, напр., $MgF_2$ ( $n=1,38$ ) і $LiF_2$ ( $n=1,39$ ). Шар товщиною 1 мкм кожної з цих речовин зокрема одержується мутним, та якщо наносити поперемінно 5 шарів пер-

			шої речовини і 5 шарів другої (по 0,1 мкм), то дістаємо прозорий шар 1 мкм. Можна застосовувати також криоліт ( $n=1,34$ ) з $MgF_2$ або $LiF_2$ з $CaF_2$ ( $n=1,43$ ), а також $ZnS$ ( $n=2,4$ ) з $TiO_2$ ( $n=2,5$ ).
6731	4.III.1954	Auf einen optischen Körper aufzubringende Schicht. Нанесення поверхневого шару на оптичне скло.	Для зміни фізичних властивостей оптичного скла на нього наносяться декілька (звичайно два) шари з близькими показниками заломлення. Застосовують, напр., $MgF_2$ ( $n=1,38$ ) і $LiF_2$ ( $n=1,39$ ). Шар товщиною 1 мкм кожної з цих речовин зокрема одержується мутним, та якщо наносити поперемінно 5 шарів першої речовини і 5 шарів другої (по 0,1 мкм), то дістаємо прозорий шар 1 мкм. Можна застосовувати також криоліт ( $n=1,34$ ) з $MgF_2$ або $LiF_2$ з $CaF_2$ ( $n=1,43$ ), а також $ZnS$ ( $n=2,4$ ) з $TiO_2$ ( $n=2,5$ ).
939604	23.II.1956	Verfahren zur Erzeugung einer die Reflexion vermindernenden Schicht auf der Oberfläche eines optischen Elementes und Gerät zur Ausübung des Verfahrens. Спосіб і апаратура для виготовлення плівки, що зменшує відбивання на поверхні оптичної деталі.	Спосіб і апаратура для нанесення методом випаровування у вакуумі на поверхні оптичної деталі плівки, яка зменшує відбивання. Товщину при нанесенні можна регулювати від центра до країв деталі згідно будь-якої бажаної закономірності. Подається схема апаратури, яка складається з відкачного скляного ковпака, у верхній ча-

		<p>стині якого міститься тримач оброблюваної оптичної деталі, а в нижній частині розміщуються на спеціальній підставці нагрівники та комірки у вигляді вольфрамових чашечок для випаровуваної речовини. Вказаний тримач обертається навколо оптичної осі, а комірки разом з підставкою можуть перемішуватися вздовж цієї вісі вгору і вниз. Змінюючи відстань комірок з випаровуваною речовиною від поверхні обертової деталі, можна в процесі випаровування дістати на оброблюваній поверхні плівку, товщина якої змінюватиметься від центра до країв лінзи за будь-яким довільним законом, необхідним для одержання мінімального відбивання.</p>
--	--	--

## 7. КОМЕРЦІЙНІ МОНОКРИСТАЛИ ЛАБОРАТОРІЇ О. СМАКУЛИ. АМЕРИКАНСЬКИЙ СТИЛЬ: НАУКА І БІЗНЕС

Те, що прийнято іменувати “американським стилем” в організації науки, використовуючи звичну нині термінологію, можна назвати організацією науки в умовах ринкових відносин. Ось одна із типових схем поведінки за таких умов: автор нового винаходу або нової технології засновує свою фірму, налагоджує мережу ділових контактів і здійснює наукову рекламу (конференції, виставки і т. п.), знаходить зацікавлених інвесторів і залучає висококласних спеціалістів (в т. ч. у міжнародному масштабі)... Прикладів знаємо чимало: лазерні, комп’ютерні фірми.

