

ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЗАЛОМЛЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ФРЕНЕЛЕВОЇ ДИФРАКЦІЇ¹

§ 1. ДИФРАКЦІЯ ВІД КРАЮ ПРОЗОРОЇ ПЛАН-ПАРАЛЕЛЬНОЇ ПЛАТІВКИ

Мікроскопія найближчого майбутнього вимагатиме створення ультрафіолетового мікроскопу, бо робота в ультрафіолеті є, мабуть, єдиним методом, за допомогою якого можна буде піднести розв'язуючу силу оптичного мікроскопу. Це вимагатиме численних вимірів показника заломлення в ультрафіолеті. Виміри ці досить легко провести таким чином:

Хай ми маємо план-паралельну платівку з топленого кварцу, або флуориту, товщина якої і показник переломлення для всієї видимої і ультрафіолетової галузі відомі з високим ступенем точності. (Показник переломлення до $1-10^{-5}\mu$, товщини до $0,01\mu$) Хай показник заломлення платівки дорівнює μ_2 і нехай вона занурена в середовище (рідину) з показником заломлення μ_1 .

Хай на платівку, нормально до неї, падає монохроматичний пучок паралельних променів (себто плоска хвиля), нехай довжина хвилі дорівнює λ . Частична пучка пройде крізь платівку, частина повз неї крізь рідину. Вздовж геометричної тіні від краю платівки обидва пучки будуть інтерферувати і дадуть френелеву дифракційне явище. Хай товщина платівки дорівнює d . Хай різниця ходу між обома пучками дорівнює n довжин хвиль падаючого світла. Як відомо.

$$(\mu_2 - \mu_1) d = n\lambda \quad (1)$$

При цьому, якщо n є цілим числом, то на краю геометричної тіні пучки не дадуть ніякої інтерференції, і поле зору позаду платівки здаватиметься рівномірно освітленим, неначе ніякого

¹ Застосування френелевої дифракції до вимірів показника заломлення див. І. Обреймов, Изв. Гос. Оптич. Института, т. 1, вып. III, 17; А. Н. Захарьевский — Известия Г. О. И. К измерениям видимых диаметров звезд, см. Арноух С. Р.

предмета на шляху променів не було. Навпаки, якщо n дорівнює непарному числу півхвиль, тоді обидві хвилі вздовж краю геометричної тіні цілковито знищать одна одну, і вздовж краю геометричної тіні ми одержимо глибоку темну смугу, облямовану по боках бліднішими дифракційними смугами. Розгляд дифракційного явища дає таке (див. рис. 1): хай нормаль до хвилі паралельна осі OZ . Задню площину нашої платівки помістимо у площині (xy) . Вісь (y) направимо вздовж краю платівки. Хай платівка вносить різницю ходу n . Хай рівняння падаючої буде

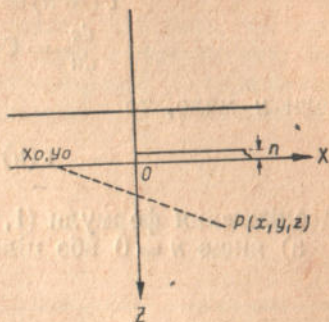


Рис. 1.

$$v_z = \cos 2\pi \frac{f}{T} - \frac{z}{x}, \quad (1, 2)$$

себто амплітуда її дорівнює одиниці. При $z = 0$, тобто у заднього краю платівки, розподіл світлових коливань такий:

$$\begin{aligned} \text{від } x_0 = \infty \text{ до } x_0 = 0 \text{ маємо} \\ \text{від } x_0 = 0 \text{ до } x_0 = \infty \text{ маємо} \end{aligned} \quad \text{умова (1, 3)}$$

Вимагається знайти інтенсивність світла в площі $P(X, Y, Z)$. Очевидно, задача зводиться до розв'язання задачі про Френелеву дифракцію.² Результат одержується такий: очевидно, інтенсивність у площині P з рівнянням $z = \text{const}$ позаду кубика, не залежить зовсім від Y (плоский випадок). Залежність від X виражається такою формулою:

$$I = \cos^2 \pi n + 2 \sin^2 \pi n [c^2(u) + s^2(u)] + \sin 2\pi n [s(u) - c(u)] \quad (1, 4)$$

у формулі (1, 4) через u визначена величина

$$u = x \sqrt{\frac{2}{z\lambda}} \quad (1, 5)$$

а функції $c(u)$ і $s(u)$ — це відомі Френелеві інтеграли

$$c(u) = \int_0^u \cos \frac{\pi x^2}{2} dx; \quad s(u) = \int_0^u \sin \frac{\pi x^2}{2} dx \quad (1, 6)$$

Як відомо,

² Доказ див. Изв. ГОИ, т. III, вип. 17.

$$\begin{aligned}
 c(0) = s(0) = 0; \quad c(\infty) = s(\infty) &= \frac{1}{2} \\
 c(-u) = c(u); \quad s(-u) &= -s(u) \\
 \frac{dc}{du} = \text{Cos } \frac{\pi u^2}{2}; \quad \frac{ds}{du} &= \text{Sin } \frac{\pi u^2}{2}
 \end{aligned}
 \tag{1, 7}$$

коли u мало, то

$$c(u) = u; \quad s(u) = \frac{\pi}{2} u^2$$

Дослідження формули (1, 4), дає таке:

а) якщо $n = 0$ або цілому числу, то

$$Y_0 = 1 \tag{1, 8}$$

незалежно від u , себто поле зору рівномірно освітлене, наче скляної платівки на шляху променів не було зовсім,

б) Якщо $n = \frac{1}{2} + K$, де K — ціле число, то

$$I_{1/2} = 2 [c^2(u) + s^2(u)] \tag{1, 9}$$

При $u = 0$, себто на межі геометричної тіні, $I_{1/2} = 0$; далі по обидва боки від краю геометричної тіні функція зростає і дає ряд побічних максимумів і мінімумів, що прагнуть до граничного значення і при $u \pm \sim$; функція $I_{1/2}(u)$ симетрична відносно краю геометричної тіні, себто

$$I_{1/2}(-u) = I_{1/2}(+u)$$

в) Якщо n величина мала, то:

$$\begin{aligned}
 \text{Sin } 2\pi n = 2\pi n; \quad \text{Cos } 2\pi n &= 1 \\
 I = 1 + 2\pi n [s(u) - c(u)]
 \end{aligned}
 \tag{1, 10}$$

Графік функції

$$y = s(u) - c(u) \tag{1, 11}$$

даний на мал. 2 (ст. 126). Екстремуми функції y визначаються умовою

$$\frac{dy}{du} = \text{Sin } \frac{\pi u^2}{2} - \text{Cos } \frac{\pi u^2}{2} = 0,$$

звідки одержуємо для u

$$u = \pm \sqrt{2k + \frac{1}{2}}, \tag{1, 12}$$

де k — ціле число.

Значення $u = \sqrt{2k + \frac{1}{2}}$ наведені в таблиці 1.

Додатним парним значенням k відповідає максимум функції (4, 11), непарним значенням k — мінімум. Для u негативних навпаки: парним k відповідають максимуми непарним k — мінімуми. Відстань між головними (нульовими) максимумом і мінімумом дорівнює

$$\Delta u_0 = 1,4142.$$

Таблиця 1

Значення $u = \sqrt{2k + \frac{1}{2}}$

k	0	1	2	3	4	
$\pm u$	—	0,7071	1,5311	2,1213	2,5495	2,9155
Δu	1,4142	0,8740	0,5402	0,4282	0,3660	0,3249
$\begin{matrix} + \\ - \end{matrix}$		min Max	Max min	min Max	Max min	min Max
k	5	6	7	8	9	10
$\pm u$	3,2404	3,5355	3,8079	4,0620	4,3012	4,5277
Δu	0,2951	0,2724	0,2541	0,2392	0,2265	—
$\begin{matrix} + \\ - \end{matrix}$	Max min	min Max	Max min	min Max	Max min	*min Max

Таблиця 2

Значення $\Delta x_0 = \sqrt{\frac{z\lambda}{2}} \cdot \Delta u_0$ для $\Delta u_0 = \sqrt{2}$

Δx_0 виражено в см. 10^{-2}

λ см. 10^{-5}	7	6	5	4	3	2
$z = 1$ см.	9,837	0,775	0,707	0,632	0,458	0,447
10 см.	2,64	2,45	2,24	2,00	1,73	1,41
25 см.	4,18	3,88	3,54	3,16	2,74	2,24
50 см.	5,92	5,48	5,09	4,47	3,87	3,16
100 см.	8,37	7,75	7,07	6,32	5,48	4,47

Нарешті, відмітимо, що відстань від центра ($u=0$) до 10-ої смуги ($u = u_{10}$) дорівнює 4,5277, або в сантиметрах, коли покласти $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$ см для $z = 1$ см $-x_{10} = 2,48 \cdot 10^{-2}$ см, для $z = 1$ метру $-x_{10} = 2,480 \cdot 10^{-1}$ см.

Формула (1, 10) дає змогу оцінити чутливість методу. Око буде помічати наявність платівки в рідині доти, поки помітний контраст в освітленості дифракційної картини. Для оцінки контрасту слухить величина видимості

$$V = \frac{I_{\text{Max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{Max}} + I_{\text{min}}} \quad (1, 13)$$

Згідно з Релеем³, величина видимості в 0,025 робить картину виразно помітною.

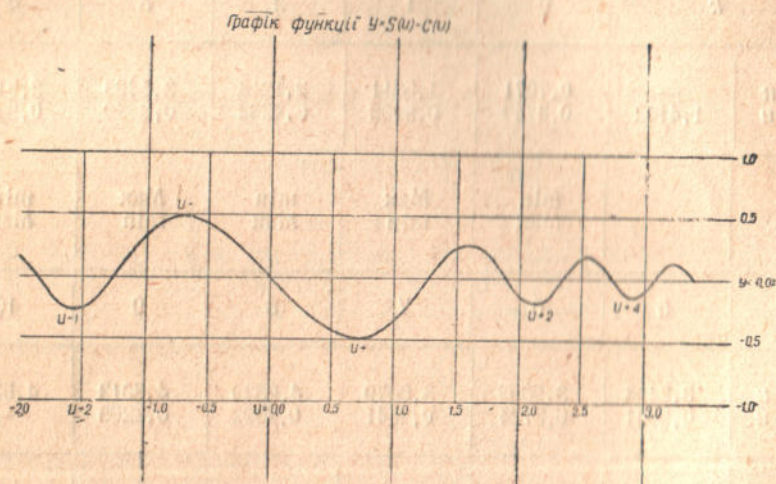


Рис. 2. Графік функції $Y=S(u)-C(u)$

З мал. 2 бачимо, що $y_{\text{max}} = 0,49$; $y_{\text{min}} = -0,49$. З формули (1, 10) одержуємо, маючи на увазі, що n мало,

$$V = \frac{4 \pi n [c(0,707) - s(0,707)]}{2} \approx 2 \pi n = 0,25 \quad (1, 14)$$

що дає для n значення менше 0,008 ($n = \pm 0,004$).

г) При зростанні n від нуля (або від іншого цілого значення, позитивного або негативного) спочатку з'являється невелика неоднорідність в освітленості поля. На фоні скла з'являється бліда темна смуга, на фоні рідини — світла. При зростанні n темна смуга переміщається в бік межі геометричної тіні, світла смуга — від межі геометричної тіні в бік рідини).

Треба пам'ятати, що, коли n зростає, то зростає і різниця $P_2 - P_1$.

³ Lord Rayleigh So. Pap.

Разом з тим пересуваються і всі інші дифракційні екстремуми в бік від того середовища, для якого n зростає. При $n=1/2$, дифракційна картина робиться цілком симетричною: у центрі, себто на межі геометричної тіні, лежить глибокий мінімум $I=0$. При дальшому зростанні n картина і далі рухається у той же бік, себто при нашому розташуванні платівки на мал. 1, 2, 3—вліво. Картини для $n=1/2+S$ і $n=1/2-S$ дзеркально симетричні відносно осі $u=0$. Рівним чином картини для $n=k+S$ і $n=k-S$ дзеркально симетричні відносно до тієї ж осі.

Ці співвідношення можна добре бачити на графіку, на якому на осі абсцис нанесені u , на осі ординат — величини n . Накреслені лінії $I=\text{const.}$ для значень $I=0,5=1,0, 1,5$ (див. рис. 3). Згідно (1,4), рівняння цих ліній буде:

$$\text{tg } \pi n = \frac{-(s-c) \pm \sqrt{(s-c)^2 - (1-I)(2c^2 + 2s^2 - I)}}{2(2c^2 + 2s^2 - I)} \quad (1, 15)$$

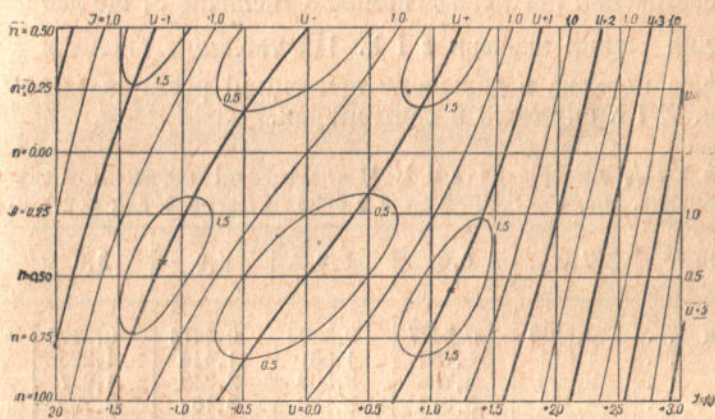


Рис. 3.

На рис. 3 зображені такі криві: 1) криві рівної інтенсивності, для $I=0,5; 1,0; 1,5$. Ці криві нанесені тонкими лініями. Коло кожної кривої написано відповідне їй значення n . Із рівняння (1,16) видно, що при $I=1$ воно розпадається на 2 рівняння: $n=k$, де k —ціле число, і

$$\text{tg } \pi n = - \frac{s-c}{2(c^2 + s^2) - 1}$$

Таким чином лінії $I=1$ розбивають усю діаграму на ряд криволінійних чотирикутників. Інтенсивність світла всередині одних менша за одиницю, всередині других більша за одиницю. Замкнена овальна крива $I=0,5$ міститься всередині чотирикутника зі зменшеним значенням I . Замкнені яйцевидні криві $I=1,5$ містяться всередині світлих чотирикутників.

2) Із формули (1,15) видно, що I обертається в 0 тільки в окре-

мих точках: $n = \frac{1}{2} + k$; $u = 0$. Ці точки на діаграмі окремо не відзначені.

3) Маленьким косим хрестом всередині кривих $u=1,5$ відзначено положення абсолютних максимумів інтенсивності. У цих точках I дорівнює 1,824.

4) Товстіше на діаграмі проведені лінії, що дають положення екстремумів U в функції від n . У проміжку значень u від $u=-2$ до $n=+2$ ці криві зображені з можливою точністю. Вони будуть ще раз докладно розглянені нижче. Для значень $u > 2$ криві екстремальних U проведені схематично по точках для $u=0$ і $u=1/2$ і слугують лише як ілюстрація.

Формула (1,4) була виведена в припущенні плоскої хвилі, що падає на платівку нормально до неї. Не трудно було б вивести формулу для падаючої сферичної хвилі. Однак, практично зручніше користатися іншим засобом.

На закінчення наведена допоміжна табличка 3, що дає значення $\sqrt{\frac{z\lambda}{2}}$ для різних значень z і λ . Ця таблиця, аналогічна таблиці 2, буде корисна в дальшому при оцінці розмірів дифракційної картини. Z і λ виражені в сантиметрах.

Таблиця 3

Значення $\sqrt{z\lambda/2}$ для різних z і λ . Числа таблиці виражені в сантиметрах 10^{-2} , наприкл. при $\lambda = 5,10^{-5}$ см і $z = 25$ см маємо $\sqrt{z\lambda/2} = 2,500 \cdot 10^{-2}$ см.

λ см. 10^{-5}	7,0	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0
$z = 1$ см . .	0,5916	0,5477	0,5000	0,4472	0,3873	0,3162
10 » . .	1,871	1,732	1,581	1,414	1,225	1,000
25 » . .	2,958	2,738	2,500	2,236	1,937	1,581
50 » . .	4,183	3,873	3,536	3,162	2,739	2,236
100 » . .	5,916	5,477	5,000	4,472	3,873	3,162

§ 2. ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЗАЛОМЛЕННЯ В УЛЬТРАФІОЛЕТІ

Якщо на платівку падає не монохроматичний, а білий пучок, то позаду неї матимемо накладення картин, що належать окремим довжинам хвиль. Якщо ми приймемо тінь краю від платівки на щілину спектрографа, то в ньому ми побачимо спектр, перетятий рядом смуг.

Установка така:

Освітлена джерелом ультрафіолетового світла щілина ставиться горизонтально, себто навхрест зі щілиною спектрографа. Лінза в цьому випадку може міститися або не міститися перед щілиною. Дифрагуючий край платівки розташовується паралельно освітлюючій щілині⁴. Спектр має тепер такий вигляд (див. рис. 4 і 4а): уздовж серединної лінії спектра йде пунктирна риса — це зобра-

⁴ Для кращого використання розв'язуючої сили спектрографа і збільшення інтенсивності світла корисно, якщо не весь отвір спектрографа був заповнений світлом, поставити на шляху променів циліндричну лінзу. Вісь циліндра повинна стояти перпендикулярно до краю платівки.

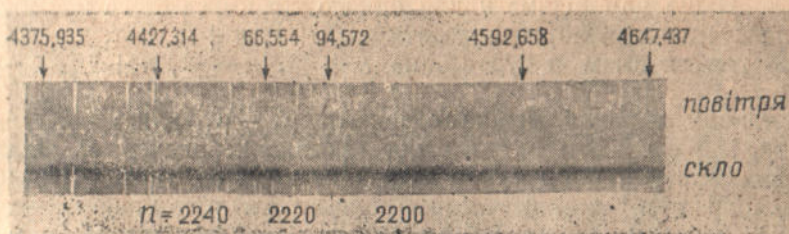


Рис. 4. Скляна платівка в повітрі, поставлена перед щілиною спектрографа навхрест з нею. Дані платівки: $d = 1,89365$ мм; $n = 1808,58$; $N_{5460,72} = 1,52154$; одержані способом, описаним в § 4. По фотографії рис. 4 одержані значення n для інших довжин хвиль. Спектр порівняння—заліас.

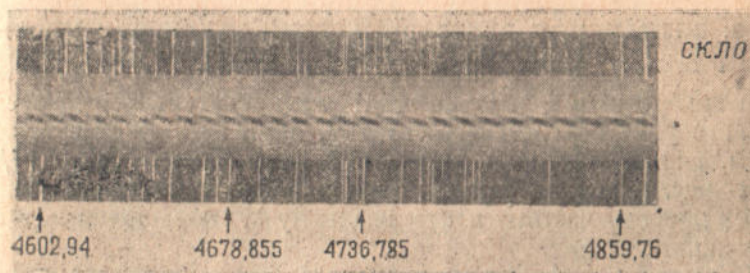


Рис. 4а. Інша скляна платівка в нітробензолі, поставлена навхрест із щілиною спектрографа. Спектр порівняння—залізо.

ження тіні від краю платівки. Зверху і знизу від темних плям пунктирної лінії видно світлі і темні смутки дифракційного походження. Найтемніші плями є справді розтягнутими овальними плямами, що лежать більшою віссю під кутом до серединної лінії спектру. Центру темних плям відповідає така довжина хвилі, для якої n дорівнює непарному числу половин. Світлому проміжку між плямами відповідає така, для якої n є ціле число. Положення плям відзначається за допомогою спектра порівняння зверху і знизу від спектру кубика. Таким чином для кожного світлого проміжка ми маємо:

$$\mu_2 - \mu_1 = \frac{2m\lambda}{d}$$

Для кожної темної плями:

$$\mu_2 - \mu_1 = \frac{2m+1}{2} \frac{\lambda}{d}$$

де μ — ряд натуральних цілих чисел, λ може бути визначена по спектру порівняння, де товщина кубика повинна бути заздалегідь відома. Якщо нам відоме n для одного тільки світлого проміжка, то для сусідніх воно дорівнюватиме $n+1$, $n+2$ і т. д., і для центра темних плям n буде рівне $n+1/2$, $n-1/2$, $n+3/2$, $n-3/2$ і т. д.

В такому випадку можна одержати $\mu_2 - \mu_1$ для цілого ряду значень λ і одержати $\mu_3 - \mu_1$ для проміжних значень λ шляхом інтерполювання. Таким чином задача вимірювань кривої дисперсії звелася до вимірення показника заломлення для однієї довжини хвилі λ , при чому повинна бути відома крива дисперсії для матеріалу, з якого зроблена платівка.

Треба, проте, відзначити, що визначення середини світлого проміжка і середини світлої плями, як показує досвід, досягає лише звичайної інтерферометричної точності 0,02 ширини плями.

Отже, задача зводиться до двох задач: 1) Визначити показник заломлення рідини для однієї довжини хвилі, 2) визначити товщину d і криву дисперсії еталонної платівки.

§ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ДРОБОВОЇ ЧАСТИНИ СМУГИ ПРИ УМОВІ ЗНИЖЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ МЕТОДУ

При вимірні μ в ультрафіолеті ми користувалися джерелами суцільного ультрафіолетового спектру, який не завжди буває приступним, і знаходили значення λ , для яких $n=k$ або $k+1/2$, де k — ціле число. Можна однак, хоч і з меншим ступенем точності, вимірити дробову частину n при заданому λ , скориставшись такими міркуваннями:

1) Положення дифракційних смуг відносно краю геометричної тіні залежить від n , і цю залежність можна використати для вимірів дробової частини n . При $n=1/2$ функції $u^{1/2}$ (1, 9) має глибокий мінімум при значенні $u=0$, себто на межі геометричної тіні. При зміні n мінімум зміщується, і це зміщення легко обчислити. Якщо $n=0,5-\varepsilon$, де ε — мала величина, то u min. близьке до нуля. В такому випадку

$$c(u) = u; \quad \Delta(u) = \frac{\pi u^3}{6}; \quad \sin \pi n = \cos \pi \varepsilon = 1; \quad \cos \pi n = \pi \varepsilon$$

Умова для екстремуму дає

$$\frac{d I^{1/2}}{du} = 0 = 4u \sin^2 \pi n - 2 \sin \pi n \cos \pi n \left(\frac{\pi n^2}{2} - 1 \right)$$

з точністю до малих третього порядку, звідки

$$u_{\min} = \frac{\operatorname{Cotg} \pi n}{2} = \frac{\pi}{2} \varepsilon$$

Положення головного мінімуму, а також інших екстремумів I у випадку якщо n не близьке до $1/2$, себто ε не мале, дано в таблиці

4 і на діаграмі 3. У таблиці 4 у стовпці I дано значення n , у стовпцях II, III, IV, V—відповідні їм положення екстремумів. Ці екстремуми в таблиці 4 і на діаграмі III зазначені індексами—1, —,

Таблиця 4

Положення екстремумів I в функції від n

n	u_{-1}	u_{-}	u_{+}	u_{+1}	$u_{+1}-u_{-}$	$\frac{u_{+1}+u_{-}}{2}$	$\frac{u_{+}-u_{-}}{VI}$
-0,25	-1,466	+0,380	-0,979	1,734	—	—	—
20	441	450	928	1,702	—	—	—
15	475	518	876	672	—	—	—
10	510	583	821	641	—	—	—
05	545	646	765	611	—	—	—
0,00	-1,5811	-0,7071	-0,7071	1,5811	2,288	—	—
05	611	765	646	545	—	—	—
10	641	721	583	510	—	—	—
15	672	876	518	475	—	—	—
20	702	923	450	441	2,369	0,256	0,084
0,25	-1,734	-0,979	+0,380	1,406	2,385	0,214	0,070
30	762	-1,028	307	368	396	170	57
35	789	076	233	320	406	127	44
40	816	121	156	292	413	086	29
45	844	168	079	254	422	043	16
0,50	-1,871	-1,215	-0,000	1,215	2,431	0,000	0,000
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII

+1, +2 і т. д. внизу від u . Величини інтенсивності, відповідні до значень u в таблиці IV, дані в таблиці V. При проходженні через цілочислові значення:

$$n = 0; + 1; + 2 \text{ і т. д.}$$

максимум інтенсивності переходить у мінімум і навпаки.

Стовпець VI дає відстань між двома головними максимумами (себто щось подібне до «ширини» дифракційної картини). Стовпець VII дає середнє арифметичне між положенням головних максимумів $U_{+1} + u_{-}$, себто положення умовного центру дифракційної картини. Стовпець VIII дає різницю цифр стовпця IV і VII, поділяну на відповідну цифру стовпця VI, себто асиметрію дифракційної картини, виражену в частинах «ширини» дифракційної картини.

З чисел таблиці 4 складені таблиці 5 і 6.

Таблиця 5

Значення $\varepsilon = 0,5 - n$ в функції від u_+

u_+	ε	$\Delta\varepsilon : 5$
0,00	0,000	0,0063
0,05	0,032	65
10	064	64
15	096	65
20	129	66
0,25	0,162	0,0067
30	195	67
35	230	70
40	264	71
45	300	74
0,50	0,337	73
55	374	77
60	413	

Таблиця 6

Значення $\varepsilon = 0,5 - n$ в функції від асиметрії дифракційної картини

$$\eta = \frac{2u_+ - (u_{+1} - u_-)}{2(u_+ - u_-)}$$

η	ε
0,00	0,000
01	024
02	48
03	71
04	95
05	0,119
06	143
07	167
08	190
09	214
0,10	0,238
11	262
12	286
13	309
14	333

В таблиці 5 дані значення $\varepsilon = 0,5 - n$ у функції від u_+ (зміщення найглибшого мінімуму відносно краю геометричної тіні). Таблиці 5 відповідає крива u_+ на рис. 3. Якщо за допомогою, наприклад, окулярного мікрометра вимірити u_+ , то за таблицею 5 ми знаходимо відповідне значення ε і n . Точність виміру залежить від тої точності, з якою можна вимірити u_+ , і це повинно бути встановлено експериментально. Для інтерференційних смуг звичайно приймається, що положення смуги може бути встановлене з точністю до 0,02 ширини смуги. В нашому випадку за ширину смуги можна прийняти величину $u_+ - u_-$ в табл. 4, яка в круглих числах дорівнює 2,5. В такому разі точність визначення u_+ є дорівнює 0,050 і точність визначення ε до 0,04. Досвід показує, однак, що точність визначення u_+ трохи вища. У всякому разі, при найгіршому припущенні, n може бути виміряне до 0,05 в межах від $\varepsilon = 0$ до $\varepsilon = 0,25$; при більших (себто при n менших 0,25) смуги робляться надто блідими, і точність вимірів падає.

2) Асиметрія (ст. 13) дифракційної картини.

Вище викладений спосіб має ту ваду, що в ньому вважається відомим положення краю геометричної тіні. Коли під час досліду платівка змістилась, то зміщення платівки увійде в вимірі, як зміна u_+ . Цієї небезпеки можна уникнути, коли замість положення смуги вимірювати асиметрію дифракційної картини, яка в свою чергу є функцією від n .

Асиметрією дифракційної картини будемо називати величину

$$\eta = \frac{2u_+ - (u_+ - u_-)}{2(u - u_-)},$$

себто виражену в частинах ширини картини різницю між положенням головного мінімуму u_+ і положенням центру картини

$$\frac{u_+ - u_-}{2}.$$

Значення ϵ у функції від n дано в таблиці 6.

Приймаючи точність визначення n в 0,02, ми і тут знаходимо для ϵ точність в 0,05. Таким чином ми можемо визначити n з точністю до 0,05, не знаючи положення краю геометричної тіні.⁶

З цього визначення дробової частини смуги можна зробити таке застосування:

В § 2 було описано вимірювання показника заломлення в ультрафіолеті за допомогою спектрографа. Як джерело світла був використаний безперервний спектр водневої трубки. Спектральні дослідження поглинання органічних і неорганічних сполук систематично ведуться по всіх серійозних хімічних лабораторіях. Але звичайно вимірюється не показник заломлення, а спектр поглинання та інтенсивність смуг поглинання, при чому джерелом світла служить багатий спектральний лініями спектр залізної дуги. Заміна одного джерела світла другим, звичайно, становить певне утруднення. Тепер, вміючи вимірювати дробові частини смуги, ми можемо далі вже не користуватися джерелом суцільного спектра і працювати в спектрі залізної дуги (див. рис. 46).



Рис. 46. Та сама скляна платівка, що й на рис. 4а, в нітробензолі на фоні залізних ліній. Щілина спектрографа розширена:

В такому разі щілина спектрографа повинна бути дещо розширена, рівно настільки, щоб окремі спектральні лінії не зливалися

⁶ Точність 0,02 для η і ϵ , мабуть, справжня точність методу. У такому випадку точність у визначенні зміщення і буде вища.

в один суцільний фон. На кожній лінії ми побачимо зображення дифракційної картини, при чому, шляхом проміру під мікроскопом спектрограми, легко визначити як зміщення головного мінімуму, так і асиметрію η .

Якщо ми завжди можемо з певністю ставити платівку на одне й те саме місце, то ми можемо вимірювати зміщення u_+ , при умові, що спектрограф не астигматичний. Для цього на щіліні спектрографа ми повинні натягнути нитку (положення краю кубика відносно нитки повинно бути заздалегідь відоме) і вимірювати зміщення, користуючися зображенням нитки, як репером.

Якщо цих умов нема, то ми можемо вимірювати асиметрію η картини. Точність виміру буде 0,05 смуги, чому відповідає приблизно 5 одиниць п'ятого десятичного знаку в показнику заломлення, — точність не така висока, як у випадку вимірів у суцільному спектрі, але дуже непогана.