У фізиці твердого тіла одним з основоположників нового стилю, що включає тісну співпрацю технологів, експериментаторів, теоретиків, інженерів-конструкторів, був професор Массачусетського технологічного інституту Олександр Смакула. Маючи глибоку фундаментальну підготовку (європейська школа), він одним з перших у США налагодив технологію комерційних синтетичних монокристалів для електронної техніки (напівпровідникова електроніка, мікроелектроніка, мазерна та лазерна техніка). Широке уявлення про рівень цієї технології дає монографія О. Смакули [10]. Про характер ділових контактів із замовниками можна судити з чисельних технічних звітів лабораторії О. Смакули, а також на основі опублікованих ними оглядових статей.

Про технологію яких матеріалів йде мова? Це, найперше, оптич-

ні матеріали (кристали, нові скла, пресовані композиції, тонкі плівки [11,12]), низка напівпровідникових кристалів, передовсім, кремнію. Окремо потрібно сказати про матеріали для інфрачервоної техніки, електрооптичні кристали, катодохромні матеріали тощо [13]. Цікаво зазначити, що деякі монокристали, синтезовані у спеціальних умовах, за своєю комерційною вартістю набагато перевищують такі матеріали як золото і платина.

Лабораторія з фізики кристалів, заснована Олександром Смакулою в Массачусетському технологічному інституті, стала зародком своєрідного інноваційного центру. Потреби виготовлення кремнієвих інтегральних схем і мікропроцесорної техніки вимагали об'єднання зусиль науковців, інженерів і технологів. Це спонукало до створення технопарків.

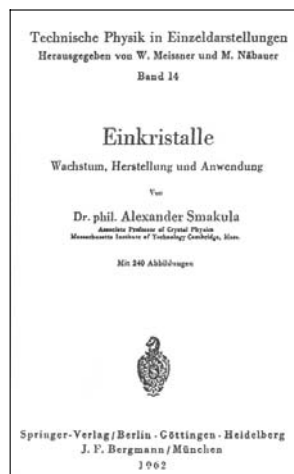


Рис. 5. Титульна сторінка монографії О. Смакули.

Технопарки або технополіси як комплексні науково-дослідні та інженерно-технологічні структури, що об'єднують НДІ, вищі заклади освіти і промислові підприємства, – це витвір якраз середини ХХ ст., коли успіхи твердотільної електроніки дали початок високим, науковомістким технологіям і, по суті, зумовили перехід найбільш розвинених країн від індустріального до постіндустріального етапів із все виразнішим виявом прикмет глобалізації у різних сферах буття. Нині у світі вже налічується понад 400 технопарків. Серед них широко відомі технопарки “Кремнієва долина” (США) і “Кремнієвий острів” на о. Кюсю в Японії, які завоювали ключові позиції на ринку комп'ютерних технологій. Їхні обсяги виробництва і прибутків досягли масштабів  $10^{10}$  доларів щорічно.

На завершення хочеться з приємністю констатувати, що останніми роками досвід О. Смакули успішно переймають й українські фізики у власній державі. Як приклад можна згадати Харківський концерн “Інститут монокристалів” НАН України, де налагоджено синтез ви-

сокоякісних і конкурентноздатних комерційних монокристалів з вигідними параметрами для таких пристроїв як томографи, установки інтроскопії, приймачів випромінювання різних енергетичних діапазонів та ін.

Щодо технопарків, то в Україні вони почали формуватися лише недавно. Розробляється відповідне законодавче підґрунтя. Один з перших українських технопарків виник у Харкові якраз на базі концерну “Інститут монокристалів”. У столиці нашої держави функції технопарку вже десятки років виконує науково-виробничий комплекс під назвою “Інститут електрозварювання ім.Є.О. Патона”. На базі Інституту фізики напівпровідників НАН України створюється технопарк з напівпровідникових технологій і матеріалів, оптоелектроніки і сенсорної техніки. Цей технопарк береться за розробку і доведення до серійного виробництва приладів для радіаційного і екологічного моніторингу довкілля, біосенсорних систем, лазерів інфрачервоного та зеленого випромінювання, світлодіодних світлофорів, оптронів, мікролазерів тощо.