§ 4. ПОВОРОТ ПЛАТІВКИ В РІДИНІ

До цього часу вважалося, що платівка стоїть нормально до падаючого пучка променів. Умови для зникнення тіні від нього давалися формулою (1,1). В тому випадку, коли на кубик падає пучок паралельних променів під кутом падіння ψ , умову (1,1) для невидимості кубика треба замінити наступним:

$$(\mu_2 \cos \psi_2 - \mu_1 \cos \psi_1) d = n\lambda \quad (4,1),$$

де ψ_2 — кут переломлення, n — ціле число, ψ_2 і ψ_1 зв'язані співвідношенням:

$$\frac{\sin \psi_1}{\sin \psi_2} = \frac{\mu_2}{\mu_1} \quad (4,2).$$

ψ_1 — кут падіння — є величина безпосередньо спостережувана, це кут повороту платівки відносно його нормального положення до падаючого променя, μ_2 — величина раніш відома, ψ_2 є відома функція від μ_1 , μ_2 та ψ_1

$$\psi_2 = \arcsin \left(\frac{\mu_1}{\mu_2} \sin \psi_1 \right).$$

Припустімо, що в той час, коли платівка стоїть нормально до падаючого променя, її відко. Це значить, що величина n у формулі (4,1) не є ціле число. Будемо повертати кубик навколо осі, нормальної до його краю, вздовж якого ковзає промінь. При цьому, згідно (4,1), буде мінятися різниця ходу, і при якомусь куті повороту ψ'_1 платівка стане невидима. При цьому куті різниця ходу дорівнюватиме якомусь цілому числу:

$$k = n + c,$$

де $0 < c < 1$; при дальшому обертанні платівки в тому же напрямі вона знову зробиться видимою. Видимість її буде підвищуватися

до максимального значення, яке наступить, коли різниця ходу дорівнюватиме $n + c + \frac{1}{2}$; при дальшому повороті в тому же напрямі видимість буде знижуватись. Нарешті, при куті повороту ψ_1'' платівка знову стане невидимою. Цьому другому зникненню відповідає значення k , рівне цілому числу: $k = n + c + 1$.

Таким чином ми одержали з двох спостережень два рівняння:

$$\begin{aligned} \mu_2 \cos \psi_2' - \mu_1 \cos \psi_1' &= (n + c) \frac{\lambda}{d} \\ \mu_2 \cos \psi_2'' - \mu_1 \cos \psi_1'' &= (n + c) \frac{\lambda}{d} + \frac{\lambda}{d} \end{aligned} \quad (4,3)$$

Приєднуючи до них два рівняння для ψ_2' та ψ_2'' , одержані з (4,2) і рівняння (1,1)

$$(\mu_2 - \mu_1) d = n \lambda \quad (I, 1),$$

одержимо систему з п'яти рівнянь з п'ятьома невідомими:

$$\mu_1; \psi_2'; \psi_2''; n; c,$$

які з цих рівнянь можна визначити (відомими величинами є d , μ_2 , ψ_1' , $\mu \psi_1''$).

Дійсно, з рівнянь (4,3) і (4,2) одержуємо

$$\left. \begin{aligned} \mu_2^2 &= \frac{(n + c)^2 \lambda^2}{d^2} + \mu_1^2 + 2 \mu_1 \frac{n + c}{d} \lambda \cos \psi_1' \\ \mu_2^2 &= \frac{(n + c + 1)^2 \lambda^2}{d^2} + \mu_1^2 + 2 \mu_1 \frac{n + c + 1}{d} \lambda \cos \psi_1'' \end{aligned} \right\} \quad (4,4)$$

Рівняння (4,4) не мають більше невідомих ψ_2' та ψ_2'' ; їх легко привести до вигляду:

$$x_1 \equiv \sin^2 \frac{\psi_1'}{2} = \frac{\left(\mu_1 + \frac{n + c}{d} \right)^2 - \mu_2^2}{4 \mu_1 \frac{n + c}{d} \lambda} \quad (4,5)$$

і аналогічне рівняння для $x_2 = \sin^2 \frac{\psi_1''}{2}$, яке відрізняється від (4,5) тим, що в ньому замість x_1 стоїть x_2 , замість c стоїть $c + 1$. Через x_1 і x_2 означені величини

$$x_1 = \sin^2 \frac{\psi_1'}{2}; \quad x_2 = \sin^2 \frac{\psi_1''}{2} \quad (4,6)$$

З рівнянь (4,5) і (1,1) можна виключити n , після чого формула (4,5) набуває вигляду:

$$x_1 = \frac{a_1 c}{b(n+c)} \quad \text{і} \quad x_2 = \frac{a_2(c+1)}{b(n+c+1)}, \quad (4,7)$$

де через a_1 , a_2 , b означені величини:

$$a_1 = 2\mu_2 + c \frac{\lambda}{d}; \quad a_2 = 2[\mu_2 + (c+1) \frac{\lambda}{d}];$$

$$b = 4\left(\mu_2 - n \frac{\lambda}{d}\right) \equiv \mu_1 \quad (4,8)$$

Величина b не змінюється при повороті платівки і явно залежить тільки від n (себто неявно від μ_1). Навпаки, величини a_1 і a_2 при повороті кубика змінюються, бо c неявно залежить від ψ_1 .

З рівнянь (4,7) можна визначити як n , так і c і, знаючи n з рівняння (1,1), одержати μ_1 . Величини a_1 і a_2 за їх значенням близькі до $2\mu_2$, бо коефіцієнт при c і при $c+1$ у формулах (4,8) є мала величина порядку $5 \cdot 10^{-4}$, а величина $c+1$ не перевищує значення 2,0. Але величина b може сильно змінюватись в залежності від n . Справді, хай $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$ см; $d = 1 \cdot 10^{-1}$ см; $\mu_2 = 1,5$. Візьмімо два приклади: 1) $\mu_1 = 1,30$; 2) $\mu_1 = 1,70$. У першому прикладі $n = 400$, $b = \mu_1 = 5,2$; в другому прикладі $n = -400$, $b = 6,8$.

Уявлення про співвідношення між ψ_1 , n і c можна скласти на підставі рис. 4 і таблиці 7, що покладена в основу при складенні графіка рис. 5. В цих прикладах усюди взято $\lambda = 5460,72^\circ$, (себто дуже яскрава зелена ртутна лінія), $\mu = 1,546174$, себто звичайний показник заломлення для кристалічного кварцу для довжини хвилі $5046,72 \text{ \AA}$.

На рис. 5 на осі ординат нанесені значення n , на осі абсцис значення $x = \sin^2 \psi_1$. Тоді в рівнянні (4,7) величина c є параметр. Криві, нанесені на рис. 5, відповідають значенням параметра.

$$c = 0,1; \quad c = 0,5; \quad c = 1,0; \quad c = 1,5; \quad c = 2,0.$$

В нижній частині діаграми від $n = 10$ до $n = 20$ те ж сімейство кривих накреслена для значень параметра від $c = 0$ до $c = 2$ через значення c , рівні 0,1.

З рівнянь (4,7) видно, що коли б величини a і b в рівнянні (4,7) не залежали від n і c , то криві рис. 5 були б рівнобічними гіперболами з асимптотами

$$x = 0; \quad n = -c.$$

При значеннях c , малих порівняно з n , пучок гіпербол, що перебувають на відстані одна від однієї на постійне значення c ,

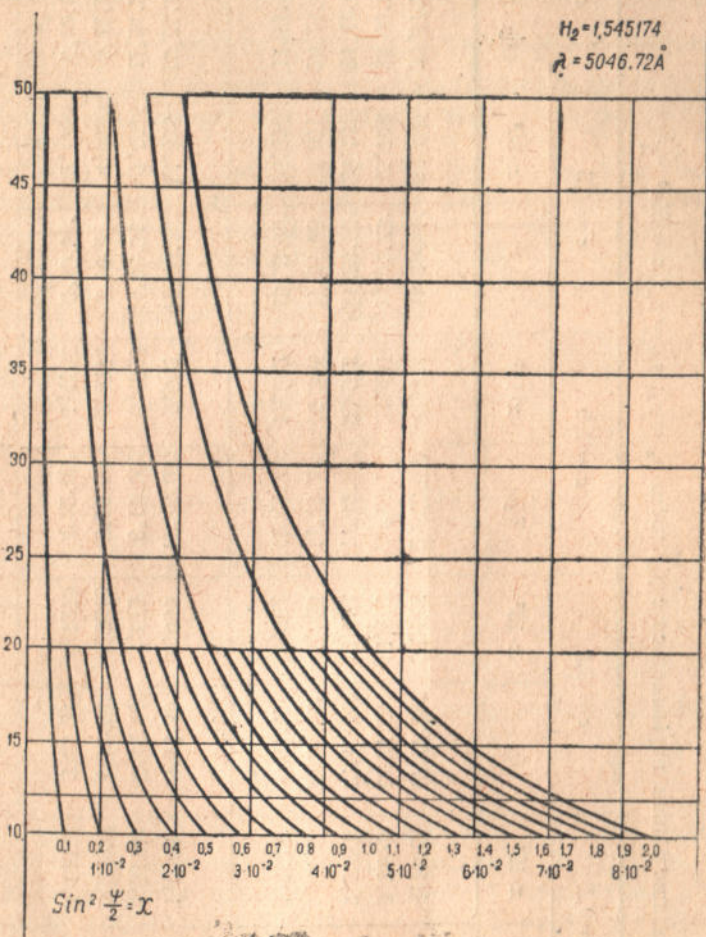


Рис. 5.

повинен перетинати пряму $n = \text{const}$, на рівних відстанях, що видно вже на рис. 5 при $n = 50$.

З діаграми рис. 5 видно, що при $n = 10$ друге зникнення платівки має місце, коли кут $\psi'' = 33^\circ 37,5$. При $n < 10$ кут ψ_1'' буде ще більший і стане незручним для вимірювання, бо тоді промінь буде занадто близький до ковзаючого. Тому, якщо показник заломлення рідини занадто близький до показника платівки, її треба замінити на іншу з іншим показником заломлення. У тому прикладі, який зараз розбирається, обидві платівки об'єднані

Поворот кварцевої платівки в середовищі з різними показниками заломлення

$$\lambda = 5460,72 \text{ \AA}; \mu_0 = 1,546 \text{ 174}; \mu_e = 1,555 \text{ 350};$$

Показник рідини порівнюється с μ_0 ; тобто $\mu_0 = \mu_2$; $\mu_x = \mu_1$; $x = \text{Sin}^2 \frac{\psi_1}{2}$

n	μ_1	c = 0,1		c = 0,5		c = 1,0		c = 1,5		c = 2,0	
		ψ_1	$x \cdot 10^3$	ψ_1	$x \cdot 10^3$	ψ_1	$x \cdot 10^3$	ψ_1	$x \cdot 10^3$	ψ_1	$x \cdot 10^3$
10	1,54071	8°05'02"	4,9682	17°47'08"	23,896	24°40'06"	45,631	29°39'01"	65,465	33°37'30"	83,658
15	53798	6°36'55"	3,3292	14°37'56"	16,217	20°25'14"	31,421	24°21'23"	45,708	28°09'12"	59,154
20	53525	5°58'20"	2,5053	12°43'24"	12,283	17°49'04"	23,983	21°36'35"	35,141	24°42'51"	45,794
30	52979	4°41'48"	1,6790	10°26'52"	8,285	14°40'21"	16,305	17°51'03"	24,071	20°28'41"	31,596
40	52433	3°57'58"	1,2648	9°04'38"	6,262	12°46'20"	12,372	15°33'52"	18,336	17°53'02"	24,159
50	1,51887	3°39'11"	1,0160	8°08'30"	5,040	11°28'05"	9,982	13°59'20"	14,829	16°64'14"	19,584
100	1,49157	2°36'28"	0,51781	5°49'19"	2,579	8°13'00"	5,1326	10°02'36"	7,6616	11°34'20"	10,167
200	43696	1°52'45"	0,26887	4°11'54"	1,3418	5°56'59"	2,6770	7°14'27"	4,0059	8°22'21"	5,3286
400	32775	1°22'57"	0,14553	3°05'24"	0,7270	4°22'05"	1,4552	5°20'50"	2,1758	6°10'17"	2,8997
I	II	III	IV	V	V ¹	V ^{II}	V ^{III}	IX	X	XI	XII

в одній із кристалічного кварцу, оптична вісь якого паралельна осі обертання. Між джерелом світла і платівкою ставиться поляризатор. В залежності від положення поляризатора будемо працювати або у звичайному або у незвичайному промені. Для кварцу для $\lambda = 5460,72$; $-\mu_o = 1,546174$; $\mu_e = 1,555350$; $\mu_e - \mu_o = 0,009176$; $(\mu_e - \mu_o) \frac{d}{\lambda} = 16,71$ смуги, себто, коли показник заломлення рідини занадто близький до одного з показників заломлення кварцу, то він досить віддалений від другого, щоб в ньому можна було працювати.

З таблиці 7 також, як з рис. 5, видно, як при положенні платівки, близькому до нормального, дифракційна картина мало чутлива до повороту платівки. Навіть при такому високому n , як $n = 400$, поворот платівки на 1° тягне за собою зміщення дифракційної картини на 0,1 смуги, поворот на $24'$ — зміщення дифракційної картини на 0,01 смуги.

Переходимо до визначення n і c з рівнянь (4,7). Коли б величини a_1 , a_2 і b не залежали від n і c , то рівняння (4,7) звелись би до системи з двох рівнянь першої степені:

$$\begin{aligned} bx_1 n + (bx_1 - a_1) c &= 0 \\ bx_2 n + (bx_2 - a_2) c &= -(bx_2 - a_2) \end{aligned} \quad (4,9)$$

з яких ми знайшли б величини n і c .

$$n = \frac{Dc}{D}; \quad c = \frac{Dc}{D}, \quad (4,10)$$

де $D = a_1 b (x_2 - x_1) - bx_1 \frac{\lambda}{d}$; $D_n = (a_1 - bx_1)(a_2 - bx_2)$;

$$D_c = bx_1 (a_2 - bx_2).$$

Але, маючи на увазі, що константи b , a_1 і a_2 мало змінюються при зміні n і c , можна розв'язати систему (6,9) і у випадку змінних коефіцієнтів шляхом послідовних наближень. Для 0-го наближення просто припускаємо $b = 4\mu_2$. $a = 2\mu_2$, $b = 2a$, і вирази (4,10) перетворюються в

$$n_o = \frac{2(0,5 - x_1)(0,5 - x_2)}{x_2 - x_1}; \quad c_o = \frac{x_1}{x_2 - x_1}$$

Як правило, вираз для c_o дає вже досить задовільне значення для c і тим краще, чим n більше.

Для першого наближення підставляємо значення n_o і c_o у формулі (4,8) для a_1 , a_2 , b , себто вважаємо, що

$$b_o = 4 \left(\mu_2 - n_o \frac{\lambda}{d} \right); \quad a_1^o = 2\mu_2 + c_o \frac{\lambda}{d}; \quad a_2^o = 2\mu_2 + (c_o + 1) \frac{\lambda}{d},$$

і, підставляючи одержані значення у формули (4,10), знаходимо значення n_1 , c_1 , b у першому наближенні.

Для 2-го наближення підставляємо у формули (4,8) значення n_1 , c_1 і одержуємо коефіцієнти $b^{(1)}$, $a_1^{(1)}$, $a_2^{(1)}$ у першому наближенні, і з новими коефіцієнтами з формули (4,10) одержуємо значення $n^{(2)}$ і $c^{(2)}$ у другому наближенні.

Алгоритм продовжується до того, поки величини n і c не будуть обчислені з точністю, яку допускає точність вимірів (про це див. нижче).

Досвід показує, що для c потрібне менше число наближень, ніж для визначення n . Пояснюється це тим, що величина c ніколи не перевищує одиниці. Точність в 0,1% дає 0,001 смуги, себто більше, ніж досить. Виявляється, що при будь-яких значеннях n величина c в першому наближенні одержується з точністю $3 \cdot 10^{-4}$. При більших значеннях n — досить нульового наближення.

Що до n , то для визначення його необхідно тим більше число наближень, чим більше значення n . Так при $n = 10$ можна зупинитися на першому наближенні. При $n = 50$ теж на першому. Для n поблизу від $n = 400$ необхідно брати третє наближення. Зупинитися треба на тому наближенні, для якого n одержується з точністю більш високою, ніж 0,5 смуги. Остаточне значення одержується таким чином:

Ми знаємо, що $n + c = k \in \mathbb{Z}$. Складаємо значення n і c , одержані в останньому наближенні. Заокруглюємо результати до найближчого цілого числа. Одержане число:

$$k = \text{цілій частини } (n + c)$$

є точне (в межах помилок вимірювання) число. Звідси: задача розв'язана.

Розв'язання шляхом послідовних наближень можна надзвичайно прискорити, коли для 0-го наближення виходити не з значення

$n = 0$; $c = \frac{x_1}{x_2 - x_1}$, а спробувати оцінити величину n із пророблених вимірів якимнебудь простим способом.

Для цього можна скористатися таким міркуванням: як показує формула (4,7) і діаграма на рис. 5, величина $x_2 - x_1$ є функція як від n , так і від c , досить сильно залежна від c . Найбільше значення її дорівнює величині x_1 , при $c = 1$; найменше значення дорівнює $x_2 - x_1$, при $c = 1$. Хай у результаті вимірів ми знайшли, що величина $x_2 - x_1$ має деяке значення q . З діаграми рис. 5 ми бачимо, що вона може мати таке значення тільки для тих значень n , для яких $x_1(c = 1) \geq q$; $x_2(c = 1) - x_1(c = 1) = q$.

Якенебудь значення n всередині цих границь ми й приймаємо за вихідне нульове значення для обчислення 1-го (не 0-го) наближення. Оцінювати таким чином n зручно з допомогою нижчеподаної номограми (див. рис. 6).

Номограма являє собою зведення таблиці 7 і рис. 5 у логарифмічній шкалі. На ній нанесені дві криві. Абсциси однієї кривої (крива I) дорівнюють логарифмові $x_1(c = 1)$. Ординати дорівнюють

кутів ψ'_1 і ψ''_1 для того, щоб можна було визначити величин у

$$k = n + c$$

з точністю до $8 \cdot 10^{-3}$, себто визначити n з точністю до 0,5, з точністю до $8 \cdot 10^{-3}$, виходячи з формули (6,10).

Із (6,10) одержуємо для помилок:

$$-\frac{\delta n}{n} = -\frac{\delta D n}{D n} + \frac{\delta D}{D}; \quad -\frac{\delta D n}{D n} = \frac{\delta a_1 + b \delta x_1}{a_1 - b x_1} + \frac{\delta a_2 + b \delta x_2}{a_2 - b x_2}.$$

Помилки δa_1 та δa_2 ніякої ролі не відіграють, бо вони дорівнюють $\delta^c \frac{\lambda}{d}$, себто помножені на малу величину λd порядку $5 \cdot 10^{-4}$. Для дальшої оцінки помилок припустимо $b = 6$; $a_1 = a_2 = 3$.

Тоді

$$\frac{\delta D n}{D n} = 4 \delta x = 2 \text{Sin } \psi \delta \psi$$

бо

$$x = \text{Sin}^2 \frac{\psi}{2}; \quad \delta x = \text{Sin} \frac{\psi}{2} \text{Cos} \frac{\psi}{2} \delta \psi = \frac{1}{2} \text{Sin } \psi \delta \psi;$$

за кут ψ прийнято кут ψ_1^1 ($c = 1$) як найбільший можливий кут. При менших кутах помилка менша.

Для помилки величини D маємо:

$$\frac{\delta D}{D} = \frac{\delta a_1}{a_1} + \frac{\delta b}{b} + \frac{2 \delta x}{x_2 - x_1} \rightsquigarrow \frac{2 \delta x}{x_1 (c = 1)} = \frac{\text{Sin } \psi \delta \psi}{x_1 (c = 1)}$$

Тут замість $x_2 - x_1$ підставлено $x (c = 1)$. Правильно було б підставити $x_2 (c = 1) - x_1 (c = 1)$, але для оцінки помилки, як видно з рис. 5, це різниці майже не становить.

Остаточно

$$\frac{\delta n}{n} = \text{Sin } \psi \cdot \left(2 + \frac{1}{x_1}\right) \delta \psi \rightsquigarrow \frac{\text{Sin } \psi \delta \psi}{x_1 (c = 1)} \quad (4,11)$$

Тут ми знехтували величину 2, малу в порівнянні з великою величиною $1/x$.

При оцінці помилок c будемо виходити з виразу:

$$c_0 = \frac{x}{x_2 - x_1}; \quad \frac{\delta c}{c} \rightsquigarrow \frac{\delta c_0}{c_0} = \frac{\delta x_1}{x_1} \quad (4,12)$$

Тепер підставмо в (4,11) і (4,12) замість δn δc , припустимі при визначенні цих величин помилки:

$$\delta n = 0,5; \quad \delta c = 8 \cdot 10^{-3},$$

і одержимо припустиму помилку при вимірюванні кутів: для

$$n - \delta\psi_n = \frac{0,5 x_1 (c = 1)}{n \sin \psi_1} \quad \text{для } c: \delta\psi_c = 5 \cdot 10^{-3} \frac{x_1 (c = 1)}{\sin \psi_1'}$$

Табличка 8 дає припустимі значення δ для різних значень n для випадку $\varphi = 5460 \text{ A}^\circ$, $n_2 = 1,5462$.

Таблиця 8

Допустима помилка для відліку кутів при визначуванні n и c

n	$x \cdot 10^3$	ψ_1''	$\delta\psi_n$	$\delta\psi_c$
400	1,45	6°10'	4"	15"
200	2,68	8°22'	12"	19"
100	5,13	11°34'	27"	27"
50	10,00	16°04'	62"	37"
I	II	III	IV	V

Замітимо, що n і c — величини незалежні (при чому $c = 2\delta n$). З цієї причини при оцінці помилок ψ відіграє роль найменша з величин $\delta\psi_n$ і $\delta\psi_c$.

Одержаним таким чином значення n і c дають змогу вирахувати μ з величезною точністю $4 \cdot 10^{-6}$. Коли обмежитися для μ точністю в $1 \cdot 10^{-5}$, то числа V-го стовпця повинні бути збільшені в $2^{1/2}$ раза.

Таким чином виявляється, що в межах від $n = 400$ до $n = 100$ найбільша точність відлічення потрібна для визначення не дробової, а цілої частини n .

В межах від $n = 400$ до $n = 100$, себто для рідин з показником від 1,328 до 1,492, лімб, за яким відлічуються кути повороту кубика, треба розділити в інтервалі коло 23° з точністю до $15''$ для визначення c . Це не є утрудненням, але для визначення n точність повинна бути вища. В інтервалі коло 170 від $n = 400$ до $n = 200$, себто для рідин з показником від 1,328 до 1,437 лімб повинно поділити на кути з точністю $4''$, а це вже є робота дуже тонкого механіка.

Ця обставина тим більш прикра, що в цьому інтервалі показників лежить вода ($\mu = 1,329$) і етиловий спирт ($\mu = 1,336$) і водні й спиртові розчини, що становлять особливий інтерес для вимірювання.

З цієї трудності можна вийти двома шляхами: 1) можна замінити кварц на флуорит ($\mu = 1,434$); для комбінації флуорит — вода матимемо $\mu^2 - \mu_1 = 0,104$; $n \approx 200$, і точність ділення може бути знижена до $12''$; 2) але можна піти й іншим шляхом, шляхом східчастого кубика, користуючись тим, що $n + c$ завжди є ціле число.

Надамо кубикові вигляд, вказаний на рис. 7. Він складається з двох план-паралельних частин різної товщини. Товщина нижньої частини дорівнює $d = 1$ мм, товщина верхньої частини

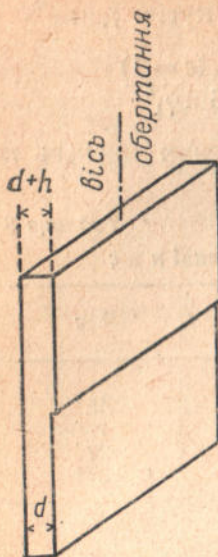


Рис. 7.

дорівнює $2d+n=2,1$ мм, вишина східця між обома частинами дорівнює $n=0,1$ мм. Дифракційне явище спостерігається як на межі між нижньою частиною кубика і рідиною, так і на східці. Але різниця ходу n' , внесена східцем, дорівнює всього лише $0,1$ різниці ходу n , яку вносить повна товщина кубика.

Визначмо n' . Це можна зробити з точністю до $0,1$ смуги. Тоді $n=10n'$ з точністю до $0,1$ смуги. Замітимо, що при такому способі вимірювання швидкість вимірювання не падає, а зростає. Справді, відпадає зовсім обчислення n . Залишається тільки обчислення n' , для якого досить першого наближення. Крім того, оскільки n' лежить в межах від 10 до 40, номограма рис. 26 може бути викреслена в збільшеному масштабі, і n' можна одержати прямо за номограмою. Нарешті, для великих n величину n можна обчислити в нульовому наближенні, для малих значень n —у першому.

Таким чином одержуємо на перший погляд неймовірний результат, що за допомогою лімба, поділеного з точністю всього лише до $15''$, можна виміряти показники заломлення з точністю до $4 \cdot 10^{-6}$

Залишається сказати декілька слів про вимірювання кутів ψ_1 , та Ψ_1'' . Положення, коли кубик нормальний до падаючого променя, приблизно можна знайти. Ми повертаємо кубик. При цьому, коли $\mu_2 > \mu_1$, і кут Ψ_1 , зростає, то n збільшується, і дифракційні смуги зміщуються з кубика в рідину (в випадку, коли $\mu_2 < \mu_1$, смуги зміщуються у зворотному напрямку). Повертаємо кубик, наближаючи його до нормального положення. Коли це положення ми пройдемо, то при дальшому обертанні кубика в тому же напрямі смуги змінюють напрямок свого зміщення на зворотний.

Таким чином ми легко можемо встановити ділення на лімбі: при яких має місце перше й друге зникнення кубика праворуч і ліворуч від нормального положення. Тоді

$$\psi'_1 = \frac{\varphi_1^+ - \varphi_1^-}{2}; \quad \psi''_1 = \frac{\varphi_2^+ - \varphi_2^-}{2}$$

Викладений тут спосіб відлічення дробових частин дозволяє побудувати рефрактометр на принципі обертального кубика надзвичайної простоти і чутливості.

Аналогічно можна вимірити і показник заломлення сталеної платівки відносно повітря. (Про це див. у «Доповідях Академії наук УРСР» 1943 р. № 1—2).

Чл.-корр. И. В. ОБРЕИМОВ
ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕЛОМЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ
ФРЕНЕЛЕВОЙ ДИФРАКЦИИ

РЕЗЮМЕ

В § 1 кратко описано явление Френелевой дифракции от прямолинейного края бесконечной полуплоскости, вносящей разность хода в n длин волн. Оказывается, что если n является целым числом, то величина n может быть определена с точностью до $\pm 0,004$.

В § 2 описывается явление, имеющее место при разложении тени от края пластинки в спектр, и показано, каким образом можно измерять кривые дисперсии жидкостей.

В § 3 описывается прием для определения дробных частей по асимметрии дифракционной картины.

В § 4 описан прием, с помощью которого можно определять целую и дробную часть n путем поворота эталонной пластинки в жидкости.

I. V. OBREIMOV

THE MEASUREMENT OF REFRACTIVITY INDICES BY MEANS OF
FRESNEL'S DIFFRACTIONS PHENOMENON

In spite of the often quoted opinion, the Fresnel's diffraction phenomenon has no practical use, the author shows, that the diffraction from the edge of a plane and parallel plate gives the best criterion for the estimation of optical path differences. The author explains several refractometers for liquids based on the principle of Fresnel's diffraction phenomenon.

Чл.-кор. С. С. УРАЗОВСЬКИЙ і канд. хім. наук І. Г. ПОЛОЦЬКИЙ
**НОВИЙ МЕТОД ЗБУДЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ І
ЙОГО ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ**

ПЕРЕДМОВА

Шукання шляхів інтенсифікації різних технологічних процесів у хімії і суміжних з нею галузях спонукає дослідників залучати чимраз більше факторів, що діють на перебіг цих процесів. Високі температури, тиснення, каталізатори, електрична й світлова енергія, дотепне використання поверхневої енергії та інших факторів — все це широко залучається промисловістю для розв'язання найважливіших народногосподарських і оборонних завдань.

Використання в промисловій практиці зазначених галузей акустичної енергії, не зважаючи на розвиток дослідження різноманітних ефектів, які вона викликає, ще не знайшло свого відбиття.

У даній роботі зроблена спроба розкрити шляхи використання акустичної енергії в деяких галузях хімічної технології (і суміжних з нею), розв'язавши завдання створення нового, досить простого, технічно приступного і економічно вигідного джерела ультраакустичних коливань.

Робота складається з двох частин.

Перша частина, що відбиває в певній мірі історичну підготовку основного дослідження, присвячена детальному аналізу літературних джерел про диспергуюче й хімічне діяння ультразвуку, а також короткому викладові опублікованих уже наших експериментальних робіт про механізм хімічного діяння ультраакустичних коливань, що безпосередньо привели нас до розробки нового методу збудження акустичної енергії в рідинних середовищах.

Друга частина — основна частина даного дослідження — присвячена описові теоретичного обґрунтування і експериментальної реалізації нашого методу, з викладом практичних наслідків його застосування, головним чином, в галузі одержання терапевтичних, дезінфекційних і дезінсекційних емульсій.

Робота виконувалась у Харкові, в Українському Інституті Експериментальної Медицини і частково в Хіміко-Технологічному Інституті, і закінчена в Уфі, в Інституті Фізичної Хімії Академії Наук УРСР.

Прийнятий у літературі поділ звукових коливань на інфразвуки, чутні звуки і ультразвуки обумовлений особливостями наших органів почуттів. Ультразвуком прийнято називати коливання, частота яких лежить понад верхньою границею чутності, себто примірно — вище 20 кілогерц. За своєю фізичною природою ультразвукові хвилі нічим не відрізняються від чутних звукових коливань і можуть розповсюджуватись у твердих, рідких і газоподібних середовищах. У зв'язку з дуже малою довжиною хвиль ультразвукових коливань, порівнюючи з розмірами джерела ультразвуку, вони можуть бути одержані спрямованим пучком, що забезпечує ефективне використання їх енергії.

Ультразвукові коливання можуть бути одержані за допомогою механічних, термічних, електричних, магнітострикційних і п'єзоелектричних випромінювачів, які дозволяють одержувати ультразвуки великої потужності. Середовищем для п'єзоелектричних випромінювань звичайно служать рідини з високоізолюючими властивостями, які одночасно служать і передавачами акустичної енергії. Ультраакустична потужність, яку легко можна одержати від п'єзоелектричних джерел, досягає 10 в/см².

Спроби одержати ультразвукові коливання були вперше успішно здійснені Кенігом (1) ще в 1899 році, який за допомогою камертона одержав коливання до 90 кілогерц. Однак проблема одержання потужних джерел ультразвуку була розв'язана лише в 1925 р. Ланжевенном (2), роботи якого і поклали початок широкому й всебічному дослідженню ультразвукових коливань і різноманітних ефектів, які вони викликають.

При діянні ультразвуку на різні об'єкти неорганічної і органічної природи цілим рядом дослідників були виявлені найрізноманітніші ефекти. Вуд і Луміс (3) в докладній роботі встановлюють, що всі ефекти, спричинювані ультразвуком, можна поділити на механічні, термічні, хімічні і біологічні. Таке розмежування дії ультразвуку, прийняте в літературі, нам здається неточним і відбиває лише зовнішній бік явищ, поскільки первинним діянням у всіх цих ефектах, мабуть, є механічне, що, в свою чергу, викликає вторинні діяння у вигляді згаданих ефектів.

Ближчий аналіз ефектів, виявлених різними авторами, а також детальніші дослідження хімічного діяння ультразвуку, коло якого заходились ми (4), дозволяє нам вважати, що первинною причиною різноманітних ефектів, спричинюваних ультразвуком, принаймні, в рідких середовищах, слід вважати виникнення і спадіння порожніх просторів (каверн), себто т. зв. кавітацій.

Ще Кундт і Леман (5) спостерігали помутніння старанно знезараженої води, яка піддавалася сильним акустичним коливанням. Вони вважали, що це помутніння спричиняється розривом суцільності води під впливом інтенсивних механічних пульсацій. Релей (6) обчислив тиснення, яке повинне розвиватися при спадінні сферичної

порожнини. Обчислення показує, що при спадінні кавітації, коли діаметр порожнини стає рівним незначній частині свого початкового значення, можуть розвиватися тиснення, які досягають тисяч і десятків тисяч атмосфер. Природно, що спадіння кавітації може викликати величезні механічні ефекти, які, в свою чергу, можуть стати причиною інших ефектів, помилково приписуваних безпосередньому діянню ультразвуку. Так, наприклад, Фетінгер (7) спостерігав ерозію скла, спричинювану кавітаціями. Він же вказав, що, завдяки розвитку сильних місцевих тиснень і температури, а також, можливо, електризації, яка виникає при терті порожнин, що зміщуються, можуть відбуватися і хімічні явища. Цікаво, що ерозія металу і скла під впливом кавітації може бути спричинена за допомогою інтенсивних звуків чутної частоти.

Дуже переконливі доводи на користь вирішальної ролі кавітації при різних ефектах, спричинюваних акустичною енергією, можна знайти в роботах про диспергуюче діяння ультразвуку. Деякі з цих робіт заслуговують на пильну увагу, оскільки вони відіграли певну роль у тлумаченні діяння ультразвуку і послужили поштовхом до численних досліджень хімічного діяння ультразвукових коливань.

Перші дослідження в цій галузі належать Вудові і Лумісові (8), які одержали при діянні ультразвуку досить стійкі емульсії типу масло — вода, ртуть — вода і інші. Варто уваги, що в вакуумі, як це показали Бонді і Зельнер (9), емульгування систем типу масло — вода під діянням ультразвуку не відбувається. Різко погіршується емульгуюче діяння ультразвукових коливань при високих тисненнях. Ці факти можуть бути з'ясовані зниженням кавітаційного ефекту в зазначених умовах: в першому випадку — утрудненістю спадіння кавітацій, а в другому випадку — погіршенням умов утворення їх. Заслуговує на увагу також той факт, що істотною умовою успішного емульгування в ультразвуковому полі є також наявність в емульгованій системі розчинених газів. Роговський і Зельнер (10) довели, що ця умова обов'язкова.

При діянні ультразвуку на ретельно знезаражені рідини емульгування не відбувається. Цей факт відзначає також Сата (11), який одержував за допомогою ультразвуку воднортутні емульсії. Розчинений в емульгованій системі газ, все одно який, при невисоких концентраціях сприяє емульгуванню, бо полегшує утворення кавітацій, являючи собою «просторорозпушувач». Однак, при більш високих концентраціях він може стати перешкодою для емульгування через буферне діяння на спадіння кавітацій.

Численні дослідження різних авторів, присвячені емульгуючому і коагулюючому діянню ультразвуку, а також цікаві дослідження біологічного діяння ультраакустичних коливань, на яких ми тут не спиняємось, мали певний вплив на розвиток робіт про хімічне діяння ультразвуку, полегшивши в деяких випадках тлумачення механізму цього діяння.

Хімічне діяння ультразвукових коливань вивчалось цілим рядом дослідників. Однак, не зважаючи на велику кількість опуб-

лікованих робіт у цій галузі, питання в даний час перебуває в суперечливому і заплутаному стані. Це пояснюється до певної міри тією обставиною, що більшість досліджень має лише якісний характер і в деяких випадках не задовольняє вимог хімічного дослідження (сумнівна чистота препаратів, недодержання постійності умов и т. ін.).

Наведемо короткий аналіз результатів найбільш докладних робіт у цій галузі, доповнивши їх результатами наших досліджень, оскільки вони доповнюють наші доводи про вирішальну роль кавітації при ультразвукових ефектах.

Шмідт, Джонсон і Ольсон (12) при діянні ультразвуку на водний розчин йодистого калію констатували вилучення вільного йоду. Цікаво, що виділення йоду відбувається і в тому випадку, коли до підданих уже дії ультразвуку розчинів хлористого або бромистого калію додати розчин йодистого калію. Більш того, такий же ефект, правда — в меншій мірі, спостерігається при доливанні йодистого калію до дистильованої води, видержаної деякий час під дією ультразвуку. При експонуванні ж в ультразвуковому полі золю і гелю кременевої кислоти, які містили розчин йодистого калію, лише перший давав незначне виділення вільного йоду. Далі, цікаво, що у всіх дослідах з йодистим калієм кількість виділюваного йоду наростала з експозицією лише до певної межі, після чого лишалась постійною. Гранична кількість йоду, що вилучається під дією ультразвуку, не залежить також від початкової концентрації йодистого калію. Як показала Соловійова (13), вона однакова як при експонуванні 20%-го, так і 1%-го розчину йодистого калію. Аналогічно поведуться при діянні ультразвуку також і водні розчини сірководню, які при цьому починають опалесцювати, що свідчить про вилучення вільної сірки, а також деякі барвники, що явно змінювали своє забарвлення.

Описані вище ефекти окислення різних речовин у водних розчинах можуть стати зрозумілими в світлі наших досліджень впливу ультразвуку на воду.

Ще Шмідт, Джонсон і Ольсон (14) виявили в підданій діянню ультразвуку воді перекис водню. Шультес і Гор (15) встановили при цьому також присутність слідів азотної і азотистої кислоти.

Ми докладно дослідили діяння ультразвуку на воду і кількісно визначили перекис водню, азотної і азотистої кислоти (16), що виникають при різних умовах. В результаті цих досліджень нами встановлено, що: 1) кількості зазначених продуктів окислення лінійно зростають з часом експозиції; 2) кількість перекису водню й азотної кислоти досягала в наших умовах, за п'ять годин експозиції, до границі: H_2O_2 —30 мг/л, NO_3' —50 мг/л, після чого не змінювалася; а що до кількості NO_2' , яка досягала за першу годину експозиції 2 мг/л, то вона швидко зникала.

Крім того, утворення цих продуктів залежало від температури досліді, зовнішнього тиснення і, взагалі, повітряного режиму; наприклад, пропускання повітря через посуд з водою різко збільшувало кількості утворюваних продуктів окислення, однак лише в першу годину експозиції.

Виникненню вказаних продуктів окислення у воді при діянні ультразвуку, а особливо характерові динаміки зростання концентрації їх у зв'язку з режимом експонування ми надаємо виключне значення в тлумаченні інших хімічних ефектів, спричинюваних ультразвуком у водних розчинах. Зокрема, вирішального значення ми надаємо ролі кисню повітря, що завжди присутній у водних середовищах.

Певною мірою стверджують наші погляди на роль розчинного повітря в перебігу окислювальних процесів, спричинюваних ультразвуком, деякі вказівки інших дослідників, що працювали в цій галузі. Наприклад, Ліу і Ву (17) зазначають, що у випадку знезаражених водних розчинів окислення йодистого калію під впливом ультразвуку не відбувається. Не відбувається воно і у випадку насичення експонованих розчинів воднем або вуглекислим газом. Далі, Бейте (18) вказує, що при діянні ультразвуку на 0,001-п розчин перманганату калію кількість утворюваного за певний період двоокису марганцю перебуває в повній відповідності з кількістю перекису водню, що виникає, при експонуванні в тих же умовах дистильованої води. Ясно, що в цих випадках, а також, очевидно, і в усіх інших випадках діяння ультразвуку, описаних іншими авторами, первинним хімічним ефектом слід вважати виникнення перекису водню та ін. продуктів взаємодії розчиненого повітря з водою. Щоправда, Чалай (19) описує особливий тип реакцій, викликуваних ультразвуками, а саме: деполімеризацію високомолекулярних сполучень (крахмалу, гуміарабіку, желатину), інверсію тростинного цукру й ін., які відбуваються, на його думку, в наслідок перетворення акустичної енергії якимсь іще невідомим чином в енергію активації молекули, що розкладається. Однак, ми і в цих випадках схильні вбачати одну з найголовніших причин — первинне діяння ультразвуку на воду, і розщеплення зокрема тростинного цукру пояснюємо каталітичною дією азотної кислоти, що виникає при діянні ультразвуку.

Щоб остаточно ствердити вирішальну роль згадуваних продуктів окислення, принаймні в переважній більшості хімічних ефектів, виявлених при діянні ультразвуку в водних середовищах, і щоб разом з тим на аналізі причин виникнення цих продуктів окислення обґрунтувати наші погляди на механізм первинного діяння ультразвуку в рідинних фазах, ми провели дослідження дії ультразвукових коливань на кінетику хімічних реакцій у неводяних середовищах (20). З цією метою ми дослідили кінетику розкладу трихлорацетової кислоти в аніліні і ізометизацію амоніюроданіду в розплаві.

Як збудником ультразвукових коливань ми, як і в усіх попередніх наших роботах, користувались високочастотним електромагнітним генератором з потужністю коливального контуру 3,0 kW, енергія якого підводилась безпосередньо до п'єзокварцевої платівки діаметром 50 мм і товщиною 4,00 мм, зануреної у трансформаторне масло. При ефективному напруженні на кварці до 3 kv і силі струму в ланцюзі кварцу 75 mA, ми одержували фонтан масла над кварцем, що доходив до 6—7 см висоти. Реакційну посудину

з подвійними стінками для живлення проточним середовищем постійної температури містився безпосередньо над кварцем. Постійність температури додержувалася з точністю до $0,2^\circ$ у дослідах з трихлорацетовою кислотою і в межах 2° у дослідах з роданистим амонієм. Для порівняння ставились паралельно контрольні досліди в тих же умовах, що й досліди в ультразвуковому полі.

Таблиця 1

Кінетика розкладу трихлорацетової кислоти в аніліні при 50°C

№ досліду	Концентрація	Час (у хвил.)	Кільк. мл NaOH		К контрольн.	К опромін.
			контр.	опромін.		
Концентрація CCl_3COOH 0,04 н.						
1	0,04 н	0	24,2	22,5	0,00115	0,00123
		60	22,6			
2	0,04 н	0	24,1	22,5	0,00116	0,00116
		60	22,6			
3	0,04 н	0	24,1	20,6	0,00125	0,00125
		125	20,6			
4	0,04 н	0	24,2	20,6	0,00125	0,00129
		125	20,7			
5	0,04 н	0	24,1	18,8	0,00135	0,00139
		180	18,9			
6	0,05 н	0	24,1	19,0	0,00132	0,00132
		180	19,0			
7	0,04 н	0	24,1	17,3	0,00134	0,00138
		240	17,5			
8	0,04 н	0	24,1	17,8	0,00128	0,00127
		240	17,7			
9	0,04 н	0	24,2	16,4	0,00128	0,00128
		305	16,4			
10	0,04 н	0	24,2	16,4	0,00128	0,00128
		305	16,4			
Пересічно . .					0,00126	0,00128

Таблиця 2

Випробування розчину трихлорацетової кислоти в нейтральному бензині при 60°C . Концентрація CCl_3COOH 0,1 н.

№ досліду	Час (у хвил.)	Кількість мл NaOH		№ досліду	Час (у хвил.)	Кільк. мл NaOH	
		контр.	опромін.			контр.	опромін.
1	0	24,2		6	0	24,2	
	60	24,1	24,2		180	24,1	24,1
2	0	24,1		7	0	24,1	
	60	24,1	23,9		240	24,1	23,9
3	0	24,1		8	0	24,1	
	120	24,0	24,0		240	24,0	24,1
4	0	24,1		9	0	24,2	
	120	24,0	24,0		300	24,2	24,1
5	0	24,0		10	0	24,1	24,0
	180	23,9	23,8		300	24,1	24,0

Кінетика ізомеризації роданистого амонію в розплаві при 170°C

№ досліду	Час (у хвил.)	% утвореної тіосечовини		№ досліду	Час (у хвил.)	% утвореної тіосечовини	
		контр.	опромін.			контр.	опромін.
1	5	7.60	7.49	10	25	20.25	20.29
2	5	7.79	7.98	11	30	22.50	—
3	10	12.42	11.97	12	30	22.42	—
4	10	12.54	11.78	13	40	23.75	—
5	15	15.77	16.15	14	40	23.75	—
6	15	17.18	15.77	15	45	24.74	—
7	20	19.26	18.81	16	45	24.80	—
8	20	19.00	18.24	17	60	24.50	—
9	25	20.29	20.06	18	60	24.50	—

В результаті кінетичних вимірів для трихлорацетової кислоти обчислювалися константи швидкостей розкладу за мономолекулярним законом, а для роданистого амонію — % утворення тіосечовини.

Одержані нами дані кінетичних вимірів (наведені в таблицях 1, 2 і 3) цілком певно дозволяють нам зробити висновок, що на досліджені реакції ультразвук ніякого впливу не робить. Ці наслідки ми вважаємо можливим узагальнити і твердити, що при відсутності ускладнюючих факторів, які виникають у розчинниках (головним чином, у воді) в наслідок присутності розчинених газів (повітря) або каталітичної дії слідів домішок (продуктів дезагрегації ультразвуком мінеральних порошків — забруднень) ультразвукові коливання не роблять помітного впливу на кінетику хімічних реакцій, що відбуваються з участю відносно простих молекул.

Щодо описаних вище ефектів окислювальної дії ультразвуку в воді і в водних розчинах, так само як деполімеризуючої дії її на високомолекулярні сполучення, то в світлі наведених вище міркувань про роль кавітацій первинну причину цих ефектів ми вважаємо в механічному діянні ультраакустичних коливань, а не в безпосередній активації молекул, як це схильні вважати деякі дослідники.

Переконавшись таким чином на підставі всього вищевикладеного в кавітаційній природі механізму діяння ультразвуку в рідинних сферах і зважаючи також на практичну важливість застосування ультразвукових коливань у різноманітних питаннях хімічної технології, ми поставили перед собою завдання знайти просте і технічно доступне джерело збудження кавітацій, у достатній мірі ефективне для практичних цілей.

Використання різноманітних ефектів, збуджуваних акустичною енергією в рідинних середовищах, починає набувати останнього часу досить перспективного практичного значення. Цілий ряд легко відтворюваних процесів, які досить ефективно відбуваються при діянні ультразвуку, чекають свого промислового здійснення. Серед них на особливу увагу заслуговують процеси:

1) гомогенізації (диспергування і емульгування) різних систем типу: рідина — рідина і рідина — тверде (що має велике значення в фармацевтичній промисловості).

2) стерилізації різних рідинних середовищ (з можливою перспективою розробки принципово нового методу виготовлення вакцин.

При діянні ультразвуку на суспензії мікроорганізмів, останні зазнають механічного зруйнування. Продукт, що при цьому одержується, втрачаючи свою вірулентність, зберігає всі інші цінні якості, необхідні для виготовлення вакцин, тим часом як всі методи стерилізації, що практикувалися до цього часу (термічні, хімічні), так глибоко руйнують вихідний матеріал, що він часто стає не придатним для дальшої роботи. В 1940—1941 рр. в УІЕМ'і (Харків) нами, спільно з професором Блінкіним, була одержана за допомогою ультразвуку протидизентерійна вакцина, успішно випробувана на великій кількості кролів. Війна перервала цю роботу.

3) каталітичного окислення в рідинній фазі (наприклад, парафіну).

Однак, широкому розповсюдженню і швидкому впровадженню в практику цих процесів заважає складність і дорожнеча установок — джерел ультразвуку. Більше того, можна вважати, що в даний момент апаратура для збудження ультразвуку — ще неприступна для промислового впровадження. Справді, єдиний найбільш ефективний метод одержання ультразвукових коливань базується на збудженні за допомогою потужних генераторів п'єзокварцевої осциляції. Продуктивність таких установок надзвичайно мала. Збільшення ж її хоч би до розмірів малолітражних апаратів вимагає застосування дуже дорогих і складних п'єзокварцевих мозаїк, з трудом виготовлюваних лише для спеціальних цілей. Всякі ж інші випромінювачі акустичної енергії — електричні, магнітострикційні і т. ін. через малу ефективність і, знов таки, складність мають ще менші шанси на практичне впровадження.

Таким чином, існуючі загальноприйняті методи збудження ультразвуку в даний час мають лише теоретичний інтерес (в розглянутій галузі) і приступні лише в лабораторно-дослідчій практиці.

А тим часом практичний інтерес і привабливі перспективи в галузі використання ультразвуку для різних хіміко-технологічних процесів неухильно штовхають дослідників на шукання приступніших шляхів впровадження його в практику.

Глибоке й детальне дослідження механізму діяння ультразвуку в рідинних середовищах відкриває шляхи принципово нового

підходу до створення випромінювачів акустичної енергії для вказаних цілей.

Базуючись на всебічному аналізі численних робіт про ультразвук і спричинювані ним ефекти (21), а також на своїх експериментальних дослідженнях механізму хімічного діяння ультразвуку, стисло описаних у попередньому розділі, ми розробили новий метод збудження акустичних коливань у рідинних середовищах.

Суть цього методу полягає у використанні енергії спадіння кавітацій, що виникають при конденсації перегрітої пари в рідинній фазі.

Якщо пропускати крізь вузьку відтулину (капіляр) під деяким тисненням перегріту пари в рідинну фазу, то, в наслідок раптової конденсації струменя пари, простір (безпосередньо у сопла), на мить зайнятий деяким елементом об'єму парової фази, різко зменшується до незначних розмірів, і механічний удар, який виникає при цьому (при зачиненні порожнини), повинен викликати в пограничних шарах сильне стиснення, яке досягає досить великих значень (десятків тисяч атмосфер). Конденсація пари і пов'язані з нею явища, при певних умовах досліду (достатній різниці температур рідинної фази й пари), відбувається так швидко, що навіть у безпосередній близькості до сопла вже трудно виявити на око розриви суцільності рідинної фази, які свідчили б про наявність пари, що ще не сконденсувалася.

Природно, що описуваний елементарний акт розриву суцільності рідинної фази якимсь елементом об'єму пари і наступна ліквідація цього розриву є не що інше, як процес утворення й спадіння одиночної каверни. Цей процес, при наявності сприятливих умов, що забезпечують швидкість його, повинен служити досить потужним джерелом ударної хвилі, період коливання якої, очевидно, визначиться часом спадіння кавітації. Приблизне обчислення з урахуванням пружних констант рідинної фази при заданих параметрах (різниці температур і швидкості витікання пари) приводить до значень частот ударної хвилі, які лежать в галузі ультразвукових коливань. Однак, такий розрахунок, — якого ми тут і не наводимо — дуже приблизний, поскільки в ньому лишається значною мірою невизначеним момент початку спадіння каверни, себто початковий розмір порожнини, що зачиняється. Ми вважаємо за досить правдоподібний початковий діаметр спадаючої порожнини (вважаючи її сферичною), що лежить у межах 10^{-3} — 10^{-4} см. При цьому ми вважаємо цілком зрозумілим, що процес конденсації пари відбувається не безперервно з суцільного струменя, а переривчасто, в міру витікання пари пульсуючими порціями, що замикаються в сферичні пухирці, поведінка яких, як одиночних каверн, вже розглянена вище. Час між двома послідовними замиканнями (відривами) порцій пари повинен бути значно більший, ніж час спадіння окремої каверни, себто частота таких пульсацій повинна бути нижча від розгляненої раніш ударної хвилі і цілком визначатися, при всіх однакових інших умовах, швидкістю витікання пари і різницею температур пари і рідинного

середовища. Енергії цього пульсуючого процесу розриву суцільності рідинної фази пухирцями пари ми приписуємо збудження тих чутних частот, які спостерігаються в наших дослідах у вигляді характерного свистячого звуку обнижуваного тону, в міру зниження різниці температур пари й середовища.

Таким чином, у розгляненій схемі процесу швидкої конденсації перегрітої пари, що витікає через вузьке сопло в рідинну фазу, ми вбачаємо джерела двох гам акустичних коливань: чутних — за рахунок пульсуючого розриву рідинної фази пухирцями пари — і ультразвукових — за рахунок удару, що виникає при досить швидкому спадінні цих пухирців, себто за рахунок спадіння кавітації¹.

Принципова відмінність розглядуваного методу збудження механічних коливань у рідинних середовищах від усіх інших, раніш згаданих, полягає в тому, що в усіх випадках ззовні введене джерело акустичної енергії є збудником кавітацій, тим часом як у нашому методі викликані спеціально кавітації становлять генератор акустичної енергії. Істотна ж схожість їх полягає у спільності механізму збудження тих ефектів, які викликаються акустичною енергією в рідинних середовищах.

Випробування дійовості нашого методу ми спрямували головним чином шляхом відтворення диспергуючого ефекту ультразвуку, як найбільш перспективного в практичному розумінні, і частково хімічного діяння, що становить великий теоретичний інтерес.

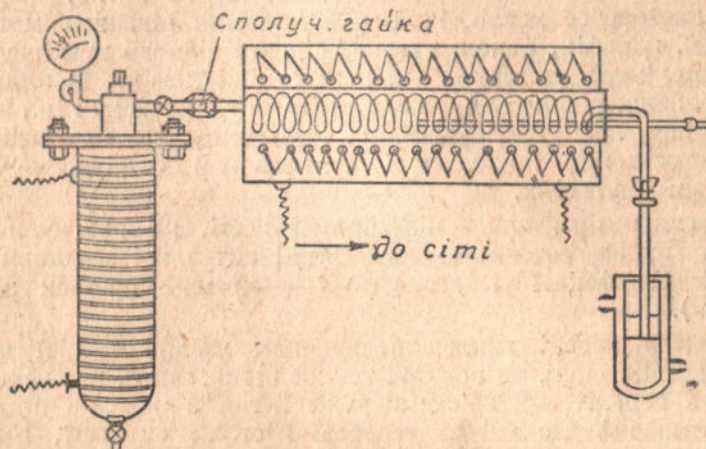


Рис. 1.

¹ З метою безпосереднього експериментального доведення наявності ультразвукових коливань у даному випадку, зважаючи на ненадійність згаданих обчислень, ми провели виміри частот за допомогою катодного осцилографа. Попередні досліди, які не були завершені через вимушену евакуацію, все же показали наявність нестабільних ультразвукових частот, які лежать у досить широкому інтервалі (20—45 кілогерц) і дуже залежать від акустичних властивостей посудини.

Для наших дослідів ми сконструювали досить просту установку, зображену на рис. 1.

Як пароутворювачем ми користувались автоклавом місткістю в 1,5 літру з електричним нагрівом, який ми здійснили за допомогою нікелінової обмотки. Вихідний штуцер автоклаву за допомогою гайки з свинцевою прокладкою сполучався з латунним змієвиком (коло 30 витків), який, в свою чергу, сполучався, як показано на рисунку, з металічним (або скляним) капіляром діаметром коло 1 мм. Змієвик, який служив нам перегрівачем, поміщали у трубчасту піч, яка дозволяла підтримувати необхідну температуру перегріву в межах 300—500°С.

При проведенні описаних нижче дослідів, пара під тисненням 2—5 атмосфер (в основних дослідах при 3 атм.) пропускала через нагрійтий змієвик із капіляром у посудину, що має охолодження, з досліджуваною рідиною. Швидкість витікання пари регулювалася випускним краном автоклаву, який, однак, не дозволяв здійснювати точно вимірюване дозування. Температура перегріву контролювалася пірометром; тиснення пари в автоклаві фіксувалося манометром, градуйованим на $\frac{1}{4}$ атмосфери. Щоб зберегти постійність дозування пари для однієї і тієї ж серії дослідів, ми старалися підтримувати постійне тиснення в автоклаві при збереженні постійності відтулини випускаючого крану.

В галузі дослідження диспергуючого ефекту кавітацій, збуджуваних за нашим методом, ми піддали випробуванню велику кількість систем типу вода — масло, а саме: вазелінове масло, персикове масло, касторове масло, камфорне масло (з підвищеним вмістом камфари), парафін, фенол, крезол, рідини відходи крекінгу нафти (т. зв. полімер), скіпідар, а також суміші деяких із зазначених речовин, напр. полімеру й фенолу, скіпідару й крезолу і ін., а також іншого типу: лейцитин, сульфідин, стрептоцид, йод — у воді, і, нарешті, стрептоцид, анабазин і сульфований скіпідар — у водомасляних емульсіях.

З погляду практичної цілеспрямованості, ми прагнули переліченою групою речовин охопити деякі актуальні завдання хіміотерапії, дезинфекції і дезинсекції (зокрема боротьби з педикульозом).

Лишаючи надалі виклад практичних наслідків цієї частини нашого дослідження, ми повинні тут же підкреслити, що переважна більшість перелічених об'єктів дуже легко й швидко піддається емульсуванню і дає високодисперсні і стійкі емульсії. Емульсування відбувається значно швидше, ніж при роботі на п'єзокварцевій установці. Утворення 10 см³ 100% емульсії здебільшого закінчувалося на протязі 0,5 — 1 хвил. При цьому емульсування відбувається майже однаково успішно незалежно від положення кінця капіляру відносно поверхні розподілу змішуваних фаз. Деяке підвищення ефекту емульсування спостерігається при положенні сопла поблизу поверхні розподілу рідин або коло стінки посудини. В останньому випадку особливо різко відчуються характерні вібрації посудини, які викликають міцне свербіння в руці, і значно підвищується тон

і голосність свистячого звуку, що досягає іноді, в залежності від акустичних властивостей посудини, великої сили.

Переходячи до фізичної характеристики одержаних нами емульсій, треба вказати, що системи типу масло — вода одержуються полідисперсними з величиною емульсоїдів від 0,5 μ до 5 μ з максимумом у галузі 1—2 μ , який, між іншим, коливається як за положенням, так і за висотою, в залежності від природи емульгованої речовини. Треба однак відзначити, що ступінь дисперсності і характер розподілу її для одного й того ж об'єкту перебуває не в лінійній залежності від часу експозиції: спочатку наростаючи з часом, ступінь дисперсності досягає максимуму (в межах 1—2-хвил. для невисококонцентрованих емульсій), далі знову помалу падає, закінчуючись, при дуже тривалих експозиціях, явними ознаками руйнування емульсії. Остання обставина перебуває в згоді з відомими в літературі вказівками про те, що ультразвук справляє не тільки диспергуючу, а й коагулюючу дію. Відносно інших типів дисперсних систем, а саме: стрептоциду або йоду в воді, слід відзначити, що одержані нами гідрозолі цих речовин своєю дисперсністю лежали за межами дозволяючої сили мікроскопу.

Щодо стійкості одержуваних описаним вище методом дисперсних систем, то, бувши, природно, залежною від природи й чистоти диспергованих речовин, вона в окремих випадках була цілком задовільна навіть без добавок стабілізаторів. Особливою стійкістю відзначались емульсії парафіну, які зберігалися протягом 3-х місяців², персикового масла, скіпідару, феноло-кезолів і ін., що лишались без помітних змін на протязі 2—3 тижнів, а також гідрозолі йоду, що не коагулювали коло місяця. Для підвищення стійкості практично цікавих емульсій ми користувалися стабілізаторами — милом для дезинфекційних і дезинсекційних емульсій, желатином, агар-агаром та ін. нетоксичними речовинами для терапевтичних емульсій, які додавались в невеликих кількостях (1—2%) при емульгуванні.

Раніше, ніж перейти до викладу практичних результатів нашої роботи в частині емульгування згаданих вище об'єктів, вкажемо ще, що нам удавалося одержувати також емульсії типу вода — масло з досить великим вмістом останнього (до 98%) шляхом конденсації водяної пари в чистій масляній фазі, а також суспензії лужних металів у гасі й бензині при конденсації пари цих речовин в їх рідинній фазі, яка містить шматочки згаданих металів. Ці досліди з заміною води (і її пари) іншими розчинниками принципово поширюють галузь досить цікавих шукань і показують, що при відповідних умовах досліду наш метод збудження кавітацій і використання їх енергії можна застосувати для роботи з будь-якими речовинами і, зокрема, для гомогенізації яких завгодно конденсованих фаз, що не змішуються в яких-завгодно співвідношеннях.

В результаті експериментування з згаданими вище об'єктами в галузі одержання різноманітних дисперсних систем, нами був одержаний ряд препаратів, що мають певне практичне значення.

² Даліше спостереження стійкості було перерване.

Наведемо спочатку лише ті з них, що дали позитивні наслідки при випробуванні їх практичної придатності:

1) емульсія персикового масла (10%-а) для внутрішнього вливання, — випробувана в Українському інституті експериментальної фармації;

2) дезинсекційні емульсії (різної концентрації) на базі фенолу й чорної карболки, — випробувана в Українському інституті експериментальної медицини;

3) дезинсекційна емульсія (для боротьби з одержною вошею) складу: 5% відходу крекінгу нафти (т. зв. полімеру), 1% фенолу і 1% рідкого мила як стабілізатора, — випробувана в лабораторії акад. А. В. Леонтовича (АН УРСР).

Крім того були виготовлені, але ще не встигли пройти випробування:

1) емульсія камфорної олії (концентрованого розчину камфори в олії) для внутрішнього вливання;

2) емульсія стрептоциду з касторовим маслом для обробки глибоких інфікованих порожнин поранень;

3) гідрозолі йоду — для обробки ран;

4) емульсія парафіну — для імпрегування тканин і готових тканинних виробів.

Слід згадати, нарешті, що оце недавно ми дістали пропозицію про виготовлення мастильних емульсій для дизелів і авіамоторів. Ця робота, як і інші, досить перспективні щодо практичного впровадження нашого методу в галузі гомогенізації, запланована на 1942 рік.