Рис. 6. Професор Олександр СМАКУЛА. Лабораторія фізики кристалів Массачусетського технологічного інституту, США, 1966 рік.

Є ще одна галузь – молекулярна біологія та біофізика, – де досвід О. Смакули важко переоцінити (наприклад, відкриття деяких важливих вітамінів). Але це тема окремої розмови.

Праці О. Смакули у перекладі українською мовою публікував “Вісник Фонду О. Смакули”, що видається в Тернополі, а до 100-річного ювілею вченого започатковано видання його “Наукових праць” у 3-х томах. Наразі вийшло два томи [14, 15].

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Довгий Я. Наукова школа професора Смакули. Фіз. зб. НТШ. 1996. Том 2. 148-157.

- [2] Довгий Я. Актуальні проблеми фізики. Вісник Львівського університету. Серія фізична. 1993. Вип. 26. 25-28 .
- [3] Smakula A. Verfahren zur Erhöhung der Lichtdurchlässigkeit optischer Teile durch Erniedrigung des Brechungsindex an den Grenzflächen dieser optischen Teile. Patentschrift №685767, Klasse 42h, Gruppe 1 01 .
- [4] Smakula A. Über die Erfindung der Reflexminderung. Kinotechnik. 1967. Bd.21, №2. 27. Переклад українською мовою. Вісник Фонду О. Смакули. 1998, №2 (4). 14. (Переклад і наукова редакція Михайла Мєдюха).
- [5] Физика тонких пленок. Том 2. М.: Мир, 1967, с. 186-253.
- [6] Біланюк О. Протівідбивний шар: дарунок Олександра Смакули людству. Фіз. зб. НТШ. 1996. Том 2. 21-34.
- [7] Smakula A. Verfahren zur Erzeugung einer die Reflexion vermindern- den Schicht auf der Oberfläche eines optischen Elementes und Gerät zur Ausübung des Verfahrens. Patent № 939604.
- [8] Попов К.В., Тихонравов А.В. Синтез просветляющих покрытий для работы в широких спектральных и угловых диапазонах. Оптика и спектроскопия. 1996. Т.80, №6. 1031.
- [9] Cartwright C.H., Turner A.F. Bull. Amer. Phys. Soc. 1938. Vol.13. 10.
- [10] Smakula A. Einkristalle. Wachstum, Herstellung und Anwendung. Springer-Verlag. Berlin-Göttingen-Heidelberg. 1962. 431s.
- [11] Smakula A. Synthetic crystals and polarising materials. Optica Acta. 1962. Vol.9, №3. 205.
- [12] Smakula A., Kalnajs J., Redman J. Optical materials and their preparation. Applied Optics. 1964. Vol.3, №3. 323. Переклад українською мовою: Вісник фонду О. Смакули. 1998, №1(3)б. 9. (Переклад Анатолія Кушніра, наукова редакція Андрія Пундика).
- [13] Epstein D.J., Smakula A., Warde C. Crystal physics and optical electronics research. Res. Nat. Annu. Rep. 1977. Cambridge. Mass. 86.
- [14] Олександр Смакула. Наукові праці. Видання у 3-х томах. Том 1. – Тернопіль: Фонд Олександра Смакули, 2000. 404 с.
- [15] Олександр Смакула. Монокристали: вирощування, виготовлення та застосування. Переклад з німецької. – К.: Рада, 2000. 428 с.

**PERSONALITY OF ALEXANDER SMAKULA IN HISTORY  
OF TECHNOLOGICAL PHYSICS**

*Yaroslav DOVHYJ*

Lviv Ivan Franko National University,  
8 Kyrylo and Mefodiy Str., Lviv 79005, Ukraine  
e-mail: dovgy@physics.wups.lviv.ua

In the article the notion of “technological physics” is defined and it is shown that Alexander Smakula was one of the pioneers who laid the foundations of this branch of experimental physics.