З метою випробування дійовості нашого методу для збудження інших ефектів, які викликає ультразвук, ми провели також деякі дослідження в галузі хімічного діяння ультразвукових коливань. Надаючи вирішального значення первинному діянню ультразвуку на воду при всіх інших хімічних ефектах³, ми, природно, зосередили свою увагу насамперед на діянні кавітацій, збуджуваних конденсацією пари в чистій воді.

Досліди проводилися з двічі перегнаною водою на тій же установці, якою користувались для емульгування, замінивши металічний капіляр скляним. В результаті цих дослідів виявилось, що, при пропусканні водяної пари в воду на протязі кількох хвилин, утворюються явно помітні кількості перекису водню і азотної кислоти. Наприклад, при 10-хвилинній експозиції з належним охолодженням були неодноразово виявлені перекис водню — від 5 до 7 мг/л і явні сліди азотної кислоти.

Не ставлячи перед собою завдання детального кількісного дослідження процесу утворення згаданих продуктів окислення в залежності від часу експозиції та інших факторів, поскільки важливо було виявити лише ефект, ми перейшли до шукання інших ефектів, що стверджують наявність хімічної дії кавітацій, збуджуваних нашим методом.

³ Див. першу частину даної роботи.

Звернувши увагу на виключно стабільність емульсій парафіну в воді, ми думали, що причина цього — в утворенні продуктів окислення його — жирових кислот (за рахунок розчиненого кисню повітря), які, як відомо, становлять собою гарні стабілізатори емульсій. І справді, при перевірці виявилось, що разом з емульгуванням відбувається процес окислення парафіну в явно помітних кількостях, які, звичайно, лімітуються вмістом кисню в воді. Ми схильні вважати, що при належній постановці експерименту — періодичному аеруванні експонованої емульсії або іншому способі введення кисню (краще — кисень-віддаючих речовин), — виявлений нами ефект окислення парафіну може становити практичний інтерес. Це завдання, як і шукання інших практично цікавих хімічних ефектів, поряд із впровадженням у практику диспергуючого ефекту ультразвуку, збуджуваного описаним вище методом, поставлене в плані робіт на 1942 рік.

Закінчуючи, треба вказати, що з метою прискорити впровадження описаного методу в практику нами розроблена схема промислового апарату для емульгування (продуктивністю в декілька тисяч літрів на зміну), яка весною 1941 була заявлена у Відділі винаходів Наркомздраву СРСР.

Інститут фізичної хімії
ім. Л. В. Пісаржевського
Уфа, червень 1942.

Література

- (1) König, Ann. Physik, **69**, 626, 721(1899)
- (2) Langevin, Natur, Paris. mai (1925)
- (3) Wood a. Loomis, Phil. Mag. **4**, 417 (1927)
- (4) Уразовский и Полоцкий, Acta Physicochimica URSS, **XII**, № 3 (1940)
- (5) Kundt u. Lehmann, Ann. Physik, **153**, 1 (1874)
- (6) Rayleigh, Phil. Mag. **34**, 6 (1917)
- (7) Fottinger, Hydraulische Probleme; Berlin, (1926), s. 14.
- (8) loc. cit.
- (9) Bondy a. Söllner, Trans. Farad. Soc. **31**, 843 (1935)
- (10) Rogouski u Söllner, Z. phys. Chem. **166**, 428 (1933)
- (11) Satta, Kolloid Z. **71**, 48 (1935)
- (12) Schmitt Johnson a. Olson; J. Amer. chem. Soc. **51**, 370 (1929)
- (13) Соловьева, Жур. Физ. Химии **9**, 77 (1937)
- (14) loc. cit.
- (15) Schultes u Gohr, Angew. Chem. **49**, 420 (1936)
- (16) loc. cit.
- (17) Liu a. Wu J Amer. chem. Soc. **54**, 791 (1932)
- (18) Beuthe, Z. phys. Chem. **163**, 161 (1933)
- (19) Szalay, Z. phys. Chem. **164**, 234 (1933)
- (20) Уразовский и Полоцкий, Жур. Общ. Химии **X**, 812 (1940).
- (21) Уразовский и Полоцкий, Успехи Химии **IX**, 885 (1940).

НОВЫЙ МЕТОД ВОЗБУЖДЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ И ЕГО ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

РЕЗЮМЕ

1. На основании всестороннего исследования механизма химического действия ультразвука в жидких средах и детального анализа литературных данных о разнообразных эффектах, вызываемых им, разработан новый метод возбуждения ультраакустических колебаний, основанный на использовании энергии кавитаций, возникающих при конденсации паров в жидкой фазе.

2. Дана схема течения процессов, развивающихся при конденсации перегретого пара, истекающего из капилляра в жидкую фазу.

3. Установлено, что при развитии указанных процессов возникают эффекты, тождественные тем, которые вызываются ультразвуком в жидких средах.

4. Разработана весьма простая и доступная установка для практической реализации предложенного метода.

5. В процессе исследования диспергирующего действия кавитаций получен ряд эмульсий, имеющих практическое значение в области химиотерапии, дезинфекции, дезинсекции (в частности в борьбе с вошью) и др.

6. Определены пути дальнейшего внедрения в практику разработанного нами метода возбуждения ультразвуковых колебаний в жидких средах.

By S. S. URAZOVSKY and J. G. POLOZKY

A NEW METHOD OF EXCITING ULTRA-VIBRATIONS AND ITS PRACTICAL USE

SUMMARY

1. On the basis of a many-sided investigation of the chemical action of the ultrasound in liquid media and of detailed analysis of the literary data on the various effects produced by it, a new method of exciting ultraacustical vibrations based on the application of the energy of cavitations arising at the condensation of vapours in a liquid phase has been elaborated.

2. A scheme of proceeding of the processes developing at the condensation of overheated vapour flowing out from the capillaries into the liquid phase is given.

3. It is stated, that at the development of these processes there are arising effects alike with those called forth by the ultrasound in liquid media.

4. A very simple and available installation for the practical realization of the proposed method has been elaborated.

5. In the process of investigation of the dispersing action of cavitations, a series of emulsions have been obtained having a practical importance in the domain of chemotherapy, disinfection, desinsection (i. e. in combatting lice) etc.

6. Ways for further promoting into practice the method of exciting ultracoustical vibrations in liquid media, elaborated by the authors, have been determined.

References see on p. 159.

L. Pissarjevsky's
Institute of Physical Chemists
Ufa, June 1942.

Проф. Я. А. ФІАЛКОВ і наук. співроб. К. С. БЛЕЙХМАН

ПРО ПРОМИСЛОВЕ ВИКОРИСТАННЯ БОКСИТІВ РОДОВИЩ БАРСР І ПІВДЕННОГО УРАЛУ

ПОВІДОМЛЕННЯ І

Одержання глинозему з бокситів Юрюзанських родовищ содово-вапняним методом

В БАРСР родовища бокситів знаходяться в північно - східній частині — в Салаватському і деяких сусідніх районах, на кордоні з Челябінською областю і на півдні — в Хайбулінському районі (Переволочанське родовище).

Найбільше значення в теперішній час мають перші з цих родовищ своєю поширеністю, можливістю використання, близькістю до залізничної лінії тощо.

Ці родовища, що знаходяться на західному схилі Південного Уралу і належать до палеозойських (верхне-девонських) відкладів, стали відомі лише в останнє десятиріччя. Перше повідомлення про них з'явилось в 1934 році. Тоді ж Белоусовим було почато їх геологічне вивчення (1), що привело до відкриття в 1935 році поблизу ст. Сулея і роз'їзду Кукшик Південно - Уральської залізниці досить потужного шару бокситів порівнюючи гарної якості з таким, примірно, хімічним складом (1):

Al_2O_3 — від 48,59 до 67,53 % (частіше 55,58 %);

SiO_2 — від 4,59 до 12,25 % (пересічно 6—8 %);

Fe_2O_3 — від 8, 41 до 23, 72 % (частіше 20—22 %).

Кукшинська група бокситів уже використовується.

Решта родовищ бокситів західного схилу Південного Уралу ще мало розвідана. Показником слабкої розвіданості бокситових родовищ Південного Уралу є відсутність відомостей про них у літературних матеріалах, виданих в останні роки і присвячених глиноземній сировині СРСР.

Так, наприклад, в Технічній енциклопедії видання 1937 року в статті «Алюмінієві руди», одночасно з вказівкою на слабку розвіданість бокситових родовищ Південного Уралу, відмічається лише «Переволочанське родовище» (2).

Мазель у книзі «Виробництво глинозему», що видана в 1940 р., вгадує лише про Кукшинське родовище бокситів (3).

Опубліковані матеріали, що стосуються до хімічного складу Південно-Уральських бокситів, приводять нас до таких висновків:

1. Південно-Уральські боксити відрізняються значними коливаннями верхньої й нижньої меж кількості оксидів алюмінію, кремнію, заліза.

2. За вмістом глинозему і кремнезему (по кремневому модулю) ці боксити можуть бути розподілені на такі три групи родовищ:

а) Кукшинська група, що включає родовища Кукшинське, Новопрістанське, Межове. Боксити цієї групи родовищ відрізняються найбільшим серед інших Південно-Уральських бокситів кремневим модулем, тобто — найбільшою кількістю глинозему при невеликій кількості кремнезему. Як показує наведений вище склад Кукшинських бокситів, їх кремневий модуль знаходиться в межах 7,0—9,6;

б) В'язівська група, розташована поблизу станції В'язова, вздовж ріки Юрюзань. За небагатьма даними, опублікованих А. К. Белоусовим (1) і Соболевою (4), кремневий модуль в'язівських бокситів коливається у відносно великих межах від 3,8 до 11,6. Серед в'язівських бокситів трапляються зразки з кремневим модулем і меншим 3,8 (див. табл. 1).

Таблиця 1

Хімічний склад бокситів В'язівської групи

Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	CaO	MgO	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Примітка
49,03	12,84	21,46	—	2,41	—	—	3,8	За даними Белоусова А. К. (1)
56,27	6,60	20,38	—	2,63	—	—	8,5	
55,25	7,88	21,84	—	2,87	—	—	7,0	
52,04	9,45	24,52	—	2,11	—	—	5,5	
47,87	15,60	20,52	—	2,81	—	—	3,0	
49,03	12,84	18,86	2,34	2,41	0,51	0,34	3,8	За даними Соболевої М. В. (4)
54,50	8,41	10,54	8,63	3,32	0,37	0,12	6,4	
54,30	4,65	21,91	0,73	2,47	0,77	0,04	11,0	

в) Юрюзанська група, розташована в басейнах рік Юрюзані і Катави. В цю групу входить ряд родовищ (виходів) бокситових руд, іноді невеликих розмірами і потужністю, які тягнуться майже меридіально з півдня на північ схилами хребта Башташ і далі повертають на схід у напрямку до Кукшинської групи.

Сюди належать родовища: Урманчинське, Монашкинське, Лисівське, Лімонівське, Кочкарівське, Усть-Катавське, Орловське, Сучківське й деякі інші. До них можна залічити і Серпіївське родовище, розташоване по річці Сим у південно-західній частині цієї ділянки.

За даними досліджень Белоусова (1), всі ці родовища характеризуються, в більшості випадків, малою кількістю глинозему, порядку 35—40% і навіть менше, підвищеною кількістю кремнезему і, отже, мають малий кремневий модуль, що в ряді випадків не пере-

вищує двох, а іноді наближається до одиниці. Підвищена кількість Al_2O_3 і підвищений кремневий модуль відмічені Белоусовим лише для родовищ Лімонівського і Серпіївського. Ця характеристика родовищ Юрюзанської групи за даними Белоусова показана в табл. 2.

Таблиця 2

Хімічний склад бокситів Юрюзанської групи, за даними Белоусова

Родовища	Кількість в %				$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	FeO	
Лімонівське .	47,90—53,28	21,89—18,98	15,17—11,50*	—	2,2—2,8
Кочкарівське .	31,34—33,62	22,84—16,12	30,23—32,67	1,78—5,49	1,37—2,08
Усть-Катавське					
а) чорні ооліт. руди .	32,92—46,72	22,07—15,48	4,36—9,05	9,80—23,95	1,49—2,34
б) зелені ооліт. руди .	25,45—32,78	24,95—29,08	28,24—31,85*	—	0,91—1,31
Серпіївське .	37,46—57,22	15,28—20,75	10,25—31,14*	—	2,33—3,70

* Залізо визначалось сумарно у вигляді Fe_2O_3 .

3. Бокситові родовища Юрюзанської групи, а почасти й В'язівської, характеризуються в більшості випадків значною кількістю алюмосилікатів заліза (лептехлоритів), переважно — шамозиту¹.

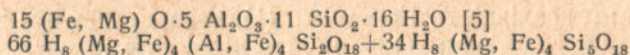
Ці родовища бокситів називають через те діаспор-шамозитовими рудами. В залежності від кількісного співвідношення двох головних породоутворюючих мінералів діаспор-шамозитових руд Південного Уралу, серед них розрізняють чисто діаспорові руди, характерні для Кукшинської групи і почасти для В'язівської, діаспор-шамозитові і, нарешті, шамозит-діаспорові (Соболева—4).

Наявність великої кількості алюмосилікатів заліза мож позначитись на поводженні бокситів указаних родовищ в різноманітних технологічних процесах, порівнюючи з бокситами, в яких алюміній є майже виключно у формі гідроксидів у вигляді гідраргіліту, діаспору, беміту.

Які ж перспективи промислового використання бокситів, що характеризуються вказаними вище особливостями, і в яких галузях промисловості можуть бути використані ці боксити?

Це питання що стосується в основному бокситів Юрюзанської і, частково, В'язівської груп — оскільки боксити Кукшинської

¹ Шамозит звичайно визначається складними формулами



Шамозит характеризується великою кількістю заліза в закисній формі — до 43% FeO і вмістом до 4,5—5% магній-оксиду.

групи вже використовуються в алюмінієвій промисловості, було поставлено Башкирським Геологічним Управлінням перед Академією Наук УРСР.

Як відомо, для вирішення питання — чи можуть боксити певних родовищ, також як і інші копалини, бути використані як мінеральна сировина, дуже істотне значення мають товщина покладів та їх якісна характеристика.

Вияснення товщини покладів родовищ бокситів, які нас цікавлять, та їх промислових запасів, становить компетенцію геологів. Треба лише вказати, що вивчення хімічного складу даних бокситів і виявлення можливості їх промислового використання може дати обґрунтування необхідності докладніших розвідок для вирішення першої частини цього питання — докладного виявлення товщини покладів бокситів. Ми згадуємо про це тому, що дана обставина була одною з підстав постановки описаної далі експериментальної роботи.

Як вказують літературні дані, боксити знаходять різноманітне застосування в промисловості. Основним споживачем бокситів є покищо алюмінієва промисловість для виробництва глинозему та металічного алюмінію. Окрім цього, боксити можуть бути використані для одержання силуміну — стопу алюмінію з кремнієм, для одержання алюмосилікатного і глиноземистого цементів, штучних абразивних матеріалів, глиноземистих вогнетривів, алюмінієвих солей (сульфату алюмінію), мінеральних фарб як адсорбентів для очистки (від сірки) нафтопродуктів, для розрідження шлаків у чорній металургії и т. д.

Ми розпочали дослідження можливості використання бокситів Юрюзанської і В'язівської груп в деяких указаних тут галузях промисловості, зважаючи при цьому на ті вимоги, які можуть бути поставлені в кожному окремому випадку до якості бокситів як мінеральної сировини.

Пристаюючи до цієї частини роботи, треба було мати на увазі, що боксити Юрюзанської групи і, в певній мірі, також В'язівської повинні бути віднесені, за існуючою системою класифікації бокситів та їх стандартизації, до бокситів низькосортних, нестандартних, через пониженою кількістю глинозему та низький кремневий модуль, обумовлений одночасно великою кількістю кремнезему. Про це згадував іще Белоусов, що вперше дослідив ті боксити, які нас цікавлять.

На заводах, що переробляють боксити на глинозем спіканням з содою та вапном, технічними умовами допускаються до переробки боксити з кількістю (в %): Al_2O_3 — не менше 42—45, SiO_2 —8—12 і Fe_2O_3 не більше 15—25 при кремневому модулі не менше 3,6.

Вважається бажаним зовсім не переробляти бокситів з вмістом SiO_2 понад 20% (5).

Новий загально-союзний стандарт на боксити, введений в дію 15 VII 1941 року (7), ставить для найнижчих гатунків бокситів, які ще можуть бути вживані у виробництві глинозему, такі вимоги: наявність Al_2O_3 не нижче 40%, при кремневому модулі не меншому 2,5. Лише для бокситів Соколовського родовища, в яких Al_2O_3 є у вигляді гідраргіліту, стандарт допускає

мінімальну кількість Al_2O_3 в 28%, при кременевому модулі не меншому 5,6.

Не вважаючи на таку несприятливу оцінку тих бокситів, які нас цікавлять, як сировини для виробництва Al_2O_3 , не можна все ж вважати остаточно вирішеним питання про непридатність для вказаної мети бокситів з кількістю Al_2O_3 , близькою до 40% і навіть меншою і з кременевим модулем менше 2,5.

Є вказівки, які не збігаються з стандартом на боксити. Наприклад, Лілеєв (8) характеризує Тіхвінські боксити так: «партії бокситу, які доставлені на досвідний завод ДПХ'а, відзначалися великою різноманітністю складу» (див. табл. 3).

Таблиця 3

Хімічний склад Тіхвінських бокситів за даними Лілеєва

Al_2O_3	SiO_2	F_2O_3	TiO_2	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
58,8	7,8	28,2	3,3	7,54
65,0	11,3	20,0	2,0	5,75
65,0	13,5	19,7	1,2	4,81
58,9	18,9	18,9	2,7	3,12
56,7	19,0	19,7	3,8	3,00
54,8	23,6	17,1	3,0	2,32
49,0	22,6	21,1	2,8	2,17

«Наявність SiO_2 коливалася в межах від 7,8 до 23,6%, а кременевий модуль — в межах 7,54—2,17, при чому в процесі роботи не було помічено будь-яких ненормальностей щодо добування Al_2O_3 . Це лише вказує на те, що наявність значної кількості SiO_2 в шихті не може бути перешкодою до переробки її цим способом² на Al_2O_3 ».

Серед різних способів одержання Al_2O_3 з бокситів (та інших видів мінеральної глиноземної сировини з наявністю глинозему) було вирішено застосувати покищо один із луговинних методів — спікання в суміші з вапном і содою (або натрій-сульфатом), як найбільш підходящий до бокситів пониженої якості.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Для дослідження було одержано 6 зразків бокситів з трьох родовищ Юрюзанської групи. Зразки були підібрані геологічною партією, яка працювала під керівництвом Н. Д. Сухарева.

Коротка характеристика одержаних зразків та їх хімічний склад показані в таблиці 4.

Всі одержані зразки були старанно розмелені спочатку в дробилці Блека, а потім в дезінтеграторі і, нарешті, в шаровому млині. Тонкість помолу була така, що при просіюванні крізь сито в 900 відтулин на 1 см² залишалось менше 10%.

² Вапняно-содовим способом (Я. Ф.).

№ проби	Родовище	Коротка характеристика зразка	Кількість в %					Втрата при пропіканні	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$
			Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	CaO		
45	Кочкарівське . . .	Середня проба 3-х різновидностей	39,10	24,95	22,66	1,78	0,24	10,96	1,6
46	» . . .	Бобова коричнева руда	44,18	18,35	25,51	1,90	0,24	10,40	2,35
47	» . . .	Бобова жовта руда	42,59	22,57	20,76	1,81	0,15	10,76	1,9
48	» . . .	Безбобова жовта руда	37,78	36,12	11,60	2,76	0,29	11,60	1,0
49	Усть-Катавське . . .	Середня проба	24,06	30,07	31,52	0,83	0,29	13,60	0,8
50	Лімонівське . . .	»	42,32	27,53	14,52	1,96	0,66	13,10	1,5

Зроблені нами дослідження можна поділити на дві групи дослідів. Метою першої групи дослідів було визначити ступінь вилучення глинозему за різних умов: склад шихти, температура, тривалість спікання та деякі інші.

Друга група дослідів була присвячена відокремленню глинозему з продуктів спікання—з'ясуванню необхідних умов цього процесу, визначенню чистоти одержаного глинозему та деяким іншим питанням, що стосуються до технології виробництва глинозему. В цьому відношенні найповніше досліджувалась проба № 45 з кременевим модулем 1,6 і проба № 46 з кременевим модулем 2,35.

Для спікання застосовували кальциновану соду та вапняк такого складу (в %): CaO —55,46; MgO —0,32; R_2O_3 —0,44; нерозчинений лишок—0,74; втрата при пропіканні—42,98.

Вапняк розтирали так само, як і боксити.

Складові частини шихти старанно змішувались, при чому більші кількості—для збільшених дослідів—змішувалися в шаровому млині.

Спікання наважок в 50,0 г і більше відбувалося в шамотних тиглях у криптоловій печі. Тигель із шихтою клали в піч, нагріту до певної температури, і тримали при цій температурі протягом 1 або 2 годин. Температура вимірялась оптичним пірометром.

Великі кількості шихти в збільшених дослідях спікалися в полум'яній нафтовій печі Башкирського Науково-дослідчого Інституту Будматеріалів³. Для збільшених дослідів брали по 2,5 кг бокситу. В цих дослідях нагрів печі робили так, що після повільного підвищення температури до 1150—1200° шихта далі видержувалася при цій температурі протягом 2 годин. Температура контролювалась до 800° термопарою, а потім конусами Зегера.

Склад шихти. Для одержання глинозему методом спікання в суміші з содою та вапном шихту готують звичайно таким

³ Спікання проводилося з участю В. І. Михайловської та І. М. Беспалько.

чином, щоб зв'язати по можливості всю кількість Al_2O_3 в натрій-алюмінат, а всю кількість SiO_2 в нерозчинний у воді двокальцієвий силікат.

Проте, в залежності від технологічного методу, що застосовується, і від складу мінеральної глиноземистої сировини (зокрема, в залежності від кременевого модуля) застосовують різні варіанти готування шихти на підставі вказаного принципу.

Так, на Тіхвінському глиноземному заводі до бокситу додають стільки соди, щоб перетворити всю кількість Al_2O_3 і Fe_2O_3 в алюмінат і ферит натрію, і стільки вапняку, щоб забезпечити утворення $2CaO \cdot SiO_2$.

Волховський алюмінієвий завод вживає шихту, в якій кількість соди розраховується лише на Al_2O_3 , вапняку ж береться стільки, щоб загальна вагова кількість основних і кислотних оксидів у шихті дорівнювала 0,9—0,92.

$$\frac{Na_2O + CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + TiO_2} = 0,9 - 0,92$$

За даними Лілеєва оптимальний склад шихти, що дає найбільші виходи Al_2O_3 при водному вилуговуванні, такий: бокситу 1 ч., крейди не більше 0,5 ч. від ваги бокситу, соди на 10—20% більше проти теорії, зважаючи на утворення алюмінату і фериту натрію.

Виходячи з того, що на Тіхвінському глиноземному заводі переробляються боксити з порівнюючи малим кременевим модулем (нижчою його межею відповідно до стандарту), ми вирішили застосувати шихту такого ж складу, як на Тіхвінському глиноземному заводі.

Відношення (в молях) $\frac{CaO}{SiO_2} = 2$ ми зберігали в усіх дослідях постійним, відношення ж $\frac{Na_2O}{R_2O_3}$ змінювали в межах 0,8—1,1 (див. табл. 5).

Таблиця 5

Ступінь вилучення Al_2O_3

№№ проб	$\frac{(Na_2O)}{(R_2O_3)}$	Температура спікання в $^{\circ}C$	Тривалість спікання в годинах	Ступінь добування Al_2O_3 в %
45	1,1	1150	1	82,6
»	1,1	1150	2	81,0
»	1,05	1150	*)	85,6
46	0,8	1200	1	64,5
»	0,8	1200	2	60,8
»	0,9	1150	*)	68,1
47	1,0	1150	1	87,3
»	1,0	1150	2	70,8
48	1,07	1150	1	79,4
»	1,07	1200	1	81,0
49	0,9	1200	1	68,7
»	1,0	1200	2	61,4

*) Збільшені досліди у нафтовій печі (див. стор. 170).

Визначення ступеня вилучення Al_2O_3 . Для цієї мети одержані спіки (продукти спікання шихти) виймали з тиглю, розтирали і обробляли теплою водою ($65-70^\circ$) протягом півгодини на водяному ogrівнику при відношенні $Ж:Т=5:1$. Фільтрат і промивні води збирали в мірну колбу, доводили до помітної водою і визначали в розчині кількість Al_2O_3 .

Одержані результати наведені в таблиці 5.⁴

З одержаних результатів можна зробити такі висновки:

1. При спіканні боксито-вапняково-содової шихти складу $(CaO):(SiO_2) = 2$ і $(Na_2O):(R_2O_3) = 1$ можна досягнути високих виходів Al_2O_3 — до 80%, навіть при рудах з кремнеземним модулем, близьким до одиниці.

2. Відношення $(Na_2O):(R_2O_3)$ повинно бути не менше 1. За інших однакових умов шихта з теоретичною кількістю соди⁵ або з зайвиною її до 10% може дати більш високий процент виходу Al_2O_3 , навіть у випадку спікання проб з меншим кремнеземним модулем, ніж при спіканні проб з вищим відношенням $(Al_2O_3):(SiO_2)$, коли в шихту дано соди на 10—20% менше від теоретичної кількості (порів. наслідки спікання бокситів 45 і 46, 48 і 49, 46 і 48).

3) Температура спікання достатня в 1150° . Підвищення температури до 1200° дає незначне підвищення виходу Al_2O_3 , зниження ж температури до $1000-1050^\circ$ значно зменшує вихід Al_2O_3 .⁶

4) При двохчасовому спіканні ступінь вилучення Al_2O_3 зменшується, хоч і незначно, очевидно через те, що при більш тривалому нагріванні шихти починається її ошлакування.

5) Збільшені досліді дали трохи вищий процент вилучення Al_2O_3 , можливо — в наслідок більш тривалого загального нагрівання. Слід також відмітити, що спіки, одержані в результаті цих дослідів, являли собою масу, яка легко розтирається в порошок, тоді як у ряді інших дослідів нагрівання протягом 2-х годин при $1150-1200^\circ$ давало масу у вигляді клінкеру, більш-менш щільного.

Видокремлення глинозему з продуктів спікання

Ці дослідження проведено в основному на спіках, одержаних при збільшених дослідіах. Для цієї мети спіки розтирались на шаровому млині до такої тонкості помелу, що на ситі в 900 відтулин на 1 см^2 залишалось менше 10%.

Наважку спіку обливали гарячою водою при відношенні $Ж:Т=2$ і нагрівали на водяному ogrівнику при $60-70^\circ$ протягом 1 години, потім розчин, після охолодження, відокремлювали від твердої фази — червоного шламу, відсмоктуючи через лійку Бюхнера, і в фільтраті (без промивної рідини) визначали кількість Al_2O_3 , SiO_2 і Na_2O

⁴ Для скорочення розміру статті, в таблиці 5 і дальших показано лише частину зроблених нами дослідів. Результати повторних визначень, які дали тотожні наслідки, в таблицях не наведені.

⁵ Тобто при $[Na_2O]:[R_2O_3] = 1$.

⁶ Результати дослідів при температурі $1000-1050^\circ$ в таблиці не показані.

(каустичної і карбонатної). Склад спіків, одержаних у збільшених дослідках із бокситів № 45 і 46, показані в таблиці 6; результати аналізу алюмінатних розчинів наведені в таблиці 7.

Таблиця 6

Склад спіків, одержаних із бокситів № № 45 і 46

Найменування	К і л ь к і с ь в %					Втрати при пропіканні в %
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	
Спік із бокситу № 45	23,55	11,57	12,12	0,83	22,0	17,55
Спік із бокситу № 46	21,90	10,07	16,37	1,23	14,28	28,26

Якщо піддати карбонізації алюмінатні розчини, які одержано описаним вище методом, без попереднього обезкремнювання, то разом з глиноземом випадає багато кремнезему: наявність SiO₂ у висушеному і пропеченому глиноземі досягала 3%.

Для обезкремнювання алюмінатних розчинів до них добавляли вапна з розрахунку 10 г CaO на 1 літр. На жаль, ми не мали змоги користуватися для цих дослідів автоклавом, що дало б можливість вести вилучення кремнію при підвищеному тискові (при 140—150°), як це треба. Ми примушені були обмежитися тим, що кип'ятили при атмосферному тискові, нагрівали 1 годину, після чого відфільтровували від білого шламу. У фільтраті (без промивних вод) визначили наявність Al₂O₃ і Na₂O (див. табл. 7).

Таблиця 7

Характеристика алюмінатних розчинів (склад показано в г/л).

№№ бокситів	Фільтрат після вилуговування				Фільтрат після обезкремнювання			Фільтрат після карбонізації			Вміст SiO ₂ у глиноземі в %
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O каустичн.	Na ₂ O карбон.	Al ₂ O ₃	Na ₂ O каустичн.	Na ₂ O карбонат.	Al ₂ O ₃	Na ₂ O карбонат.	Na ₂ O бікарбон.	
45	42,2	2,18	42,3	28,8	56,36	56,2	28,2	—	116,9	3,0	0,46
46	58,6	2,68	58,3	45,8	75,4	71,8	44,6	—	107,9	6,6	0,52

Алюмінатні розчини при відстоюванні виділяли осад $\text{Al}(\text{OH})_3$ у зв'язку з частковим гідролізом натрій-алюмінату.

Для повного відокремлення глинозему алюмінатні розчини піддавали карбонізації, пропускаючи CO_2 в рідину, нагріту до $50\text{--}60^\circ$. Осад глинозему добре промивали водою, висушували, пропікали, після чого визначали SiO_2 . Вміст SiO_2 в багатьох випадках не перевищував $0,2\%$ і максимально досягав $0,5\%$.

Глинозем з такою кількістю SiO_2 не задовольняє вимогам, які ставить алюмінієва промисловість (кількість SiO_2 у глиноземі повинна бути не більше $0,25\%$), проте є всі підстави гадати, що обезкремнювання, зроблене при $140\text{--}150^\circ$, ще більше знизить вміст SiO_2 у глиноземі, одержуваному з бокситів з таким кремневим модулем, який характерний для Юрюзанських родовищ.

Застосування сульфату натрію замість соди для спікання бокситів

(Попереднє повідомлення)

В літературі, переважно патентній (9), описано декілька пропозицій застосовувати натрій-сульфат замість соди для одержання Al_2O_3 з бокситів. Ряд робіт і патентів по цьому питанню належить Пенякову (10). В СРСР сульфатно-вапняковий метод одержання Al_2O_3 з бокситів вивчав Ільїнський зі співробітниками (11).

Натрій-сульфат, як відомо, є речовина дуже стійка, що розкладається лише при високій температурі: початкова температура розкладу не нижче 1300° (12). Але нагрівання натрій-сульфату в суміші з деякими кислотними або амфотерними оксидами дає змогу значно знизити температуру розкладу Na_2SO_4 . Так, за даними Фіалкова і Шаргородського (13) при нагріванні натрій-сульфату в суміші з каолінами при 1200° розкладається $75\text{--}96\%$ Na_2SO_4 . Фіалков і Гальперіна показали, що при нагріванні суміші натрій-сульфату з бокситами при 1200° — ступінь розкладу Na_2SO_4 дорівнює $45\text{--}100\%$ в залежності від умов досліду і роду бокситу.

Успішне розв'язання питання про застосування Na_2SO_4 для одержання Al_2O_3 має на меті не лише замінити соду, але й використати сірчастий газ, що виділяється при розкладі Na_2SO_4 для одержання сірчаної кислоти й для інших цілей.

Беручи до уваги ці міркування, ми вирішили провести ряд дослідів спікання бокситів з натрій-сульфатом, вапном та вугіллям. Останнє додається для того, щоб відновити Na_2SO_4 до Na_2SO_3 , що значно легше розкладається. Склад шихти був такий самий, як і в досліді з Na_2CO_3 , тобто $(\text{CaO}) : (\text{SiO}_2) = 2$, а $(\text{Na}_2\text{O}) : (\text{R}_2\text{O}_3) = 1$. Коксу брали стільки, щоб відношення $(\text{Na}_2\text{SO}_4) : (\text{C})$ дорівнювало $1 : 2$.

Нагрівання такої шихти при 1200° і навіть при 1250° давало дуже малий ступінь вилучення Al_2O_3 ; добрі результати одержуються лише при 1300° нагріванням протягом 1 години (див. табл. 8).

Умови нагрівання і вилуговування були ті ж, що вище вказані при описі дослідів із содово-вапняковою шихтою.

Ступінь вилучення Al_2O_3 з бокситів при сульфатно-вапняному методі

№№ боксита	$\frac{Na_2O}{R_2O_3}$	Температура спікання	Тривалість спікання в год.	% вилучення Al_2O_3
45	1	1250°	1	33,2
»	»	1300°	1	87,3
»	»	1300°	2	76,6
48	»	1300°	1	74,8
»	»	1300°	2	67,4

Як показують дані таблиці 8, при сульфатно-вапняковому методі можна досягнути такого ж високого ступеню вилучення Al_2O_3 з бокситів, як і при нагріванні содово-вапнякової шихти.

Ці досліді не могли бути доведені до кінця, головним чином в зв'язку з тим, що виникали труднощі, зв'язані з руйнуванням тиглів (їх флюсуванням).

Досліді будуть продовжені.

ВИСНОВКИ

1. Вапняково-содовий метод дає змогу в описаних умовах одержати з досліджуваних нами бокситових порід Юрюзанських родовищ глинозем з високим виходом, звичайним для глиноземної промисловості, і з кількістю SiO_2 максимально 0,5%. Є всі підстави думати, що при проведенні процесу вилучення кремнію при підвищеному тискові кількість SiO_2 може бути знижена до норм, яких вимагає алюмінієва промисловість.

2. Боксити Юрюзанських родовищ з кількістю Al_2O_3 пересічно 40%, SiO_2 —20—25% та з кременевим модулем 1,5—2,0, які за існуючою системою класифікації і стандартизації бокситів вважаються низькоякісними, можуть бути сировиною для виробництва глинозему за содово-вапняковим методом. Треба відзначити, що поблизу Юрюзанських і В'язівських родовищ бокситів є численні поклади вапняків, потрібних для виробництва глинозему содово-вапняковим методом.

3. Дуже важливою умовою промислового використання нестандартних бокситів для одержання глинозему содово-вапняковим методом є, з метою здешевлення цього виробництва, одночасне використання найважливішого відходу — червоного шламу, який в даному випадку одержується у відносно великих розмірах.

- (1) Белоусов А. К.—Бокситы и диаспор-шамозитовые руды западного склона Южного Урала. Труды ВИМС'а, вып. 112, «Бокситы», под редакц. академика Архангельского А. Д., том II, стр. 70.
- (2) Техническая энциклопедия—т. 1, стр. 579 (1937 г.).
- (3) Мазель. — Производство глинозема, изд. 1940 г., стр. 60.
- (4) Соболева М. В. — Минералогия диаспор-шамозитовых руд Южного Урала. Труды ВИМС'а, вып. 120, сборник «Бокситы», том III, стр. 35 (1938).
- (5) Уклонский Л. С. — «Минералогия», стр. 230.
- (6) Белоусов А. К.—Методика поисковой разведки и оценки месторождений бокситов, 1940 г.—статья А. Л. Любимова, стр. 91.
- (7) Державний Загальносоюзний стандарт № 972—41.
- (8) Получение окиси алюминия из Тихвинских бокситов по способу ГИПХ'а (Сборник научно-исследовательских работ ГИПХ'а, вып. 28 (1930).
- (9) Розенцвайг и Мазель.—Систематическое собрание патентов на получение окиси алюминия.
- (10) D. R. P. 80063, 93952, 247763.
- (11) В. Ильинский—А. Сагайдачный и Г. Матвеев.—Труды ГИПХ'а, вып. 16, стр. 60 б (1932). В. Ильинский, Ж. Хим. Пром. 1, вып. 3, 40 (1925).
- (12) Cobb. Journ. Soc. chem. Ind 29. 399(1910); Лосев, Никольская, Гусева, Ж. Пр. X. 4, 743 (1931); G. Marchal, Bl. Soc. Chim. 4, 45, 225 (1929).
- (13) Фиалков, Шаргородский — Записки ін-ту Хімії АН УРСР, т. 1, 264 (1935), Ж. Хім. Пр. (1937).

Я. А. ФИАЛКОВ і К. С. БЛЕЙХМАН

О ПРОМЫШЛЕННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БОКСИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БАССР и ЮЖНОГО УРАЛА

РЕЗЮМЕ

В северо-восточной части БАССР и прилегающих к ней районах Челябинской области имеется ряд месторождений бокситов и бокситосодержащих пород, которые могут быть разделены на три группы, в зависимости от содержания окислов алюминия, кремния, железа и от величины кремневого модуля.

1. Кукшинская группа — содержащая бокситы хорошего качества, уже находящаяся в эксплуатации.

2. Вязовская группа,

3. Юрюзанская группа.

Последняя группа месторождений характеризуется, в более значительной своей части, низким качеством бокситов.

Вязовская группа является как бы промежуточной по качеству бокситов между Кукшинской и Юрюзанской группами.

Задачей настоящей работы было определить возможность использования низкокачественных бокситов Юрюзанской и Вязовской группы в алюминиевой промышленности для производства глинозема.

На заводах, перерабатывающих бокситы на глинозем спеканием с содой и известью, техническими условиями допускаются к переработке бокситы с содержанием не менее 42—45% глинозема,

не более 8—12% кремнезема при кремневом модуле не ниже 3,0 (реже — не ниже 2,5).

Бокситы Юрюзанских месторождений и аналогичные по качеству бокситы Вязовской группы содержат в среднем до 40% глинозема. Содержание кремнезема достигает 25—30%; кремневый модуль не выше 2,3—2,5, часто еще ниже (1,0—1,5).

Проведенная работа показала следующее:

1. Известково-содовый метод дает возможность в описанных условиях получить из исследованных нами боксито-содержащих пород Юрюзанских месторождений глинозем с высоким выходом и с содержанием SiO_2 максимально 0,5%. Имеются основания полагать, что при проведении процесса обескремнивания при повышенном давлении содержание SiO_2 может быть снижено до норм, требуемых алюминиевой промышленностью.

2. Бокситы (боксито-содержащие породы) Юрюзанских месторождений с содержанием Al_2O_3 в среднем 40%, SiO_2 —20—25% и с кремневым модулем 1,5—2,0, считающиеся по существующей системе классификации и стандартизации бокситов низкокачественными, могут служить сырьем для производства глинозема по содово-известковому методу. Следует отметить, что вблизи Юрюзанских и Вязовских месторождений бокситов имеются многочисленные залежи известняков, необходимых для производства глинозема содово-известковым методом.

3. Весьма важным условием промышленного использования низкокачественных бокситов для получения глинозема содово-известковым методом является необходимость, в целях удешевления этого производства, одновременного использования и важнейшего отхода — красного шламма, который в данном случае получается в относительно больших количествах.

J. A. FIALKOW and K. S. BLEICHMAN

ABOUT THE INDUSTRIAL USE OF BAUXITES OF BASHKIRSKAYA ASSR AND OF THE OSOUTH URAL LAYERS

S U M M A R Y

In the North-East part of Bashkirsakaya ASSR and in the adjoining districts of Tcheliabinskaya region there are a number of bauxite layers and bauxite containing strata, which may be divided into three groups, that depend upon aluminium oxides, silicon and iron contents as well as on siliceus modul.

I. Kukshinskaya group — containing bauxites of a good quality; is already under working.

II. Viasovskaya group.

III. Urusanskaya group.

The latter group of the layer is distinguished (in its larger part) in low quality of bauxites. Viasovskaya group is an intermediate one between the above two groups with respect to bauxite qualities.

The purpose of the present work has been to determine the possibilities of utilization of bauxites of low quality — (Urusanskaya and Viasovskaya groups) in aluminium industry for production of alumina.

At the works, where alumina is obtained from bauxites by means of sintering them with soda lime, the technical conditions permit to work out the bauxites containing not less than 42—45 p. c. of alumina, not more than 8—12 p. c. of silica, the siliceous modul being not less than 3,0 p. c. (rarely not lower than 2,5 p. c.).

Bauxites of Urusanskaya layers and those of Viasovskaya group, which are similar in their quality, contain in average up to 40 p. c. of alumina. Silica content amounts to 25—30 p. c., siliceous modul being not more than 2,3—2,5, and often lower (1,0—1,5).

The work carried out has shown the following results:

(I) The soda-lime method makes it possible under the conditions described to obtain from the investigated bauxite, containing Urusanskaya layers, an alumina with a high yield, SiO_2 content being 0,5 p. c. We believe that the desilicating process being carried at high pressure, SiO_2 content may be reduced to a normal value required by the aluminium industry.

(II) Bauxites of Urusanskaya layer with Al_2O_3 content in average 40 p. c., SiO_2 —20—25 p. c., siliceous modul 1,5—2,0, which according to the existing system of classification and standartization of bauxites are to be considered of a low quality, may serve as raw materials for production of alumina by the soda — lime method. It may be noted that near Urusanskaya and Viasovskaya layers of bauxites there are numerous limestone layers which are quite necessary for production of alumina by the soda — lime method.

(III) A very important condition for the industrial utilization of low quality bauxites in alumina production by the soda — lime method is a necessity of a simultaneous utilization of the most significant waste — a red sludge, which in this case is produced in rather great quantities.

Чл.-кор. проф. П. В. ГОЛОВІН, канд. техн. наук Б. Г. САВІНОВ і наук.
співр. В. Б. ЕПШТЕЙН

ОДЕРЖАННЯ ПОЛІВІТАМІННИХ ЕКСТРАКТІВ ІЗ ПЛОДІВ ШИПШИНИ

Ряд видів дикорослої шипшини (*rosa cinnamomea*, *rosa acicularis* *rosa Beggeriana*, *rosa Webbiana* та ін), на території СРСР відзначаються високим вмістом аскорбінової кислоти (вітаміну «С») в м'якоті достиглих плодів. Активність вітаміну «С» в сортах вітаміноносною шипшини досягає 2 тисяч людино-доз на кілограм плодів, вважаючи за щоденну профілактичну протицинготну дозу 20 міліграмів аскорбінової кислоти. Плоди шипшини становлять собою нехарчову сировину. Зарості дикорослої шипшини в СРСР досить значні, і збирання плодів може провадитися протягом майже цілого року. Всі ці обставини обумовили розвиток промислового виробництва цілого асортименту вітамінних препаратів із шипшини, як одного з найбільш перспективних видів сировини.

Вітамінні заводи СРСР переробляють плоди шипшини в сушеному вигляді, бо свіжезірвані плоди не зносять тривалого зберігання, і транспортування, і, крім того, утруднюють технологічний процес сокоздобування. Через це існуюча схема вітамінного виробництва передбачає попереднє сушіння плодів шипшини. Тим часом при сушінні мають місце значні втрати вітаміну «С» в результаті процесу окислення. Ці втрати досягають іноді 60% початкової кількості аскорбінової кислоти в сировині. В наслідок цього значно зростає витрата сировини на одиницю готової продукції.

З метою максимального використання природних ресурсів вітаміну «С» і зменшення виробничих втрат Союзвітамінпром поставив перед харчовим відділом Інституту Хімії і Хімічної Технології АН УРСР завдання — опрацювати спрощену схему переробки свіжих плодів шипшини, придатну для здійснення безпосередньо на сировинних базах.

Існуюча технологічна схема одержання вітамінних препаратів з шипшини включає в себе роздрібнення сировини, екстрагування у вигляді соку водорозчинюваних складових частин м'якоті плодів у дифузійній апаратурі, фільтрацію соку через фільтр-преси і упарювання його під розрідженням у випарних апаратах. Одержаний таким чином «водний концентрат» є основним півпродуктом для

виготовлення ряду препаратів (порошку, таблеток, цукрового сиропу, спиртоочищеного концентрату і т. ін.). Однак уже перші наші лабораторні дослідження виявили неможливість переробки за даною схемою свіжих плодів шипшини. Екстрагована маса злипалася в слизові грудки і нерівномірно пропускала сік, сита й комунікації дифузорові забивались частинками м'якоті. При таких умовах нормальний процес здобування соків із свіжих плодів шипшини в дифузійній батареї типу Роберта, безумовно, не може мати місця. Одночасно спостереження показали, що головне нагрівання до 85% сприяє розм'якшенню маси сирій шипшини, а розмішування в процесі дифузії тягне за собою перехід частинок цієї маси до соку у вигляді достатньо стійкої суспензії:

Відмовившись від чисто дифузійного процесу, ми провели далі ряд дослідів послідовної екстракції соку в скляному посуді. Зважена і роздрібнена сировина завантажувалась у марлеві мішки, які вкладались у скляний посуд. Маса піддавалась попередньому обварюванню водою або соком з температурою 85°. Екстракція провадилася на водяній бані (t-ра 70°) при інтенсивному розмішуванні, яке супроводжувалося протиранням м'якоті через марлю. Досліді були проведені на 1, 4, 6, 10 посудинах (разом 13 дослідів). Застосовувана для екстракції вода підкислювалася соляною кислотою в кількості 2—3 мл 2%-ної HCl на літр. Мета підкислення води—створити кисле середовище, що перешкоджає розкладові аскорбінової кислоти, і надати екстрактові потрібний кислий смак. Тривалість екстракції у кожній посудині дорівнювала 15 хв. Одержані продукти й відходи зважувались і піддавались аналізу на активність вітаміну «С» титруванням дихлорфенол-індофенолом за Тільмансом.

У результаті даної серії дослідів були одержані екстракти натурального кольору, приємного і освіжуючого смаку, з активністю від 200 до 500 людино-доз вітаміну «С» в кілограмі. Питома вага екстрактів, встановлена ареометром, коливалася від 1,02 до 1,06. Екстракти становили двофазну систему: водний розчин водорозчинюваних складових частинок м'якоті шипшини і тверда фаза — суспензія протертих через марлю водонерозчинюваних частинок м'якоті. Були добрані умови для одержання найбільш стійких екстрактів, що не розшаровуються на фази навіть при обробці на лабораторній центрофузі. Була випробована також і стійкість екстрактів при зберіганні. Зразки екстрактів, піддані пастеризації (20 хв. при 95°), зберігались протягом 5,5 місяців. Зовнішніх змін при цьому не відбулося. Активність екстрактів за даний час зберігання знизилась на 18%.

При розробці схеми одержання екстрактів із свіжих плодів шипшини на основі проведених лабораторних досліджень перед нами стояли такі завдання:

1. забезпечити максимальну простоту цієї технологічної схеми;
2. забезпечити одержання екстрактів з мінімальними втратами аскорбінової кислоти у відходах;
3. забезпечити належну якість одержуваних екстрактів (стій-

кість суспензії, стійкість при зберіганні, смак, активність, відсутність волосків).

У зв'язку з цими завданнями, намічений нами спочатку варіант схеми в процесі його практичного випробування піддавався неодноразовому уточненню.

Особливо важливим було звільнення екстракту від волосків¹. Для цієї мети нами передбачене встановлення фінішера — другої протирочної машини з 625 отворами на кв. см. поверхні сита. Досліди показали, що насіння плодів шипшини повністю видаляється на першій протирочній машині, а волоски збиваються до купи на фінішері і майже зовсім не потрапляють до екстракту. У кінцевому варіанті розроблена нами і опробована при заводських випробуваннях схема полягає в наступному:

Сировина — свіжі плоди шипшини — з бункера переходить до трясучки Крейсса. Першою операцією на цій трясучці є відмивання сировини від забруднень, що здійснюється подаванням води через душі. У кінці трясучки відбувається сортування в корзини і зважування. Готова до здрібнення сировина підіймається ківшевим елеватором на дробильну машину, що розчавлює плоди шипшини між обертовими гранітними валами. Транспортер подає роздрібнену сировину до мішалки. До останньої задається заздалегідь розрахована кількість води (від 2 до 2,5 вагових частин на одну вагову частину шипшини), підігрітої в збірнику до 85° і підкисленої соляною кислотою (від 1 до 3 мл 2%-ної HCl на літр), що надходить з мірника. Розмішування в мішалці проводиться протягом 10 хв. при 85°, що досягається барботуванням пари. Розм'якшена маса після цього надходить до протирочної машини, обладнаної ситами з отворами діаметром у 1,5 мм. Одержаний проміжний екстракт, що містить ще значну кількість волосків, із збірника перекачується насосом у збірник, де знову підігривається до 85°, і переходить на фінішер (17). Готовий екстракт після фінішера може бути направлений на сушіння і таблетування із збірника по комунікації або переходить на розливний апарат — дозатор. Після розливу у скляну тару й закорковування екстракт піддається пастеризації протягом 20 хв. при 95° і після цього йде на охолодження й етикетировку.

Жом із першої протирочної машини являє собою, головним чином, насіння плодів з деякою кількістю волосків, частинок шкурки і непротертої м'якоти. Для повнішого витягання з нього аскорбінової кислоти жом надходить для перетирання на третю протирочну машину після розбавлення водою у ваговому відношенні 1:1 в мішалці. Висолоджений жом є вже відходом виробництва і через жолоб викидається з заводу. Не виключена можливість використання цього жому — насіння як сурогату в каво-цикорній промисловості. Промі збираються в збірнику і насосом пере-

¹ Порожнина плоду шипшини устелена великою кількістю дрібних гострих волосків. Потрапляючи до продукту, волоски викликають неприємне відчуття при споживанні його.

качуються до мішалки як добавка до води, що надходить для обварювання шипшини. Жом із фінішера (волоски) становить собою другий відхід виробництва. Він легко формується, і в підсушеному стані являє собою досить щільну легку масу. Питання про раціональне використання цього матеріалу слід розв'язати окремо.

Само собою зрозуміло, що описана технологічна схема переробки свіжих плодів шипшини в умовах кустарного виробництва може бути ще значно спрощена. Можна обійтися без трясучки, елеватора й транспортера. Мішалки й збірники можуть бути замінені дерев'яними бочками, комунікації й насоси — ручним перенесенням продукту відрами і т.ін.

Технологічна схема АН УРСР по переробці свіжих плодів шипшини була піддана неодноразовому заводському випробуванню на Уфімському вітамінному заводі. Останнє, заключне випробування остаточного варіанту схеми відбулося 23 травня 1942 року. При активності шипшини 533,3 людино-дози на кг. було одержано екстракт з активністю 160 людино-доз на кг. Дослідження під мікроскопом виявило в готовому екстракті при збільшенні в 56 разів 0,72 волоска в полі зору (середнє з 50 визначень). Середня кількість обривків волосків — 0,58 у полі зору. У 12 випадках з 50 волосків і уривків волосків у полі зору зовсім не було. Максимальна кількість волосків у полі зору була 3 (в трьох випадках із 50).

Згідно з балансом досліду, втрати аскорбінової кислоти в процесі виробництва становили 12,6%, в тому числі невизначені — 8,8% і в жомі першому і другому — 3,8%. Результати проведеного заводського випробування необхідно вважати сприятливими, в зв'язку з чим в акті випробування відзначено, що на основі одержаних технічних показників метод АН УРСР по одержанню полівітамінних екстрактів шипшини можна рекомендувати промисловості для використання у виробництві.

Проведена нами робота опробована Союзвітамінпромом, що приступив до будівництва п'ятьох заводів у різних районах СРСР для переробки плодів шипшини за методом АН УРСР. Один из цих заводів у найближчий час уже вступить до експлуатації.

Завдання, поставлене Союзвітамінпромом перед харчовим відділом Інституту Хімії і Хімічної Технології АН УРСР, включало також аналіз одержаного продукту. Для екстракту нового типу, що являє собою не лише водну витяжку, а ще містить у собі частинки нерозчинюваних елементів м'якоті, з'ясування хімічного складу продукту становило особливо великий інтерес. Для аналізу було взято проби екстракту, одержаного заводським шляхом під час одного з випробувань технологічної схеми.

Результати аналізу екстракту наводяться в табл. 1.

Всі дані, включені до цієї таблиці, виведені як середні мінімуми із двох паралельних визначень.

Крім екстракту, були піддані аналізу на активність вітамінну «С» і вміст сухих речовин методом висушування перший і другий жоми, одержані при заводському випробуванні схеми. Результати визначень наводимо нижче:

Найменування визначення	Вміст у %	
	за вагою екстракту	за вагою сухих речовин екстракту
1. Вологість	92,23	—
2. Сухі речовини	7,77	100,00
а) загальний цукор	2,91	37,45
глюкоза	2,84	36,55
б) пентозани	0,60	7,72
в) клітковина	0,53	6,82
г) білок	0,33	4,25
загальний азот	0,075	0,97
д) жири	0,45	5,79
е) аскорбінова кислота	0,42	5,40
ж) каротин	0,0115	0,15
з) інші сухі речовини крім золи	2,0585	26,49
і) зола	0,46	5,93
3. Кислотність у градусах	18,04	
4. Активність вітаміну «С» в людино-дозах на кгр	210	
Активність у людино-дозах	Жом 1	Жом 2
Вітаміну «С» на кгр	30,0	32,0
Сухих речовин у %	50,4	23,1

Ця нова технологічна схема переробки свіжих плодів шипшини, як видно з її опису, а також із результатів заводського випробовування і аналізів екстракту, відрізняється рядом переваг, а саме:

1. Обладнання установок цього типу, порівнюючи з обладнанням існуючих вітамінних заводів, значно простіше. У зв'язку з відсутністю процесів дифузії, фільтрації й випалювання, нема необхідності в спеціальних теплосилових установках. В найпростішому варіанті для підігрівання продуктів можна використати невеликий казан-пароутворювач. Протирочні машини можна пустити в рух за допомогою тракторного приводу при всіх інших операціях, що проводяться ручним способом. Таким чином, витрата палива і механічної енергії може бути зведена до мінімуму.

2. У зв'язку зі сказаним вище, установки подібного типу можуть бути організовані безпосередньо на сировинних базах — на місцях, де росте шипшина. Ця обставина буде в значній мірі сприяти максимальному використанню природних ресурсів аскорбінової кислоти. Відпадає необхідність сушіння сировини, зв'язаного зі значними втратами, укорочується виробничий цикл, скорочується шкідливе тривале діяння високих температур, зменшується кількість відходів — тобто втрати аскорбінової кислоти в процесі самого виробництва значно знижуються (до 12—15% замість 30—40 звичайних).

3. Одержується цілком новий продукт — полівітамінний екстракт. Як видно з результатів аналізу, крім аскорбінової кислоти, екстракт містить також значну кількість каротину (жиророзчи-

нованого провітаміну «А»). Слід припустити і наявність в екстракті невеликих кількостей інших вітамінів (В₂, Р, К), присутність яких виявлена рядом дослідників у м'якоті шипшини. З другого боку, аналіз показує, що велика кількість інших корисних складових частин м'якоті шипшини (цукор, білки, жири, пентозани) також переходять в екстракт.

4. Полівітамінні екстракти, виготовлювані за методом АН УРСР із свіжих плодів шипшини, відзначаються високою активністю вітаміну «С». Їх можна безпосередньо вживати як напій, як профілактичний або лікувальний засіб. Екстрактам за бажанням можна надати який завгодно смаковий відтінок — кислий, солодкий, солоний, кислосолодкий і т. ін. Поряд із цим екстракти можуть служити напівпродуктом для виготовлення інших харчових виробів або для їх вітамінізації.

5. Для одержання полівітамінних екстрактів із плодів шипшини за описаною схемою можна з успіхом використати обладнання сезонно-працюючих консервних заводів — лінія томатного соку. Можливість збирання плодів шипшини на протязі більш ніж піврічного періоду може забезпечити майже річне завантаження томатно-консервних заводів.

6. Розроблена технологічна схема може бути з однаковим успіхом використана і при переробці сушеної шипшини, а також будьяких рослинних вітаміномістких матеріалів — ягід, плодів, листя, трав і т. ін., при чому можна одержати широкий асортимент полівітамінних екстрактів.

Одночасно з розробкою заводської технологічної схеми одержання полівітамінних екстрактів із шипшини, ми запропонували т. з. невиробничий варіант цієї схеми для здійснення в звичайних побутових умовах. Робота за таким варіантом не вимагає зовсім ніякого спеціального обладнання. Основний процес виробництва — протирання м'якоті на протибочних машинах — замінюється відтисненням підданої екстракції маси через мішки з подвійного шару марлі. При цьому, щоправда, виникають дещо вищі втрати в жомі, але якість самого екстракту не зазнає змін. Волоски м'якоті шипшини трапляються в екстракті у зовсім незначній кількості. Розроблено дві модифікації невиробничого варіанту схеми одержання полівітамінних екстрактів — для свіжих і для підсушених плодів шипшини.

Виготовлення екстракту із свіжих плодів шипшини проводиться так. Шипшина ретельно сортується і очищується від забруднень, викидаються всі погнилі і попсовані плоди, зелені частини рослини і сторонні домішки (піщинки, частинки вугілля, скіпки і т. ін.). Відсортовані плоди шипшини зважуються і переносяться на сито, де промиваються холодною водою. Облиті плоди пропускають через м'ясорубку, і одержана маса переноситься до марлевого мішка. При роботі з свіжими плодами шипшини роздрібнення на м'ясорубці може бути з успіхом замінене ретельним розтиранням у порцеляновій ступці.

Мішок з роздрібненою масою вставляється у відро або в кастрюлю. Верхній край мішка загинається на зовнішню поверхню верхньої частини посудини і прикріплюється шпагатом або обручем.

Окремо готується вода, підкислена додаванням двопрцентної соляної кислоти з розрахунку 1 мл кислоти на л води. Підкислена вода підігрівається до 80—85° і заливається на масу роздрібної шипшини в пропорції 1,5 вагових частин на 1 вагову частину шипшини.

Посудина ставиться на плиту для підтримання температури на рівні 75—85°, маса розміщується дерев'яним веслом. Тривалість цього процесу екстракції 15—20 хв. Після закінчення екстракції мішок відкріплюється від посудини, підноситься над нею, і екстракт видушується від маси шляхом скручування мішка і надавлення його руками. Екстракт переливається в ретельно вимиту сулію. Мішок з масою, яка залишилась, знову вставляється до посудини і закріплюється на ній.

До посудини знову вливається підкислена вода, температурою 80—85°, в пропорції 1 вагова частина води на 1 вагову частину спочатку взятої шипшини. Проводиться додаткова екстракція маси при температурі 75—85°, при всіх інших умовах, описаних вище. Після закінчення додаткової екстракції проводиться видушення другої порції екстракта, яка доливається до першої порції і змішується з нею. Суміш обох порцій і становить собою остаточний продукт — полівітамінний екстракт. Вижимки, що залишилися в мішку, можна використати як кормовий продукт для домашніх тварин.

Схема невиробничого одержання полівітамінного екстракту із сушених плодів шипшини в основному аналогічна тій, що застосовується для свіжої шипшини, відрізняючись від неї лише деякими деталями.

Після сортування і промивання сушена шипшина піддається попередньому розпарюванню для полегшення дальших процесів роздрібнення й екстракції. Промиті плоди шипшини вміщуються до посудини, що служить потім для екстракції, і заливається підкисленою водою з температурою 80—85°. Для сушеної шипшини на 1 л води необхідно додавати 2 мл двопрцентної соляної кислоти. Води береться в кількості 2,5 вагових частин на 1 вагову частину шипшини. Розпарювання триває 5—10 хв. Після розпарювання набухлі і розм'якшені плоди відділюються від води на ситі, пропускаються через м'ясорубку, маса переноситься до марлевого мішка, вміщується до посудини, куди доливається відокремлена після розпарювання вода, знову підігріта.

При температурі 75—85° проводиться екстракція протягом 15—20 хв. Далі йде видушення першої порції екстракту. Додаткова екстракція маси проводиться при добавленні 1,5 вагової частини підкисленої гарячої води на 1 вагову частину спочатку взятої шипшини. Обидві порції екстракту змішуються, утворюючи остаточний продукт — полівітамінний екстракт.

Одержані за невиробничим варіантом нашої схеми полівітамінні екстракти з свіжих плодів шипшини мають натуральний червоний колір, із сушених — темнокоричневий. Активність вітаміну «С» в екстрактах, в залежності від активності взятої сировини, коливається в межах 200—400 людино - доз на кілограм. Вихід екстрак-

у—2,5—3,0 л з кілограма шипшини. Втрати аскорбінової кислоти (в жомі і від розкладу) не перевищують 20%. Одержані за описаним методом полівітамінні екстракти можна зберігати без змін протягом 2—3 діб. У випадку необхідності тривалішого зберігання екстрактів останні після розливання й закорковування треба піддати пастеризації (нагріванню при 95° протягом 20 хв). Пастеризовані екстракти можуть зберігатися протягом кількох місяців.

Одержання екстрактів із шипшини за невиробничим варіантом схеми було вперше запроваджено нами в Евакогоспіталі № 2574 в м. Уфі. Практика пірвiчної роботи цього госпіталю щодо застосування полівітамінного екстракту дала сприятливі наслідки, засвідчені в спеціальному відзиві. Згодом одержання екстракту за невиробничим варіантом схеми АН УРСР було запроваджене в ряді інших госпіталів в м. Уфі замість застосовуваних раніш різних настоїв із шипшини. У травні ц. р. полівітамінний екстракт, застосовуваний у госпіталях, фігурував на виставці медикаментів у Москві.

У даний час Госпітальне Управління Наркомздоров'я СРСР у своєму листі від 3/VI-1942 року за № 280 запропонувало всім організаціям своєї системи вживати полівітамінний екстракт із шипшини, виготовлюваний за методом АН УРСР.

Інститут
хімії і технології
АН УРСР

Чл.-корр., проф. П. В. ГОЛОВИН, канд. техн. наук Б. Г. САВИНОВ
і научн. сотруди. В. Б. ЭПШТЕЙН

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИВИТАМИННЫХ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ПЛОДОВ ШИПОВНИКА

РЕЗЮМЕ

1. Разработана новая технологическая схема переработки плодов шиповника. Характерной особенностью схемы является применение процесса протирки мякоти плодов через сита протирочных машин и получение поливитаминных экстрактов, содержащих в себе не только аскорбиновую кислоту, но и другие витамины (каротин, витамины В₂, Р, К).

2. Схема разработана в трех вариантах—производственном, кустарном и бытовом. Она отличается несложностью оборудования, минимальными затратами теплосиловой энергии. Потери аскорбиновой кислоты при работе по данной схеме равны 12—15%, вместо 30—40% на существующих заводах.

3. Поливитаминные экстракты обладают активностью витамина «С» от 200 до 500 человеко-доз в кгр. Они могут применяться как профилактическое и лечебное средство, а также служить полупродуктом для изготовления целого ряда пищевых изделий и витаминизации.

4. Новый процесс внедряется в витаминную промышленность СССР. Бытовой вариант схемы нашел себе широкое применение в госпиталях.

5. По разработанной технологической схеме можно получать поливитаминные экстракты не только из свежих и сушеных плодов шиповника, но также и из любых растительных витамин-содержащих материалов (ягод, плодов, листьев, трав и т. д.).

By the Corresponding-Member of the Ukrainian Academy of Sciences, prof P. GOLOVIN, the candidate of technical sciences, B. SAVINOV and the collaborator V. EPSTEIN

OBTAINING OF POLYVITAMIN EXTRACTS FROM BRIER FRUITS

S U M M A R Y

I. A new technological scheme of the working out of brier fruits has been elaborated. Its specific peculiarity is an application of the rubbing process of fruit pulp by means of rubbing machine, and obtaining of polyvitamin extracts, containing both ascorbic acid and other vitamins (carotene, vitamins B₂, P, K).

II. The scheme has been elaborated in three modifications: industrial, household and domestic ones. The scheme is distinguished in the simplicity of equipment and a minimum expenditure of heat power. The losses of an ascorbic acid according to the scheme are 12—15 per cent instead of 30—40 p. c. at the existing plants.

III. These polyvitamin extracts possess of vitamin «C» activity—200 to 500 man -doses in kgr. They may be employed as prophylactic and medicinal remedies and to serve as a semiproduct for obtaining a number of food stuffs and for vitaminization.

IV. The new process is being taken a root into a vitamin industry of the USSR. The domestic variant of the scheme has found its extensive use in hospitals.

V. According to the scheme developed it is possible to obtain polyvitamin extracts not only from fresh and dried drier fruit, but also from any vegetative vitamin - containing materials, such as berries, fruits, leaves, grass etc.

Акад. М. В. ЛУГОВЦОВ

ВИТОПЛЕННЯ ВИСОКОГЛИНОЗЕМИСТИХ ШЛАКІВ У ВЕЛИКИХ ДОМЕННИХ ПЕЧАХ

10 років тому назад, у газеті «Техника» та в доповідях до Головного Управління Металургійної Промисловості й Дніпробуду нами було запропоновано, на основі праць Бюро оф Майнс, пророблених на малій дослідній доменній печі в штаті Міннезотта, С Ш А, запровадити в Союзі протопку залізистих бокситів зі стружкою, з метою одержання високоглиноземистих шлаків як сировини для швидкозчеплюючого цементу, сировини для алюмінієвої промисловості та виробництва якісного чавуну для машинобудівництва в невеликих доменних печах.

Для переробки способом Байера використовуються боксити з низьким складом кремнезему та оксидів заліза. Для доменного топлення придатні боксити з більш високим складом оксидів, і при цьому здобуваються шлаки з незначною кількістю кремнезема і практично без оксидів заліза.

Таким чином доменне топлення рафінує основну сировину для алюмінієвої промисловості й поширює для неї основну сировинну базу.

Надалі роботи провадилися на Уралі, на малих доменних печах, без нашої участі. Коли потреба у високоглиноземистих шлаках дуже зросла, розпочали витоплювати їх у великих доменних печах на Новотульському заводі, а потім на півдні Союзу. При цьому виникла низка надзвичайно великих експлуатаційних утруднень, через що нам і нашим співробітникам¹ по Доменній Групі Українського Ін-ту металів, Інституту Чорної Металургії АН УРСР, та Українського Ін-у Вогнетривких матеріалів знову довелося зіткнутися з цим питанням.

Робота на великих доменних печах закінчувалась не лише розладнуванням ходу і передчасною зношеністю їх, але іноді й дуже великими аваріями².

З викладеного очевидно, яке велике практичне значення мають завдання, що їх потрібно було розв'язати в процесі проведення наших робіт.

¹ Канд. техн. наук Коваль В. А., інж. Бежанішвілі В. І., та інші.

² Див. нашу статтю: «Уход чугуна в дом. печи через лещады и фундамент»—журнал «Сталь», 1941 р., № 4.

Нам потрібно було встановити:

1) оптимальний склад доменних високоглиноземистих шлаків для алюмінієвої промисловості, що задовольняв би вимогам останньої (вилуговування глинозему не нижче 37%);

2) усунути експлуатаційні утруднення в процесі виробництва при нормальній продуктивності;

3) встановити умови стійкості доменних печей в експлуатації, усунути їх передчасну спрацьованість і численні аварії.

Разом із розв'язанням цих практичних завдань наші роботи почасти висвітлили питання механізму руйнування шамотної цегли рідким чавуном, руйнування деяких різновидностей високовогнетривких матеріалів в наслідок явищ перекристалізації в умовах остигання, а також відзначили факт дуже ранньої появи гетерогенності у високоглиноземистих шлаках.

Високоглиноземисті шлаки мають велике оборонне значення, як сировина для виробництва алюмінію та швидкозчеплюючого цементу.

Вихідним матеріалом для витоплення алюмінію є боксити, при чому малокремністі боксити вживаються для перероблення за способом Байєра. Залізисті боксити при перетопленні в доменних печах дають високоглиноземисті шлаки, вільні від заліза й придатні для подальшого перероблення на глинозем та алюміній.

За нашим керівництвом була проведена низка робіт на металургійних заводах у напівзаводській обстановці та в лабораторіях інститутів, які (роботи) дають відповідь на основні питання згаданих утруднень і вказують, як їх усунути.

Вимоги, що їх висуває алюмінієва промисловість до доменних високоглиноземистих шлаків, полягають в максимально можливому вилуженні оксиду алюмінію зі шлаків. Низкою проведених дослідів установлено, що оптимальним для доменного виробництва виявився шлак складу — SiO_2 — 6,0%; Al_2O_3 — 48—50%; CaO — 40—42%.

При такому складі основних компонентів вилуговування оксиду алюмінію виявляється не нижче 37% від усієї кількості шлаку. Такого складу шлак у діаграмі потрібної системи за Ранкіним та Райтом відповідає полю моноалюміната кальція. Вилуговування глинозему стає тим кращим, чим більше розкристалізований є шлак та чим менше в ньому кремнезему. Інакше кажучи, досконалість вилуговування залежить од мінералогічного складу шлаку.

До складу високоглиноземних шлаків звичайно входять такі мінерали:

скло,

моноалюмінат кальція,

п'ятикальцієвий трьохалюмінат,

трьохкальцієвий п'ятиалюмінат,

геленіт,

мінерали групи меліліту,

шпінель,

двохкальцієвий силікат.

Здатність кожного з цих мінералів до вилуговування — різна.

Як згадувалося вище, найбільшу здатність до вилуговування виявляє моноалюмінат кальцію; дуже низьку — скло, геленіт та шпінель.

Високоглиноземисті шлаки, в порівнянні зі звичайними доменними шлаками, мають високу точку топлення, і в'язкість їх різко змінюється зі зниженням температури (1650°C і вище після виходу з горна дом. печі).

Нашими лабораторними працями за допомогою пірометра Курнакова встановлено досить ранню появу гетерогенності.

Температура шлаку, що витікає з горна в перегрітому (в робочому) стані на 200—250°C вища за температуру звичайних доменних шлаків. Для підтримання такої температури потрібне максимальне нагрівання дуття (800°C й вище).

Відмічені властивості високоглиноземистих шлаків викликають ті особливості доменного процесу, в наслідок яких з'являються вищезгадані експлуатаційні утруднення, а саме: а) всяке зниження температури горна нижче припустимого для даного стану горна спричиняло різке загусання шлаку, який тоді погано тече, завалювало жолоби, і робочі горнові бригади не мали змоги своєчасно підготувляти чергові випускання шлаку та чавуну; в наслідок цього утворюється уповільнений хід, поступово зростають розладнування ходу, і виникає підняття лещаді печі; б) в наслідок зростання лещаді печі чавун підіймається до рівня шлакової зони, не пристосованої до того, щоб стримувати чавун, і виникають аварії (прориви чавуну); в) в наслідок дуже високих температур шлаку шамотна футеровка шлакової зони швидко розчиняється у шлаку, оголюючи холодильник, що й сприяє проривам чавуну переважно у шлаковій зоні.

З метою усунення цих дефектів експлуатації, ми вивчили умови зниження температури топлення та перегрівання шлаку, поведінку шамотної цегли при зіткненні її з вогнянорідкими високоглиноземистими шлаками, явища руйнування шамотної цегли рідким чавуном, а також експериментальним шляхом у заводській електропечі встановили порівняльну стійкість 10—12 типів високоякісних і шамотних вогнетривких матеріалів при зіткненні з розтопленими й перегрітими високоглиноземистими шлаками та титаністим чавуном. При цьому встановлено, що деякі різновидності високоякісних вогнетривів, в наслідок явищ перекристалізації при серед-

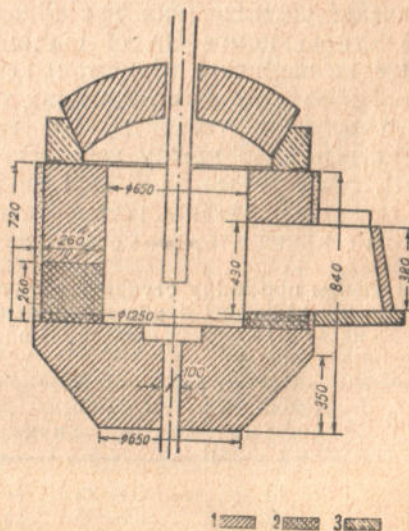


Рис. 1. Електропіч для дослідних топлень
1—магнезит, 2—випробувана цегла, 3—диас

ніх температурах (в умовах остигання) руйнуються в порошок, і тому не можуть бути застосовані для футеровки доменних печей.

При підвищенні складу кремнезему у високоякісних шлаках, експлуатаційні умови роботи доменних печей поліпшуються. Але такі шлаки різко погіршують свої властивості у відношенні викугування глинозему³ в наслідок того, що в шлаках при охолодженні утворюються значні кількості геленіту, який майже не викугується. Через це зниження температури топлення шлаку потрібно досягнути іншим шляхом. При наших дослідях на практиці виявилось, що впровадження до шлаку додатково 1½ % магnezії, тобто підвищення кількості її в шлаку до 2,5—3,0%, різко покращує поведінку шлаку при витіканні; жолоби при цьому не захаращуються, і умови роботи горнових бригад настільки поліпшуються, що стає можливим повністю забезпечити безперебійну роботу доменних печей. Температуру нагрівання дуття стає можливим знизити на 50°—100°С, що значно полегшує роботу кауперів і сприяє збереженню останніх; не помічається також звичайної тенденції до зростання лещаді.

Якщо вводити четвертий компонент — магnezію, хоча б у невеликій кількості, то можна досягнути в потрібній діаграмі зрушення ізотерм топкості в сприятливий для процесу бік. За Пергюссоном та Будінгтоном у системі геленіт $[(CaO)_2 Al_2O_3 SiO_2]$ — окерманіт $[(CaO)_2 MgO SiO_2]$ має місце зниження температури топлення, при кількості в суміші 74 % геленіту, до 1384°С замість 1438° для окерманіту та 1600°С для геленіту; з введенням невеликої кількості MgO до шлаку в ньому з'являються значні кількості мінералів групи меліліту. Так, наприклад, при 8% усе поле шліфу одного з наших синтетичних шлаків являє собою меліліт.

Вивчення частини (яка нас цікавить) потрібної діаграми з погляду чотирьохкомпонентної системи $SiO_2 - Al_2O_3 - CaO - MgO$ нами ще не закінчене цілком, з незалежних від нас причин. Але одержані нами дані при звичайних топленнях у цехах та в лабораторії дозволяють твердити, що викугування глинозему, при умові введення до шлаку зазначених вище невеликих кількостей магnezії, лише в незначній мірі знижується (на 2%), даючи змогу при цьому дотримуватись встановленої норми 37%, а умови експлуатації різко кращають, як це відмічено вище.

³ Уявлення про зміну ступеню викугування глинозему зі шлаків у залежності від кількості в них кремнезему, дає наша нижченаведена таблиця, складена на підставі статистичної обробки 500 топлень Новотульського металургійного заводу:

Групи	Кількість аналізів	Ступінь викугування	Аналіз шлаку		
			Si_2O_2	Al_2O_3	CaO
I	13	36—38	6,55	47,77	43,55
II	27	34—36	7,20	47,74	42,88
III	19	32—34	7,54	47,88	42,89
IV	21	30—32	8,46	47,21	42,76

Вивчення поведінки шамотної цегли різної якості та різних заводів при стиканні її з розтопленими високоглиноземистими шлаками показало, що цей шлак глибоко не проникає в пори шамотної цегли; гранична зона гарнісажа та цегли, що збереглася, дуже тонка, і цегла просто розчиняється у шлаку, при чому досить швидко; цим пояснюється, як це спостерігалось, швидке зношення шлакової зони горнів доменних печей, що витоплювали високоглиноземисті шлаки.



Рис. 2.

1—мінерали гр. меліліту, 2—шпінель

Руйнувати шамотну цеглу можна не лише шлаком, але й чавуном. Останній проникає у шви між цеглинами та в пори цеглин і справляє руйнуючий вплив при досить високих температурах. Аналіз корольків чавуну, який проник у пори шамотної цегли, витягнутої з горну доменної печі після аварії, виявив, що звичайний ливарний чавун, після проникнення в цеглу, поглинув таку кількість кремнію з кремнезему цегли, що перетворився в низькопроцентний феросиліцій; кількість кремнію у згаданих корольках чавуну досягла в деяких випадках 9%. Якщо шамотну цеглу прогріти рівномірно з усіх боків, то пробиття чавуном дна, зробленого з цегли тигля, при товщині дна в 50 мм, відбувається протягом 10 годин (при нагріванні тиглю з чавуну до 1500°C).

Механізм руйнування цегли можна пояснити так.

У горні доменної печі шамотна цегла протягом досить довгого часу стикається з розтопленим чавуном (залізом, що насичене вуглецем) при великій кількості вуглецю та парціальному тисненні оксиду вуглецю біля 1 атм. За таких умов стан рівноваги для реакції відновлення кремнезему має лише два ступені свободи.



Рис. 3а.



Рис. 3б.

$$f(T, P_{CO}, [Si]) = 0$$

Для реакції: $SiO_2 + 2C = Si + 2CO$;
закон дії мас дає вираз:

$$\frac{(SiO_2) [2C]}{[Si] \cdot P_{CO}} = K,$$

з якого видно, що тиснення утворення CO за інших рівних умов підвищується зі зменшенням концентрацій утворюваного кремнію

в розглядуваному обсязі. Кремній, що відновлюється, при зіткненні з рідким чавуном негайно утворює силіцид заліза, при чому силіцид розчиняється в чавуні, тобто наявність розчинника сприяє ходові реакції. Через те, що практично парціальне тиснення оксиду вуглецю в самому горні доменної печі постійне, хід реакції за даних умов залежить практично лише від температури. На ділі наш дослід показав, що згадані корольки кремнистого чавуну в масі шамотної цегли розташовані на невеликому віддаленні від граничної зони рідкого чавуну й повинні були протягом досить довгого часу перебувати при температурі близькій 1400°C . З другого боку, як уже згадувалось вище, процес пробиття цегли при температурі 1500° відбувається досить швидко. Таким чином, процес руйнування цегли рідким чавуном може протікати при порівнюючі невисокій температурі. З пониженням температури в масиві кладки доменної печі процес цей припиняється.

Викладеним пояснюється як на леґаді доменної печі протягом досить довгого часу зникають великі маси шамотної цегли при порівнюючі невисоких температурах, будучи заміщені рідким чавуном, який утворює при остиганні так званий «козел».

У шлаковій зоні горна доменної печі розчинювання [шамотної цегли у високоглиноземистому шлаці йде досить швидко; протягом короткого часу в цій зоні утворюється значний розгар.

У цій зоні шамотну цеглу доцільно замінити іншими високоякісними видами вогнетривалів. З цією метою ми, з участю працівників Укр. інституту Вогнетривких матеріалів, провели порівняльні досліді стійкості 10-ти всіляких різновидностей футеровки в заводській електропечі при зіткненні з розтопленими високоглиноземистими шлаками та титаністим чавуном при температурі біля 1600°C протягом досить довгого часу.

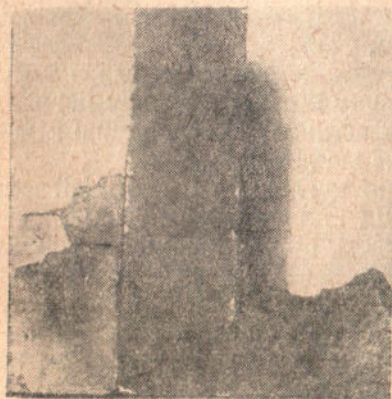


Рис. 4а.

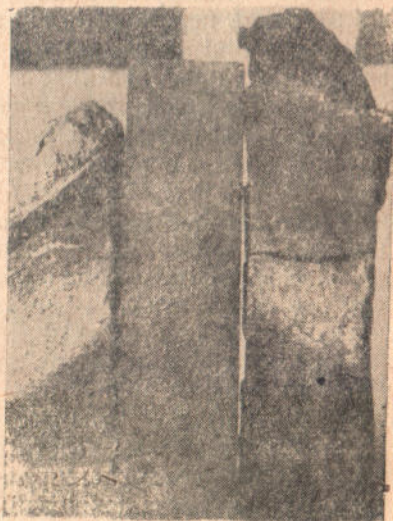


Рис. 4б.

На рисунках 4а та 4б зображені:

Шамотна цегла: густа з термічно оброблених глин (з лівого боку) пориста — Семилукського заводу (з правого боку), після 41-годинного впливу глиноземистого шлаку, в порівнянні з цеглою, що не була в роботі (в центрі).

Корундова цегла з 8% глинистої зв'язки (з лівого боку) та з 2,5% глинистої зв'язки (з правого боку), після 200-годинного впливу глиноземистого шлаку, в порівнянні з цеглою, що не була в роботі (в центрі).

Випробуванням піддані вогнетривали: а) шамотні різних заводів, а також спеціально виготовлені, з пониженою пористістю; б) магнезитові та хромомagneзитові; в) високоглиноземисті; г) мулітові (плавлені та синтетичні); д) корундові; е) вуглецеві.

Цими дослідженнями встановлено, що найбільшу стійкість має цегла корундова, найменшу — шамотна цегла. Трохи гіршу стійкість, ніж корундова цегла, виявляє мулітова та високоглиноземиста.

Теплопровідність корундової цегли приблизно вчетверо вища за теплопровідність шамотної цегли. Через те цегла ця в більшій мірі охолоджується під впливом холодильників, що сприяє утворенню гарнісажу, який запобігає роз'їданню кладки.

Ці властивості корундової цегли, поруч із тим, що цегла ця в меншій мірі, ніж інші різновидності вогнетривалів, піддається розчинувальному впливу високоглиноземистих шлаків, обумовлюють більшу стійкість футеровки з корундової цегли.

Цегла магнезитова та хромомagneзитова, а також цегла на шпінельній основі, зовсім не можуть бути застосовані для кладки доменних печей в наслідок того, що при охолодженні ці види вогнетривалів виявили здатність розсипатися в порошок після стикання з розтопленими високоглиноземистими шлаками. При насиченні цегли високоглиноземистими шлаками відбувається випадання двукальцієвого силікату та шпінелі. Обидва ці мінерали при охолодженні зазнають перетворення зі значними змінами питомої ваги при переході з однієї кристалічної системи в другу. Так, двукальцієвий силікат при переході з α -форми через β -форму в γ -форму значно збільшується в обсязі. При цьому в кожному невеликому обсязі зони цегли, насиченої шлаком, виникають значні розривні зусилля, що руйнують цеглу.

Таку ж поведінку виявляє і найкраща корундова цегла в тому випадку, коли шлак містить у собі велику кількість оксиду магнію, (від 18 до 25%). Перевірчими іспитами встановлено, що менші кількості магнезії у шлаку такого ефекту не викликають.

Окремо стоїть питання у відношенні вуглецевої цегли. Цей вид вогнетривалу зовсім не змінюється під впливом високоглиноземистих шлаків, трохи підпадає зношеності при стиканні з рідким чавуном та значній зношеності у газовій фазі, що містить у собі вуглекислоту. Для остаточного висновку про стійкість цього типу вогнетривалів в умовах роботи горна доменної печі необхідно провести додаткові дослідження та випробування, розпочаті, але не закінчені нами з незалежних від нас причин.

Таким чином, низкою виконаних робіт встановлено:

1) оптимальний склад доменних високоглиноземистих шлаків, що забезпечує нормальну експлуатацію доменних печей при цій різновидності доменного топлення та достатнє вилуговування глинозему з них для виробництва алюмінію;

2) стійкий тип футеровки шлакової зони горна доменної печі при витоПЛенні високоглиноземистих шлаків.

При поновленні витоПЛення високоглиноземистих шлаків шлакова зона доменних печей повинна бути футерована корундовою цеглою на глинистій зв'язці.

3) Встановлено неприпустимість вживання для футеровки горна доменної печі вогнетривалів на шпинельній основі, магнезитових і хромомагнезитових, та дано пояснення механізму їх руйнування.

4) Дано освітлення питання про механізм руйнування шамотної цегли рідким чавуном.

Інститут
чорної металургії
АН УРСР

Академик М. В. ЛУГОВЦОВ

ВЫПЛАВКА ВЫСОКОГЛИНИСТЫХ ШЛАКОВ В БОЛЬШИХ ДОМЕННЫХ ПЕЧАХ

РЕЗЮМЕ

Рядом производственных работ установлены:

1) оптимальный состав доменных высокоглиноземистых шлаков, обеспечивающий нормальную эксплуатацию доменных печей при этой разновидности доменной плавки;

2) устойчивый тип футеровки шлаковой зоны горна доменной печи при выплавке высокоглиноземистых шлаков. Шлаковая зона доменных печей должна быть футерована корундовым кирпичом на глинистой связке;

3) недопустимость применения для футеровки горна доменной печи огнеупорных материалов на шпинельной основе, магнезитовых и хромомагнезитовых, и дано объяснение механизма их разрушения в условиях охлаждения;

4) дано освещение вопроса о механизме разрушения шамотного кирпича жидким чугуном.

М. В. ЛУГОВЦОВ
Member of the Academy

SMELTING OF SLAGS WITH HIGH ALUMINA CONTENT IN LARGE BLAST FURNACES

S U M M A R Y

By a series of author's works the following has been stated:

(1) The optimum composition of blast furnace slags with high alu-

mina content guaranting the normal exploitation of blast furnaces.

(2) The stable type of lining of the slag zone of a blast furnace hearth at the smelting of high alumina slags. The slag zone of the blast furnaces must be lined with corundum bricks on a clayey binding.

(3) The inadmissibility of application for the lining of a blast furnace hearth of fireproof materials, on the spinel basis, magnesite and magnesite chromate ones. It is given an explanation of the mechanism of their decomposition in the cooling conditions.

(4) The elucidation of the question on the mechanism of destruction of chamotte brick with liquid pig iron is given.

ТЕРМІЧНА ОБРОБКА СТАЛІ „Е-16“ І РЕКРИСТАЛІЗАЦІЯ СТАЛІ Е-16 І СУДНОСТАЛІ

Високі вимоги до відповідальних сортів сталей, відповідні інколи за ТУ вищим вимогам і здійсненні лише за оптимальних умов їх обробки, вимагають особливо ретельної підготовки кожної з цих операцій і, зокрема, операції прокатки або штамповки.

Як показали дані заводських спостережень, у продукції виробів з сталі Е-16 і судносталі саме на цих стадіях обробки спостерігається різке зниження основних фізико-механічних характеристик.

Вибір температур і режиму обтисків для цих сталей, визначаючих умови їх рекристалізації, у більшості випадків утруднений тим, що кінцеві структури, які виникають у наслідок послідовних операцій деформування, затушковуються процесом наступної перекристалізації, що призводить до формування не полідричних, а сфероїдитних, сорбітоподібних структур.

Для таких сталей втрачає сенс встановлення зв'язку між фізико-механічною характеристикою їх та вторинною структурою, яка сформувалась після охолодження, і особливого інтересу набуває встановлення зв'язку цих характеристик з первинною рекристалізованою аустенітною структурою металу, деформованого в гамма-області. Для встановлення такого роду зв'язку ми взяли за дослідження рекристалізації суднобудівельної сталі і сталі Е-16 з контролем зерна по аустенітній сітці. Ми, природно, не могли скористатися звичайних методів вияву аустенітного зерна, пов'язаних з переводом металу в аустенітну область, бо в процесі вияву сітки аустенітних зерен ми б зовсім порушили цікаву для нас рекристалізовану структуру.

Серед описаних у літературі методів, мабуть, єдино придатним був би метод глибокого витравлювання меж аустенітних зерен розчином азотної та пікринової кислот за методикою, звичайно вживаною під час витравлювання рекристалізованої макроструктури. Цей метод, дійсно, виправдав себе у вивченні рекристалізації сталі Е-10 (Врацький). На жаль, можливості застосування цього методу обмежені лише зовсім невеликою групою марок сталей. Непридатним виявився цей метод і для досліджених нами сталей. Тому виникла необхідність розробити оригінальну методику виявлення аустенітної сітки у рекристалізованих зразках для кожної з цих сталей.

Враховуючи ту обставину, що досліди із суднобудівельною сталлю провадилися у лабораторній обстановці, ми могли фіксувати рекристалізовану структуру безпосередньо в процесі досліду. Для цього ми провели серію попередніх дослідів, і вони дали нам змогу встановити такий режим охолодження зразків у міжкритичній області після деформації, що при ньому на межах аустенітного зерна, яке розпадається, формувалася цілком чітка феритна оторочка. При цьому треба було уникнути критичних швидкостей охолодження, сприяючих формуванню відмаштетових структур. Треба відмітити, що не для всіх сталей це завдання може бути розв'язане. З другого боку, було вироблено режим часткового загартування, при якому на середніх ділянках зразків аустенітні зерна, які не розпалися, рівномірно переходили в частково відпущений мартенсіт.

Для сталі Е-16 і така методика, звичайно, не могла бути придатною. До того ж, нас цікавило завдання виявлення рекристалізованої структури не в дослідних зразках, а в промислових поковках і прокаті. Співробітників нашої лабораторії С. І Вітензон удалося, в результаті довгої серії дослідів, розробити цілком оригінальну методику виявлення аустенітної структури у рекристалізованих заготовках із сталі Е-16 після їх гарячої обробки. Для цього зразки з відполірованою поверхнею шліфу занурювались у муфельну піч, так щоб поверхня шліфу вільно омивалася окислювальною атмосферою пічного простору. Зразки разом з піччю швидко нагрівались до температури трохи вищої АС₁ (775°) і витримувались у цій температурі протягом 8 годин. Після цього зразки охолоджували разом із піччю до кімнатної температури.

Окислений шліф перешліфовувався на двох останніх номерах паперу до повного усунення слідів жужелиці і піддавався остаточній поліровці. Шліфи не вимагають протравлювання перед переглядом (див. додані ілюстрації)

Причину підвищеної окислюваності меж рекристалізованих аустенітних зерен, що потім зазнають усіх стадій розпаду, ми вбачаємо ось у чому. Ще при первинній стадії формування поля рекристалізованих зерен, на їх межах утворювалися міжкристалічні плівки неметалічних включень. Під час кристалізації аустеніту в міжкритичній області ця сітка міжкристалічних плівок становить місце зосередження центрів кристалізації. У початковій стадії процесу високодисперсні утворення аустеніту, які виділяються, є тими активними місцями, що до них приурочені найшвидші процеси окислення.

Пропонований метод цікавий не лише з вузько-практичного боку. Він може знайти застосування та розвиток в аналізі механізму формування аустеніту при нагріві, процесу міжкристалічної корозії в аустенітних сталях і т. д. У певному відношенні цей метод є оберненим методом окислювального вияву аустенітної сітки через охолодження з гама-області у міжкритичну (з виділенням зародків фериту). Нарешті, пропонований метод дозволяє вивчити також генезис аустенітних структур в сфероїдитних сталях, подібних Е-16, Е-10 і ін.

Сполучення металографічних досліджень з фізико-механічними випробуваннями дозволило встановити чіткий зв'язок між первинною аустенітною структурою рекристалізованих зразків і їхніми фізико-механічними характеристиками (насамперед з ударною в'язкістю).

В цьому нарисі ми не зупинятимемося на детальному аналізі одержаних наслідків, обмежувачись ілюстрацією їх на доданих діаграмах. Розгляд цих діаграм приводить нас до таких виснов-

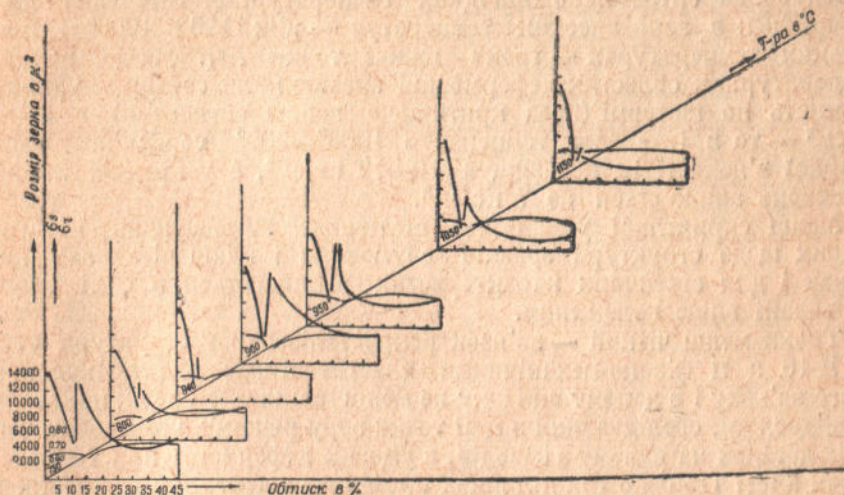


Рис. 1. Діаграма рекристалізації судносталі за показником и розміру зерна та співвідношення $\sigma_0/\sigma_{0.2}$.

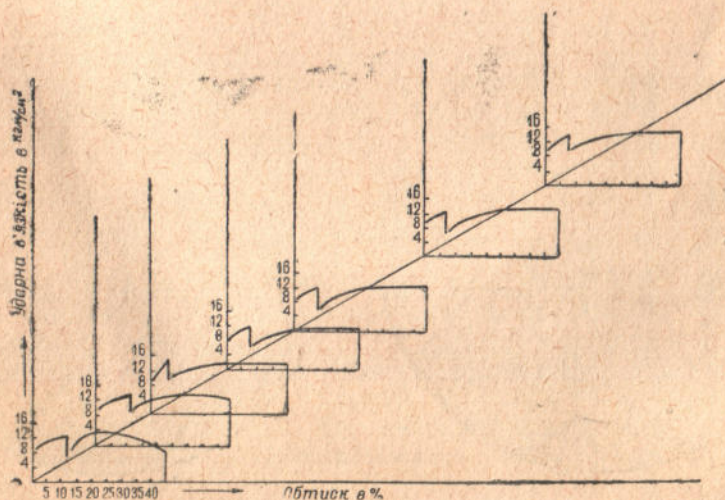


Рис. 2. Діаграма рекристалізації судносталі за показниками ударної в'язкості.

ків: зона критичного росту рекристалізованого зерна, для судносталі при деформації в гама-області, а тим самим і критичного падіння ударної в'язкості, відношення межі текучості до тимчасового опору і т. ін. визначається інтервалом стиснень у 8—10%, а при нижчих температурах — 10—12%. Очевидно, ця зона обтиснень буде найневигіднішою, і слід її уникати по можливості під час прокатки судносталі.

До певної міри несподіваним для нас було те, що для судносталі існує два оптимально вигідних температурних інтервала для деформації: в зоні високих температур — між 1150 і 1000° і при низьких температурах — трохи нижче точки A_{γ_1} . Якщо в цих температурних областях деформовані зразки мали середню ударну в'язкість по ізотермі (поза критичною зоною обтиснень) в 12-14 кг/см² — то в інтервалі температур 1000°—900° середній рівень ударної в'язкості не перевищує 10—12 кг/см², а у критичній зоні обтиснень знижується до 7 кг/см².

Менш сприятливі умови для статичних випробувань неоднорідних щодо структури зразків обумовили і менш чіткі зв'язки. Однак і для статичних характеристик залишаються в силі сформульовані вище положення.

Трохи менш чіткий — зв'язок рекристалізованої структури сталі Е-16 з її фізико-механічними властивостями; але врахування цього зв'язку і в даному випадку не менш важливе, бо, як показали наші дослідження, обслідування з цієї точки зору режиму штамповки деяких деталей на одному з заводів, в умовах деформації при температурах вище 1150° по тих ділянках профіля, де деформації виявились близькими до критичних, спостерігалось надзвичайно інтенсивне зростання аустенітного зерна. При цьому наступні операції штамповки лише в невеликій мірі поліпшують зіпсовану в початкових стадіях обробки структуру металу (див. додані фото).

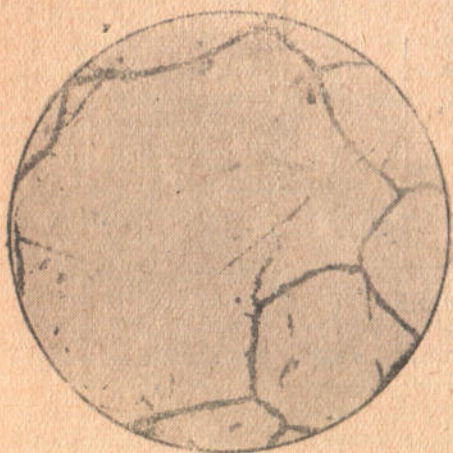


Рис. 3. Т-ра 1180°. Зона критичної деформації. $\times 100$

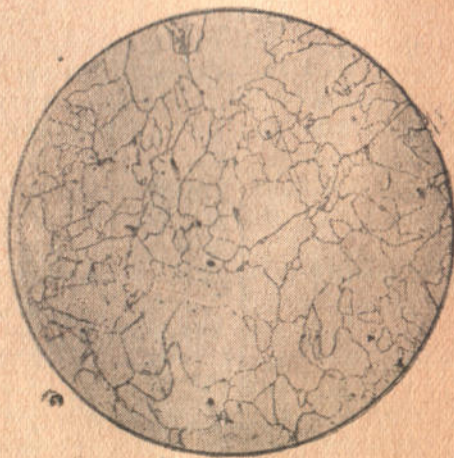


Рис. 4. Т-ра 1180°. Зона оптимальних обтиснень. $\times 100$

Менша чуйність сталі E-16 до варіацій у режимі гарячої обробки пояснюється тим, що механічні випробування цих сталей проводяться лише після термічної обробки, яка істотно змінює й поліпшує структуру рекристалізованої сталі. Але слід зауважити, що занадто побільшене рекристалізоване зерно навряд чи забезпечує сприятливу структуру металу і після термічної обробки. Дійсно, при контролі якості поковок, штампованих в інтервалі температур близьких 1200° , було встановлено, що не лише знижується середня ударна в'язкість по групах заготовок, але і велика кількість зразків (60%) давали ударну в'язкість нижчу від 12 кг/см^2 .

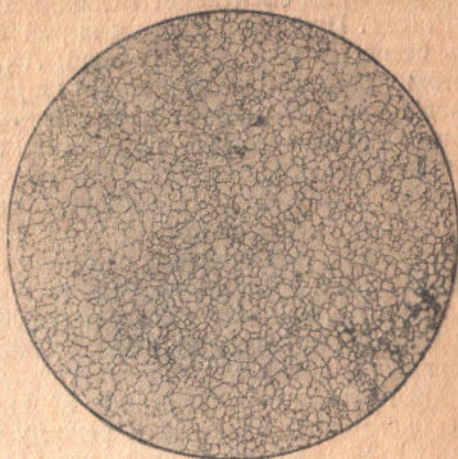


Рис. 5. Т-ра 1000° . Зона оптичних обтиснень. $\times 100$.

Однак, навіть за сприятливого режиму штамповки (нагрів під штамповку до 1150° з загрузкою заготовок у гарячу піч, при загальній тривалості нагріву 2 години, включаючи в цей час і 20-тихвилинну витримку і кінець штамповки при температурі не вищій за 1100°) необхідно дуже старанно провести подальшу термічну обробку, щоб одержати в готовій продукції характеристики, які задовольняють високі норми вимог у першу чергу по показниках ударної в'язкості. Серія дослідних штамповок, проведених на заводі, уможливила встановлення досить задовільного варіанту термічної обробки.

Після штамповки, охолоджена на повітрі заготовка має бути піддана нормалізації від 950° з витримкою при цій температурі не менше трьох годин, наступному відпуску при температурі у 650° з витримкою біля трьох годин, при загальній тривалості операції відпуску в 6 годин. Термічна обробка перед контрольними випробуваннями повинна здійснюватись у цілій поковці шляхом загартування у 850° (при витримці в 1 годину) на повітрі і наступного відпуску при температурі в 170° протягом 3 годин.

При виготовленні зразків для випробування на копрі Шарпі слід канавку готувати шляхом свердління з наступною прорізкою, але не фрезеруванням. Допуски при виготовленні зразків не повинні виходити за межі $0,03 \text{ мм}$.

Треба сказати, що для сталі типу E-16 незрівнянно більше значення має не процес рекристалізації, а характер спрямування волокон у поковках, і на цей бік питання слід звертати особливу увагу при розробленні технологічного режиму гарячої обробки виробів.

В заключній частині цього повідомлення ми ще зупинимося на підготовці поковки із сталі E-16 до дальшої механічної обробки.

Одною з негативних особливостей сталі Е-16 є те, що під час обпалення, особливо збільшених поковок, досить важко досягти потрібного для ефективної механічної обробки ступеня пом'якшення цієї сталі. Причиною цього є вкрай повільний розпад аустеніту навіть безпосередньо поблизу точки A_{T1} . Не говорячи вже про те, що затяжка операції відпалювання на десятки годин не прийнятна для заводів, сам цей режим відпалювання, як показав ще у 1936 р. Гаєв, незадовільний і ще де в чому. Метал з різко вираженою міждендритною ліквіацією, яка призводить до такої ж різко вираженої волокнистості, тяжіє як до флокуоутворення, так і до утворення розколин. Тому перехід металу через точку A_{T1} у процесі повітряного загартування може потягти за собою прояв зазначених дефектів як у поковках, так і у злитках (брак по зламу). Тривалі витримки поблизу точки A_{C1} в умовах масового виробництва не можуть гарантувати від часткового перегріву, який зводитиме практично на нівець раніш досягнений ефект пом'якшення.

Ми провели серію дослідів по виробленню більш раціонального і економічного щодо часу режиму пом'якшуючого відпалювання сталі Е-16. Передпущенням до нього були загальні міркування, висловлені Гаєвим («Металлург», 1936, № 11) щодо режиму відпалювання головним чином злитків. У варіанті, який ми рекомендуємо, використовується другий ступень розпаду аустеніту — зона мартенситного перетворення. Ми дослідили як режим ізотермічного розкладу аустеніту в області мартенситного перетворення (при охолодженні заготовки від температури нормалізації до температури в 350° і витримці при цій температурі протягом трьох годин), так і варіант розкладу остаточного аустеніту в тій самій температурній області. Наступна, відносно нетривала витримка при температурі 650° (4 години) забезпечує цілком достатній ефект пом'якшення, як про це можна зробити висновок із даних, наведених нами в діаграмі.

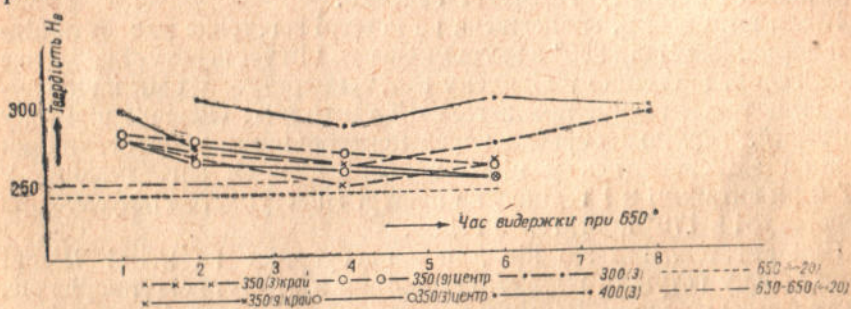


Рис. 6. Показники твердості поковок зі сталі Е-16 за різними режимами обпалювання.

Інтересно те, що при цьому режимі обробки високотемпературний ступінь відпалювання, при надмірному подовженні, призводить метал навіть до деякого зміцнення, що належить, очевидно, зв'язувати або з дисперсійним твердінням або з процесами сфероїдизації. Це питання стане предметом найближчих наших досліджень.

**К ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ Э-16 И РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ
СТАЛИ Э-16 И СУДОСТАЛИ**

Р Е З Ю М Е

Излагаются оригинальные методы выявления структур рекристаллизации в сталях Э-16 и судостали, и на основании сопоставительного анализа механических свойств их показана тесная связь между этими характеристиками сталей.

Предложены наивыгоднейшие варианты горячей обработки этих сталей, а для стали Э-16 — вариант термической обработки и умягчающего отжига, сокращающего эту операцию с 20 до 7 часов.

В сообщении представлены материалы исследований, проведенных в Инст. черн. металл. АН УССР и Инст. металлов с участием от Инст. металлов т. т. Баркова и Борушко, от Инст. черн. мет. Виттензон и Штеккельман, а также с участием Гранникова и Казарновского.

I. N. FRANZEVICH,

Corresponding Member of the Academy

**CONTRIBUTION TO THE HEAT TREATMENT OF STEEL E-16
AND TO THE RECRISTALLIZATION OF STEEL E-16 AND OF
SHIP-STEEL**

S U M M A R Y

An original method of finding out recrystallized structures in the steels E-16 and in ship steel is expounded and, on the basis of a comparative analysis of their mechanical properties the close connection between these characteristics of steels is shown.

The most advantageous variants of hot treatment of these steels — and for steel E-16-a variant of heat treatment and smoothening annealing, reducing the time of this operation from 20 hours up to 7 hours is proposed.

In the information are given materials of the investigations carried out by the Institute of Metallurgy of Ferrous Metals of the Academy of Sciences of the Ukrainian S. S. R. and by the Institute of Metals with the collaboration of c c. Barkoff and Borushko from the Institute of Metals, c. c. Yittenzon and Stekkelman from the Institute of Metallurgy of Ferrous Metals, as well as with the participation of Grannikoff and Kazarnovsky.

Академік Ю. В. ПФЕЙФЕР

НОВІ ШЛЯХИ ДОСЛІДЖЕНЬ У ЗАДАЧІ PFAFF'a І ІНТЕГРУВАННІ РІВНЯНЬ З ЧАСТИННИМИ ПОХІДНИМИ

Видатні задачі математики, які десятиліття, а іноді й цілі століття не можуть бути розв'язані, відрізняються характерними властивостями. До розв'язання цих задач різні автори підходять різними шляхами, які, на їхню думку, повинні дати позитивні результати; але звичайно ці шляхи не досягають основної мети, проте часто приводять до нових теорій, які іноді перетворюються на великі самостійні розділи математики. Так, напр., про S. Lie F. Klein каже: кінцевою метою своїх досліджень S. Lie мав просунення вперед інтегрування диференціальних рівнянь і в той самий час він утворив теорію неперервних груп, виконав багато геометричних досліджень та поставив ряд нових задач.

Найбільш цікаві ті періоди, коли над основною задачею, яку важко розв'язати, починає працювати або викладати її ціла група видатних математиків. В цей час надзвичайно корисно математикам взагалі, і головним чином молодим математикам, глибоко вивчати основи поставленої задачі. Порівнюючи погляди досвідчених вчених, вони повинні прагнути до з'ясування причин, що перешкоджають її розв'язанню. З великою ймовірністю можна твердити, що коли авторам і не пощастить розв'язати задачу, то в усякому разі аналіз причин невдачі приведе до різного роду спрощень та до нових результатів.

Задачею Pfaff'a, що була поставлена вже 110 років тому, в 20-х роках нашого століття одночасно почали займатися й надрукували монографії, що до неї стосуються, такі корифеї науки, як академіки: Ed. Goursat, E. Cartan, Th. De-Donder. Своім учням я раджу читати їхні твори, які в тих місцях, де не все з'ясовано до самого кінця, дуже цікавлять і мене самого.

В цій доповіді я хочу говорити про символічні форми, які відіграють величезну роль в задачі Pfaff'a, та про рівняння з частинними похідними першого порядку багатьох функцій, що тісно пов'язані з символічними формами.

Кожну символічну форму $n+k$ ступеня $n+k$ змінних

$$S \equiv \sum_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}^{k+n} A_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n} dx_{\alpha_1} dx_{\alpha_2} \dots dx_{\alpha_n}, \quad (1)$$

приймавши змінні, добутки диференціалів яких стоять при одному з коефіцієнтів A , відмінному від нуля, за змінні x_1, x_2, \dots, x_n , а решту змінних за змінні z_1, z_2, \dots, z_k , перетворимо форму S на форму Ω

$$\Omega \equiv M dx_1 dx_2 \dots dx_n + \sum_{\sigma_1 \tau_1}^{kn} M_{\tau_1}^{\sigma_1} dx_1 \dots dx_{\tau_1-1} dz_{\sigma_1} dx_{\tau_1+1} \dots dx_n +$$

$$+ \sum_{\sigma_1 \sigma_2 \tau_1 \tau_2}^{kn} M_{\tau_1 \tau_2}^{\sigma_1 \sigma_2} dx_1 \dots dx_{\tau_1-1} dz_{\sigma_1} dx_{\tau_1+1} \dots dx_{\tau_2-1} dz_{\sigma_2} dx_{\tau_2+1} \dots dx_n +$$

$$\dots$$

$$M \neq 0.$$

Їй відповідає лінійне в Якобі'анах рівняння

$$J \equiv M + \sum_{\sigma_1 \tau_1}^{kn} M_{\tau_1}^{\sigma_1} \frac{\partial z_{\sigma_1}}{\partial x_{\tau_1}} + \sum_{\sigma_1 \sigma_2 \tau_1 \tau_2}^{kn} M_{\tau_1 \tau_2}^{\sigma_1 \sigma_2} \frac{\partial (z_{\sigma_1}, z_{\sigma_2})}{\partial (x_{\tau_1}, x_{\tau_2})} + \dots = 0. \quad (3)$$

$$M \neq 0.$$

Вивчення символічних форм базується на їхній властивості виділяти або не виділяти лінійні множники

$$\omega = a_1 dz_1 + \dots + a_k dz_k - b_1 dx_1 - \dots - b_n dx_n \quad (4)$$

Якщо форма Ω є добутком n лінійних множників

$$\Omega = N \omega_1 \omega_2 \dots \omega_n, \quad (5)$$

то рівняння $J=0$ і форма Ω задовольняють умовам М. Hamburger'a

$$H_{\tau_1 \tau_2 \dots \tau_r}^{\sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_r} \equiv M_{\tau_1 \tau_2 \dots \tau_r}^{\sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_r} \rightarrow \begin{vmatrix} M_{\tau_1}^{\sigma_1}, M_{\tau_2}^{\sigma_1}, \dots, M_{\tau_r}^{\sigma_1} \\ M_{\tau_1}^{\sigma_2}, M_{\tau_2}^{\sigma_2}, \dots, M_{\tau_r}^{\sigma_2} \\ \dots \\ M_{\tau_1}^{\sigma_r}, M_{\tau_2}^{\sigma_r}, \dots, M_{\tau_r}^{\sigma_r} \end{vmatrix} \equiv 0 \quad (6)$$

Функції

$$H_{\tau_1 \tau_2 \dots \tau_r}^{\sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_r} \quad (7)$$

ми називаємо функціями М. Hamburger'a
При $M \neq 0$ рівняння

$$\omega_1 = 0, \omega_2 = 0, \dots, \omega_n = 0 \quad (8)$$

Спочатку були встановлені умови знаходження на лінійних в Ясові'анах рівняннях Ясові'євих систем; потім для окремого, але досить загального випадку — випадку символічних форм третього ступеня — були детально вивчені умови виділення лінійних множників, а також був знайдений вигляд лінійних множників та зв'язаних з ними множників другого ступеня. Після такої підготовки ми підійшли до розшукування умов виділення лінійних множників символічними формами n -ого ступеня, $k+n$ змінних, при чому були досягнені значні спрощення обчислень.

Інститут фізики і математики
АН УРСР

Академик Г. В. ПФЕЙФФЕР

НОВЫЕ ПУТИ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЗАДАЧЕ ПФАФФА И ИНТЕГРИРОВАНИИ УРАВНЕНИЙ

РЕЗЮМЕ

Автор рассматривает символические формы Ω и соответствующие им линейные в Ясові'анах уравнения, обозначив их через $J = 0$.

Для формы Ω , уравнения $J = 0$ М. Hamburger установил свои условия, как свойство матриц. У Ed. Goursat говорится о том, что условия М. Hamburger'а можно получить, заставив форму Ω разлагаться на линейные множители. Г. В. Пфейффер показал, что те же условия будут найдены при требовании, чтобы на уравнении $J = 0$ было расположено k Ясові'євых систем линейных уравнений многих функций. Этот результат легко распространяется на случай системы линейных в Ясові'анах уравнений, удовлетворяющих обобщенным условиям М. Hamburger'а, и обобщенно-Ясові'євы системы.

Автор выписал:

а) условия нахождения на линейных в Ясові'анах уравнениях Ясові'євых систем линейных уравнений многих функций;

б) условия выделения формами Ω линейных множителей ω .

Признак $\Omega \equiv 0$ приводит к большому числу зависимых уравнений; он заменен автором более простым, дающим только независимые уравнения.

G. V. PFEIFFER,

Member of the Academy

NEW WAYS OF RESEARCHES IN PFAFF'S PROBLEM AND INTEGRATION OF PARTIAL EQUATIONS

SUMMARY

The author takes into consideration the symbolic forms Ω and the corresponding, linear in Jacobians, equations. Let us designate them by $J = 0$.

For the form Ω , the equation $J = 0$ M. Hamburger has established his conditions as a property of the matrices. Ed. Goursat says that M. Hamburger's conditions can be obtained in accomplishing the decomposition of form Ω into linear multipliers. G. V. Pfeiffer has proved, that the same conditions could be found with the requirement, that on the equation $J=0$ should be arranged k Jacobi's systems of linear equations with many functions. This result can easily be extended upon the case of the system of linears in the Jacobians equations, satisfying he generalized conditions of M. Hamburger, and the generalized systems Jacobi's.

The author has written out:

a) the conditions of presence of Jacobi's systems of linear equations with many functions on the linear in Jacobian equations,

b) the conditions of distinguishing linear multipliers ω by the forms Ω .

The sign

$$U \omega \equiv 0$$

conducts to a great number of dependent equations; the author substitutes for it a simpler one giving only independent equations.

ПРО ПОБУДУВАННЯ СЕРЕДНЬО-СТЕПЕНЕВИХ НАБЛИЖЕНЬ В КОМПЛЕКСНІЙ ОБЛАСТІ

Нехай E позначає дану множину точок певного абстрактного простору (в розумінні Фреше (1), в якому визначена міра μ з властивостями $\mu \geq 0$, $\mu \sum_{i=1}^{\infty} e_i = \sum_{i=1}^{\infty} \mu e_i$ ($e_i e_j = 0$ при $i \neq j$), де e, e_i , а також і E — множини деякої адитивної сім'ї множин $\{e\}^2$ в розглядуваному просторі; при тому припускаємо $\mu E > 0^1$. Через x позначаємо змінний елемент (точку) множини E . Під $u_0(x), u_1(x), \dots, u_n(x)$ розуміємо систему $n+1$ заданих комплексних функцій точки, однозначно означених, вимірювальних (μ)², обмежених і лінійно-незалежних на даній множині E . Властивість лінійної незалежності тут треба трактувати в такому розумінні: узагальнений поліном $\sum_{i=0}^n c_i u_i(x)$ ($c_i = \text{const}; i=0, 1, \dots, n$;

c_i — комплексні числа), у якого хоч би один з коефіцієнтів c_i відмінний від нуля, може ставати нулем щонайбільш — на підмножині $E_1 \subset E$, міри $\mu E_1 \leq r$, де r — певне фіксоване невід'ємне число, яке задовольняє нерівності $r < \mu E$. Будемо ще вважати за задані на E дві вимірювальні (μ) функції точки $f(x)$ і $\rho(x)$, де $\rho(x)$ — дійсна та додатна функція, $f(x)$ — комплексна функція, при чому, позначаючи через k певне фіксоване натуральне число, припустимо існування і скінченність двох таких інтегралів: ²

$$\int_E \rho d\mu, \int_E \rho |f|^{2k} d\mu = \int_E \rho f^k \bar{f}^k d\mu \quad (1)$$

Щодо функції $f(x)$ припустимо, нарешті, що рівність вигляду $f(x) = \sum_{i=0}^n c_i u_i(x)$ може задовольнятися щонайбільш — на підмно-

¹ Якщо взяти тут найпростіші випадки, які мають особливе значення для застосувань, E може позначати двохмірну або одновірну множину точок на площині комплексних чисел або може позначати на тій самій площині скінченну множину точок, кожній з яких приписана певна додатна вага (розглядувана в цьому випадку як її міра) і т. д.

² Інакше кажучи, дійсна частина і коефіцієнт уявної частини кожної з розглядуваних функцій припускаються вимірювальними (μ).

жині $E_* \subset E$ міри $\mu \cdot E_* \leq r_1$, де r_1 — певне фіксоване (для даної функції $f(x)$) невід'ємне число, зв'язане з раніше згаданою сталою r нерівністю.

$$r + r_1 < \mu E \quad (2)$$

Розглядувана задача полягає у визначенні (комплексних) значень коефіцієнтів c_i узагальненого полінома $p_n(x) = \sum_{i=0}^n c_i u_i(x)$ під умовою мінімізації інтеграла

$$\delta_{2k}(c_0, c_1, \dots, c_n) = \int_E \rho(x) [p_n(x) - f(x)]^k [\bar{p}_n(x) - \bar{f}(x)]^k d\mu \quad (3)$$

Можна довести, що розв'язок даної задачі при сформульованих вище загальних умовах завжди існує, при чому дійсні частини і коефіцієнти уявних частин шуканих значень параметрів c_0, c_1, \dots, c_n визначаються єдиним дійсним розв'язком системи $2(n+1)$ алгебричних рівнянь, яка дозволяє стислий запис в одній з двох таких взаємно-еквівалентних форм:

$$\int_E \rho (p_n - f)^{k-1} (\bar{p}_n - \bar{f})^k \pi_n d\mu = 0 \quad (4)$$

або

$$\int_E \rho (p_n - f)^k (\bar{p}_n - \bar{f})^{k-1} \bar{\pi}_n d\mu = 0 \quad (4')$$

де під $\pi_n = \sum_{i=0}^n k_i u_i(x)$ треба розуміти узагальнений поліном з довільними (комплексними) коефіцієнтами. Ця система алгебричних рівнянь (з дійсними коефіцієнтами) є лінійною лише в тому випадку, коли $k=1$. Ми позначимо через $p_{n0}(x) = \sum_{i=0}^n c_{i0} u_i(x)$ узагальнений поліном, який є шуканим (єдиним) розв'язком поставленої «задачі найменших $2k$ степенів», і через $\delta_{2k,0}$ відповідне значення $\delta_{2k}(c_{00}, c_{10}, \dots, c_{n0})$. Залишаючи осторонь елементарний випадок $k=1$, який відповідає задачі квадратичного наближення [при вазі $\rho(x)$], ми при $k > 1$ маємо завжди нелінійну задачу. Намічуваний тут шлях для фактичного побудування її розв'язку полягає у визначенні завжди збіжного процесу послідовних наближень, який базується в своєму основному алгоритмі на певних екстремальних принципах.

Нехай буде $P_n(x) = \sum_{i=0}^n \alpha_i u_i(x)$ будь який узагальнений поліном даної системи функцій $\{u_i(x)\}$, при чому на значення ком-

плексних чисел a_0, a_1, \dots, a_n не накладається зовсім ніяких обмежень. Ми зіставимо йому поліном $Q_n(x) = \sum_{i=0}^n l_i u_i(x)$, одно-значно визначуваний як розв'язок такої задачі зваженого ква-дратичного наближення:

$$\begin{aligned} & \int_E \rho |P_n - f|^{2(k-1)} \cdot |Q_n - f|^2 d\mu = \\ & = \int_E \rho (P_n - f)^{k-1} (\bar{P}_n - \bar{f})^{k-1} (Q_n - f) (\bar{Q}_n - \bar{f}) d\mu = \\ & = \text{funct. } (l_0, l_1, \dots, l_n) = \min \end{aligned} \quad (5)$$

Компоненти комплексних значень коефіцієнтів l_0, l_1, \dots, l_n визначаються тут системою $2(n+1)$ лінійних алгебричних рівнянь, яку можна стисло записати в одній з наступних двох взаємно-еквівалентних форм:

$$\int_E \rho |P_n - f|^{2(k-1)} (\bar{Q}_n - \bar{f}) \pi_n d\mu = 0 \quad (6)$$

або

$$\int_E \rho |P_n - f|^{2(k-1)} (Q_n - f) \cdot \bar{\pi}_n d\mu = 0, \quad (6')$$

де π_n має значення аналогічне до того, як в (4) — (4').

Зіставляючи (6) — (6') із (4) — (4'), легко переконатися, що тотожна рівність $Q_n \equiv P_n$ (на множині точок E) має місце тоді і тільки тоді, коли $P_n \equiv p_{n0}$. Отже, якщо перша з цих рівностей не має місця, то напевно $\delta_{2k}(a_0, a_1, \dots, a_n) > \delta_{2k, 0}$.

Нижченаведена теорема показує, як можна в цьому випадку скорегувати коефіцієнти поліному $P_n(x)$ таким чином, щоб значення $\delta_{2k}(a_0, a_1, \dots, a_n)$ знизилось хоч би на величину безмежно малу.

Теорема I. Кожного разу, коли $Q_n \neq P_n$, можна дещо знизити величину $\delta_{2k}(a_0, a_1, \dots, a_n)$, додавши до $P_n(x)$ поправку вигляду $\alpha(Q_n - P_n)$ при досить малому додатному значенні дійсного параметра α .

Доведення. Розглядаючи

$$F(\alpha) = \int_E \rho [P_n + \alpha(Q_n - P_n) - f]^k [\bar{P}_n + \alpha(\bar{Q}_n - \bar{P}_n) - \bar{f}]^k d\mu, \quad (7)$$

маємо:

$$\begin{aligned}
F'(0) &= k \int_E \rho [P_n - f]^{k-1} (Q_n - P_n) (\bar{P}_n - \bar{f})^k + \\
&\quad + (P_n - f)^k (\bar{P}_n - \bar{f})^{k-1} (\bar{Q}_n - \bar{P}_n) d\mu = \\
&= k \int_E \rho |P_n - f|^{2(k-1)} [(\bar{P}_n - \bar{f})(Q_n - P_n) + (P_n - f)(\bar{Q}_n - \bar{P}_n)] d\mu = \\
&= k \int_E \rho |P_n - f|^{2(k-1)} [(\bar{P}_n - \bar{Q}_n) + (\bar{Q}_n - \bar{f})] (Q_n - P_n) d\mu + \\
&\quad + k \int_E \rho |P_n - f|^{2(k-1)} [(P_n - Q_n) + (Q_n - f)] (\bar{Q}_n - \bar{P}_n) d\mu
\end{aligned}$$

або, враховуючи (6)—(6'):

$$F'(0) = -2k \int_E \rho |P_n - f|^{2(k-1)} (Q_n - P_n) (\bar{Q}_n - \bar{P}_n) d\mu, \quad (8)$$

звідки $F'(0) < 0$ за силою (2), що і завершує доведення.

Далі, як у випадку апроксимації в дійсній області, виявляється можливим довести, що ряд подібних послідовно застосовуваних поправок, якщо брати кожного разу додатне значення параметра α в певному сенсі «не надто малим», може бути складений так, що послідовність (узагальнених) поліномів, таким чином одержуваних, буде рівномірно збігатися до шуканого розв'язку $P_{no}(x)$ задачі найменших $2k$ -их степенів. Відповідне дослідження може бути проведене за таким самим планом, як це було зроблено для випадку дійсних функцій в моїх попередніх роботах (3), (4). У відповідному ланцюгу лем та теорем, доведення яких вимагатиме тут лише невеликих модифікацій раніше застосованих автором міркувань, ми матимемо зокрема такі твердження:

Твердження I. (5) Кожному θ , взятому в межах $0 < \theta < 1$, можна протипоставити певне скінченне число $R = R(\theta)$, таке, щоб нерівність вигляду $|P_n(x)| \leq \eta$, виконувана для якого-небудь (узагальненого) полінома $P_n(x)$ на точковій множині $E_1 \subset E$ міри $\mu E_1 \geq r + \theta(\mu E - r)$, тягнула за собою нерівність $\|P_n(x)\| \leq \eta R(\theta)$, при чому під $\|P_n\|$ розуміємо (тут і надалі) величину

$$\|P_n\| = \sup_{x \in E} |P_n(x)| \quad (9)$$

Твердження II. Якщо для полінома $P_n(x) = \sum_{i=0}^n a_i u_i(x)$,

коефіцієнти якого послідовно зазнають деяких змін (як це має місце, зокрема, при послідовному корегуванні коефіцієнтів у якому-небудь процесі

послідовних наближень), величина $\delta_{2k} = \delta_{2k}(a_0, a_1, \dots, a_n)$ прямує до $\delta_{2k, 0}$, тоді маємо одночасно $\|P_n - P_{n0}\| \rightarrow 0$.

Твердження III. Якщо (при послідовній зміні коефіцієнтів полінома P_n) існують два фіксовані додатні числа A і h такі, що увесь час зберігають силу обидві нерівності

$$\int_E \rho (P_n - f)^k (\bar{P}_n - \bar{f})^k d\mu \leq A, \quad (10)$$

$$\int_E \rho (P_n - f)^k (\bar{P}_n - \bar{f})^k d\mu \geq \delta_{2k, 0} + \gamma h, \quad (11)$$

то їм можна протипоставити таке фіксоване додатне число γ , що має місце одночасно й нерівність

$$\int_E \rho |P_n - f|^{2(k-1)} |Q_n - P_n|^2 d\mu \geq \gamma. \quad (12)$$

Твердження IV. Припустімо, що застосовується намічений вище процес послідовних наближень, який базується на теоремі I Поки, поруч із нерівністю вигляду (10), виконується також нерівність вигляду (11) при якомунебудь фіксованому $h > 0$, величина параметра α може бути дібрана кожного разу більшою від певного фіксованого разом з h значення таким чином, щоб зниження величини $\delta_{2k}(a_0, a_1, \dots, a_n)$ кожного разу залишалось вище за певне інше, також фіксоване разом з h , додатне число.

Це останнє твердження вкупі з твердженням II, очевидно, цілком забезпечує збіжність процесу послідовних наближень до шуканого розв'язку задачі найменших $2k$ -х степенів.

Збіжність процесу буде а fortiori забезпечена, якщо кожного разу брати α близьким до того оптимального значення $\alpha = \alpha_0$, при якому інтеграл (7) досягає свого абсолютного мінімуму. Тут ще має місце

Теорема II. Значення $\alpha = \alpha_0$, при якому інтеграл (7), розглядуваний як функція параметра α , досягає свого абсолютного мінімуму, є єдиним дійсним коренем рівняння $F'(\alpha) = 0$.

Далі, проте, маємо істотний пункт розходження. В той час, як у випадку апроксимації дійсних функцій ми при $\|P_n - P_{n0}\| \rightarrow 0$ мали $\alpha_0 \rightarrow \frac{1}{2k-1}$, при чому асимптотична форма поправки $\frac{1}{2k-1} \cdot (Q_n - P_n)$ виявлялась еквівалентною поправці за методом Ньютона до наближеного розв'язку системи $n+1$ алгебричних рівнянь, відповідної до (4) — (4'), — тут подібний зв'язок з методом Ньютона

цілком утрачується; що ж до величини $\alpha = \alpha_0$, при значеннях $\|P_n - p_{n0}\|$ близьких до нуля, то має місце лише така теорема:

Теорема III. Всякому $\varepsilon > 0$ можна протипоставити таке $\eta > 0$, що нерівність $\|P_n - p_n\| < \eta$ тягне за собою подвійну нерівність.

$$\frac{1}{2k-1} - \varepsilon < \alpha_0 < 1 + \varepsilon \quad (13)$$

Доведення. Вводячи позначення:

$$\int_E \rho |P_n - f|^{2(k-1)} \cdot |Q_n - P_n|^2 d\mu = J_2, \quad (14)$$

$$\sum_{r=r_1(v)}^{r_2(v)} \binom{k}{r} \binom{k}{v-r} \int_E \rho (P_n - f)^{k-r} (\bar{P}_n - \bar{f})^{k-(v-r)} (Q_n - P_n)^r \cdot (\bar{Q}_n - \bar{P}_n)^{v-r} d\mu = S_v, \quad (15)$$

де $r_1(v) = \max\{0, v-k\}$, $r_2(v) = \min\{v, k\}$, $v = 0, 1, 2, \dots, 2k$

зауважмо перш за все, що рівняння, з якого визначається значення $\alpha = \alpha_0$, може бути записане, з урахуванням (8), у вигляді,

$$\begin{aligned} 0 = F'(\alpha) &\equiv -2k J_2 + \\ &+ \alpha \{ 2k J_2 + k(k-1) \int_E \rho |P_n - f|^{2(k-2)} [(P_n - f)(\bar{Q}_n - \bar{P}_n) + \\ &+ (\bar{P}_n - \bar{f})(Q_n - P_n)]^2 d\mu + \\ &+ \sum_{v=3}^{2k} v \alpha^{v-1} S_v \end{aligned} \quad (16)$$

Далі неважко переконатися в тому, що при $\|P_n - p_{n0}\| \rightarrow 0$, маємо також $\|Q_n - P_n\| \rightarrow 0$, $J_2 \rightarrow 0$, $S_v \rightarrow 0$ ($v = 3, 4, \dots, 2k$), при чому величина J_2 представляє в точності 2-й порядок малості щодо $\|Q_n - P_n\|$ (що може бути доведено на основі твердження I), в той час як S_v ($v = 3, 4, \dots, 2k$) представляє щонайменше порядок малості v щодо $\|Q_n - P_n\|$. Помічаючи, на рещті, що, в усякому разі,

$$[(P_n - f)(\bar{Q}_n - \bar{P}_n) + (\bar{P}_n - \bar{f})(Q_n - P_n)]^2 \leq 4 |P_n - f|^2 \cdot |Q_n - P_n|^2, \quad (17)$$

досить буде поділити обидві сторони рівняння (16) на $2k J_2$ і послідовно підставити значення $\alpha = \frac{1}{2k-1} - \varepsilon$ і $\alpha = 1 + \varepsilon$, щоб переконатися в справедливості доводжуваної теореми.

З допомогою простих прикладів можна далі довести, що будьяке звуження інтервалу між асимптотичними границями $\frac{1}{2k-1}$ та 1 для α_0 в загальному випадку не є можливим³.

Інститут фізики і математики АН УРСР

Література

(1) M. Fréchet. Sur l'intégrale d'une fonctionnelle etc. (Bulletin de la Société Math. de France, 1915, t. 43).

(2) S. Saks. The theory of the integral, Warszawa—Lwow, 1937.

(3) Е. Я. Ремез. Средне-степенные приближения и приближения по принципу наименьших квадратов (Доклады АН СССР, 1940, т. XXVIII, № 5, стр. 397—400).

(4) Е. Я. Ремез. О средних степенных приближениях и приближениях по принципу наименьших квадратов (Математический Сборник, Москва, 1941, вып. 2).

(5) Е. Ремез. Про характер відхилю від нуля узагальнених поліномів системи лінійно-незалежних та обмежених функцій (Доповіді АН УРСР, 1940, № 11).

Чл.-кор. Е. Я. РЕМЕЗ

О ПОСТРОЕНИИ СРЕДНЕ-СТЕПЕННЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ В КОМПЛЕКСНОЙ ОБЛАСТИ

РЕЗЮМЕ

Настоящая заметка, являющаяся предварительным сообщением, посвящена распространению, на случай аппроксимации комплексных функций, недавно предложенного автором метода построения средне-степенных приближений в действительной области — путем сведения к последовательности линейных операций взвешенного квадратического приближения.

Рассматриваемый процесс последовательных приближений и здесь оказывается сходящимся при весьма общих условиях, без которых сама постановка задачи утрачивает смысл.

Асимптотические свойства (при бесконечном продолжении процесса последовательных приближений) поправки, применяемой в основном алгоритме, существенно отличаются от соответствующих свойств при аппроксимации действительных функций. Параметр α_0 , который там имел своим асимптотическим значением $\frac{1}{2k-1}$, здесь оказывается заключенным между двумя асимптотическими пределами, причем сближение их в общем случае невозможно.

E. J. RÈMÈS,

Corresponding Member of the Academy.

ON THE CONSTRUCTION OF MEAN-POWER APPROXIMATIONS IN THE COMPLEX DOMAIN

S U M M A R Y

This paper, being a preliminary publication, deals with the extension of a new method of constructing mean-power approximations, recently proposed by the author for real functions, to the case of approximation of complex functions. This method consists essentially in reducing the construction of a mean-power approximation (i. e. best approximation in the sense of least $2k$ -th powers), to a sequence of linear operations of weighted quadratic approximations.

The process of successive approximations treated proves also here to be convergent under most general conditions, without which the very putting of the problem appears to be objectless.

The asymptotic properties (at the infinite continuation of the process of successive approximations) of the correction $\alpha_0(Q_n - P_n)$, used in the basic algorithm, are essentially different from those in the case of real functions. The parameter α_0 , the asymptotic value of which in the latter case was $\frac{1}{2k-1}$ is to be found here within the two asymptotic limits $\frac{1}{2k-1}$ and 1, the shortening of the interval between them in the general case being impossible.

Чл.-кор. Н. Д. МОРГУЛІС

ОПТИЧНІ І ФОТО-ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СУРМ'ЯНОЦЕЗІЄ- ВИХ КАТОДІВ¹

(Попереднє повідомлення)

Сурм'яно-цезієвий катод, який є одним із типових і найбільш ефективних сучасних емітерів фото і вторинних електронів, піддавався в зв'язку з цим численним дослідженням; в наслідок цього ми маємо на даний час ряд дуже цінних відомостей про процеси, що відбуваються під час його роботи. Одним із найцікавіших питань, зв'язаних взагалі з проблемою сучасних ефективних емітерів, які мають напівпровідникову природу², є питання про умови вбирання світла, збудження фотоелектронів і їх дальшого руху всередині емітера в напрямку до поверхні; дослідженню цього питання і присвячена дана робота. Переходимо до викладу її.

Хай на поверхню фотокатода, що має товщину d , падає монохроматичний пучок світла з довжиною хвилі λ і початковою енергією L_0 ; в такому разі після проходження шару d енергія пучка світла буде дорівнювати

$$L = L_0 e^{-\mu d} \quad (1)$$

де коефіцієнт вбирання світла μ залежить від властивостей вбираючого середовища і від довжини хвилі λ . Визначимо тепер через σ ефективний коефіцієнт вбирання фотоелектронів усередині матеріалу катода відповідно до такої залежності для їх вбирання

$$N_e = N_{e0} e^{-\sigma d} \quad (2);$$

себто формула (2) має на увазі, що вбирання збуджених фотоелектронів відбувається шляхом одноразового акту прилипання, а не в наслідок поступової втрати своєї початкової енергії.

Природно, що і ця величина σ повинна в загальному випадку також залежати від властивостей вбираючого середовища і від λ ;

¹ Доповідь на сесії Академії Наук УРСР в м. Уфі 15 січня 1942 р.

² Н. Моргуліс — Доклад на конференції по напівпровідникам в Ленінграді в ноябре 1940 г.

останнє зв'язане з тим, що величина σ повинна залежати від початкової енергії збуджуваного всередині катоду фотоелектрону

$$\varepsilon_0 = \left(\frac{hc}{\lambda} - Q \right) = f(\lambda) \quad (3)$$

де Q — енергія збудження електронів у смугу провідності нашого напівпровідникового катоду.

Розгляньмо тепер два випадки освітлення фото-катоду: 1) пряме, себто освітлення катоду зсередини, з боку аноду фотоелементу, і 2) зворотне, себто освітлення катоду безпосередньо з зовнішнього боку балону фотоелементу.

1) При прямому освітленні кількість квантів, що вбираються на елементі шляху dx , дорівнює $dN = \mu N dx$, а кількість збуджених фотоелектронів, що виникають при цьому, дорівнює $\alpha \mu N dx$, де $N = L/h\nu$ і $\alpha \mu$ є коефіцієнт фотоелектричного вбирання ($\alpha \leq 1$). З цієї кількості збуджених фотоелектронів до поверхні катоду дійде число, пропорціональне $\alpha \mu N dx e^{-\sigma(d-x)} = \alpha \mu N_0 e^{-(\mu+\sigma)(d-x)} dx$, а вийде назовні

$$dn_1 = \alpha \beta \mu N_0 e^{-(\mu+\sigma)(d-x)} dx \quad (4)$$

(гранична умова: при $x = d$, $N = N_0 = L_0/h\nu$).

Коефіцієнт $\beta < 1$ ураховує цю частину фотоелектронів, що прямують до поверхні катоду, а потім прориваються, за рахунок своєї початкової кінетичної енергії ε_0 , через поверхневий потенціальний бар'єр. Наближене обчислення конусу, з якого ці електрони виходять зовні, подолуючи за рахунок ε_0 зовнішню роботу виходу χ , при симетричному розподілі напрямків своїх початкових швидкостей приводить нас до слідуючого виразу:

$$\beta = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\chi}{\chi + \varepsilon_0}} \right) \quad (5)$$

Після інтегрування (4) ми приходимо до такого виразу для повного фотоструму при прямому освітленні

$$I_1 = \frac{e \alpha \beta \mu N_0}{(\mu + \sigma)} \left[1 - e^{-(\mu + \sigma) d} \right]. \quad (6)$$

З (6) видно, що величина I_1 безперервно зростає зі збільшенням товщини шару катоду d , досягаючи поступово свого граничного значення при $d \gg \frac{1}{(\mu + \sigma)}$, який дорівнює

$$I_{1m} = \frac{e \alpha \beta \mu N_0}{(\mu + \sigma)} \quad (7)$$

2) У випадку зворотного освітлення при вбиранні $dN = -\mu N dx$ квантів і, отже, при збудженні $\alpha \mu N dx$ фотоелектронів, до поверхні

дійде тільки число електронів пропорціональне $\alpha \mu N dx e^{-\sigma(d-x)} = \alpha \mu N_0 e^{-\sigma d} e^{-(\mu-\sigma)x} dx$ (гранична умова: при $x=0$; $N=N_0 = I_0/h\nu$). Отже, при врахуванні коефіцієнта проходження β (5), зовні вийде:

$$dn_2 = \alpha \beta \mu N_0 e^{-\sigma d} e^{-(\mu-\sigma)x} dx. \quad (8)$$

Інтегрування (8) дає повний фотострум, який при зворотному освітленні дорівнює

$$I_2 = \frac{e \alpha \beta \mu N_0}{(\mu-\sigma)} \left[e^{-\sigma d} - e^{-\mu d} \right], \quad (9)$$

і цей зворотний фотострум має максимум I_{2m} при товщині шару, що дорівнює

$$d_m = \frac{\ln \mu/\sigma}{(\mu-\sigma)} \quad (10)$$

Для приблизного усунення багатьох, не досить відомих нам факторів, може бути доцільним використання відношення прямого фотоструму (6) до зворотного (9), себто

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{(\mu-\sigma)}{(\mu+\sigma)} \frac{[1 - e^{-(\mu+\sigma)d}]}{[e^{-\sigma d} - e^{-\mu d}]} \quad (11)$$

Рівняння (1), (10), і (11) і можуть бути використані, в першу чергу, для розв'язання поставленого нами завдання, себто для визначення коефіцієнта вбирання світла μ і збуджених усередині катоду електронів δ , при рівних довжинах хвилі випромінювання λ . Це дає нам змогу з'ясувати розмір ефективної зони, де відбувається вбирання випромінювання $1/\mu$, оцінити значення ефективних пробігів збуджених фотоелектронів $1/\sigma$, місцеположення основної зони їх збудження і т. ін. Для цієї мети слід виготувати фотоелемент з деякими змінним, але відомим нам наперед подовжнім розподілом товщини шару $d=f(x)$ і вимірити на ньому розподіл вбирання світла і фотоструму з обох боків³ при опромінюванні монохроматичним світлом з різною довжиною хвилі λ . Після виконання наведеного вище аналізу явища таке завдання і було нами експериментально поставлене; перейдімо до викладу деяких одержаних нами попередніх результатів цих експериментів.

Для виконання вказаних вимірів були виготовлені спеціальні фотоелементи, на стінку яких була нанесена випаруванням, у вакуумі, у вигляді довгого, поступово зникаючого одно-та двосто-

³ Н. Хлебников и Н. Зайцев. Ж. Т. Ф., 1939 г.

роннього клина, маленька кулька сурми. Одержаний при цьому шар був потім цілковито оброблений у парі цезію при відповідній температурі, до одержання нормальної fotocутливості по всій поверхні. Контакт з фотошаром здійснюється за допомогою двох, розташованих паралельно шарів на внутрішній поверхні скляного балону, платинованих смужечок, щоб запобігти можливному впливу подовженого опору шару катоду. Практично точечне джерело металічної сурми (кулька з масою M) містилося на відстані a по перпендикуляру від досліджуваного шару; через те розподіл товщини шару сурми d' уздовж клина на різних відстанях від його центру буде задаватися виразом

$$d' = \frac{M}{4 \pi a^2 \rho} \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{x}{a}\right)^2\right]^{3/2}} \quad (12)$$

де ρ — щільність сурми. Через те, що після одноманітної проробки в парі цезію цей шар сурми повинен «розбухати» скрізь в однаковій мірі, — і розподіл по товщині остаточно одержаного сурмяно-цезієвого ($Sb - Cs$) шару буде задаватися однотипним (12) виразом

$$d = \frac{d_0}{\left[1 + \left(\frac{x}{a}\right)^2\right]^{3/2}} \quad (13)$$

Для з'ясування абсолютного значення величини d_0 , що входить до (13), можна скористатися якимсь іншим, незалежним методом; для цього ми скористалися з того, що, як уперше встановив у нашій лабораторії П. Г. Борзяк, у тонких $Sb - Cs$ -шарах можна спостерігати звичайну інтерференційну картину. При спостереженні цієї картини на відбиття в монохроматичному світлі, в напрямку зростання величини d від найменших її значень, ми бачимо спочатку безперервний світлий край клина, що переходить потім у послідовний ряд темних інтерференційних смуг, які нормально переміщуються зі зміною довжини хвилі λ . З цієї картини випливає, що показчик заломлювання $Sb - Cs$ -шару n , який міститься на склі, лежить у наступних границях: $1 < n < n_0$, де n_0 — показчик заломлювання скла, бо втрата напівхвилі при відбитті від передньої і задньої сторін стінок $Sb - Cs$ -шару тут не відбувається.

Таким чином, товщина $Sb - Cs$ -шару в місці перебування 1-ої, 2-ої, 3-ої і т. д. темних інтерференціальних смуг буде дорівнювати

$$d_k = (2k - 1) \frac{\lambda}{4n}, \quad \text{де } k = 1, 2, 3, \dots \quad (14)$$

Таким чином ми й могли визначити постійну d_0 з (13) за величиною товщини шару, наприкл. в місцеположенні 1-ої темної інтерференційної смуги з (14), після чого використання форм. (13) і дало нам

можливість визначити товщину шару в будьякому місці клина⁴. Однак, для цього треба було знати абсолютне значення величини n , яка входить у (14), для чого необхідно було з'ясувати попередню значення величини n_0 для використаного нами для балонів ламп хімічного скла № 23. Через відсутність цих даних у нас, значення n_0 було встановлено з досліду за допомогою рефрактометра Аббе, у наслідку чого було одержано значення $n_0 = 1,5173 \approx 1,52$ (для $\lambda = 589 \text{ м}\mu$). Звідси з цілком достатньою для нас точністю ми припустили, що $n \approx 1,4$; можна показати, що можливі відхилення від цього значення повинні, при врахуванні реальних умов експерименту, дуже мало позначитися на всіх дальших висновках.

Як один із прикладів, розгляньмо вбирання світла в клиноподібному шарі чистої металічної сурми до обробки її цезієм, де визначився розподіл оптичної прозорості уздовж цього клина для білого світла, за допомогою сульфідно-срібного вентиляного фотоелементу Гейхман.

Результат цього виміру представлений на рис. 1, де на осі абсцис відзначена відстань від центру клина x , а по осі ординат сила струму в колі фотоелементу пропорційна до прозорості шару, себто до інтенсивності світла, що пройшло крізь шар. На цьому рисунку звертає на себе увагу помітний злам кривої прозорості в ділянці $x \approx 30 \text{ мм}$, де навіть на око помітна границя між двома різними фазами шару сурми⁵. Слід мати на увазі, що з'явлення



Рис. 1.

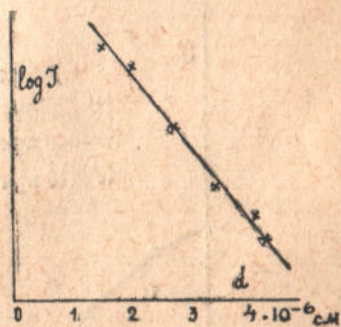


Рис. 2.

⁴ Часткове поглинання хвилі, відбитої від задньої грані клина, зміщує трохи положення, напр., 1-ої темної інтерференційної смуги. Однак, як можна показати, це зміщення дуже невелике: напр. для $\lambda = 630 \text{ м}\mu$, $\mu = 8 \cdot 4 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$ і $n = 1,4$, воно одержується не при $d_1 = \frac{\lambda}{4n} = 1125 \text{ \AA}$, а при $d = 0,94 \frac{\lambda}{4n} = 1060 \text{ \AA}$.

⁵ С. Векшинский — Ж. Т. Ф., 1940 г.

цієї границі зв'язане з різними прозоростями цих фаз, а не, скажімо, з різкою зміною товщини шару сурми в даному місці, бо, наприклад, після проробки шару в парі цезію ця границя цілком зникає, і всі фізичні властивості очутленого шару міняються в даному місці цілковито безперервно (див. нижче). Якщо згадати, що прозорість шару міняється з товщиною відповідно (1), а остання для чистої сурми може бути визначена на підставі (12), то можна побудувати напівлогарифмічний графік $\log L=f(d)$ для даних рис. 1, представлений на рис. 2; з похилості одержуваної тут прямої ми знаходимо, що пересічний коефіцієнт вбирання білого світла в металічній сурмі дорівнює $\mu = 7,1 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$.

Як уже вказувалося вище, суть наших основних вимірів полягала у визначенні оптичної прозорості, прямого і зворотного фотоелекту уздовж нашого клиноподібного катоду при різних довжинах хвилі падаючого монохроматичного випромінювання λ ; оскільки це виявилось можливим, виміри оптичної прозорості і будьякого з фотоелектів провадилися одночасно. Конструкція експериментальних ламп була описана вище. Монохроматичне випромінювання здобувалося від ламп розжарювання, за допомогою світлосильного монохроматора Лейса зі скляною оптикою; виміри робилися для довжини хвилі $\lambda = 420, 490, 560$ і $630 \text{ м}\mu$, де можливе одержання фотоелекту $Sb-Cs$ -катоду. Для визначення відносної інтенсивності світла, що пройшло через шар у вимірах прозорості $Sb-Cs$ -клина, служили: для $\lambda = 420$ і $490 \text{ м}\mu$ — вакуумний сурм'яно-цезієвий фотоелемент нашого виготовлення, а для 560 і $630 \text{ м}\mu$ — вентильний сульфідно-срібний фотоелемент Гейхмана.

Типова група кривих оптичної прозорості сурм'яно-цезієвого клина для різних λ представлена на рис. 3, де на осі ординат у різ-

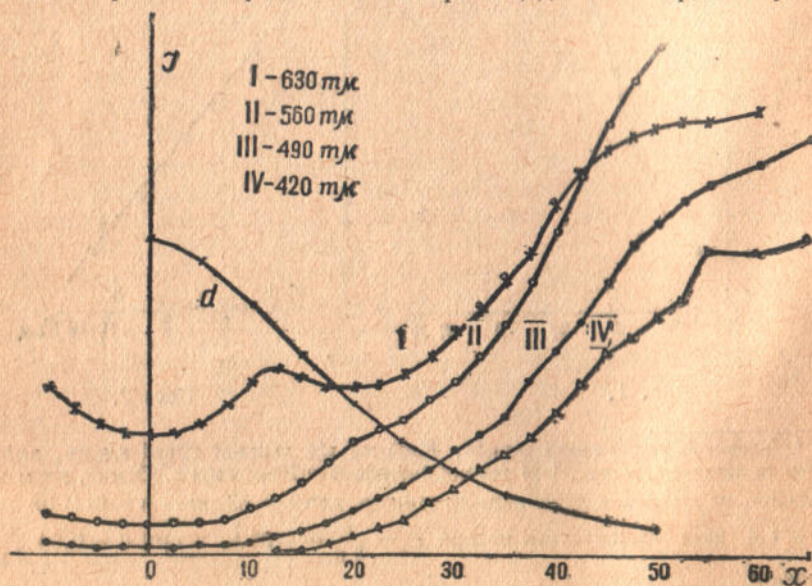


Рис. 3.

них масштабах відкладені сили струму у вказаних фотоелементах, які служили індикатором інтенсивності випромінювання L , що пройшло крізь $Sb = Cs = \text{шар}$; тут же представлена крива розподілу товщини цього шару уздовж клина $d = f(x)$, визначена вказаним вище способом. При розгляді кривих оптичної прозорості рис. 3 звертають на себе увагу слідуючі обставини:

1. Відносна крутість цих кривих прозорості і величина середньої непрозорої зони зростають зі зменшенням довжини хвилі випромінювання λ . Якщо скористатися форм. (1), то можна побудувати напівлогарифмічну пряму $\log L = f(d)$, і за її похилістю встановити значення коефіцієнта вбирання μ для різних λ . Встановлені таким чином значення; μ представлені в таблиці 1. Ці дані з повною ясністю

Таблиця 1

λ м μ	μ см $^{-1}$	$1/\mu$ см	k	x_m	d_m Å	σ см $^{-1}$	$1/\sigma$ см	$h\nu$ е.	$\Delta\varepsilon$ е.
630	$8.4 \cdot 10^4$	$1.2 \cdot 10^{-5}$	0,42	12,5	1100	$1,0 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	1,96	0,31
560	$1.5 \cdot 10^5$	$6,7 \cdot 10^{-6}$	0,67	20,0	740	$1,5 \cdot 10^5$	$6,7 \cdot 10^{-6}$	2,20	0,55
490	$2.7 \cdot 10^5$	$3,7 \cdot 10^{-6}$	1,05	32,5	350	$3,1 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^{-6}$	2,52	0,87
420	$4.1 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^{-6}$	1,37	37,5	250	$4,2 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^{-6}$	2,94	1,29

кількісно підкреслюють той якісно встановлений у нас Борзяком⁶ факт, що оптичне вбирання $Sb-Cs$ -катода безперервно зростає при зменшенні довжини хвилі падаючого випромінювання у всій видимій ділянці спектру.

Узагалі ж вбирання випромінювання тут дуже сильне, бо наприклад, індекс вбирання досягає тут, як видно з таблиці 1,

$$k = \frac{\mu \lambda}{4\pi} \quad (15)$$

значень відповідних до металічного поглинання.

2. На рис. 3 при $x=12,5$ спостерігається з'явлення якогось місцевого максимуму оптичної прозорості для кривої, яка відповідає $\lambda=630$ м μ , при відсутності його для інших трьох λ , де криві мають цілком регулярний характер; це явище якісно спостерігалось у всіх використаних нами ламп. Причина цього видається зовсім незрозумілою, бо ані явища інтерференційного характеру, ані фізична неоднорідність не можуть, нібито, привести до наявності цього ефекту тільки для однієї довжини хвилі. Але слід відзначити, що, як буде видно нижче, це явище супроводжується іноді також і деякою аномалією прямого фотоструму при 630 м μ приміром у цьому же місці клина; таким чином, питання про причину цих явищ лишається покищо неясним.

3. Нарешті треба відзначити, що, як показує підрахунок, відбиття випромінювання на границях між окремими середовищами дуже незначне, і не може внести помітного викривлення в одержані тут наслідки.

Перейдімо тепер до викладу даних про вимір фотоелектричного струму з обох боків катода, для зазначених вище чотирьох довжин

⁶ П. Борзяк — ДАН, 1941 г.

хвиль λ , при точному збереженні однаквості умов освітлення катоду; одержані тут результати наведені на рис. 4, 5, 6, і 7,

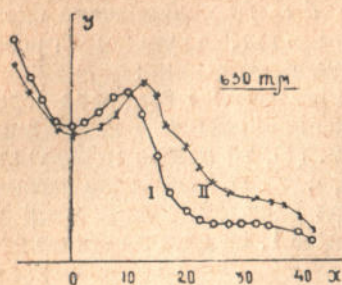


Рис. 4.

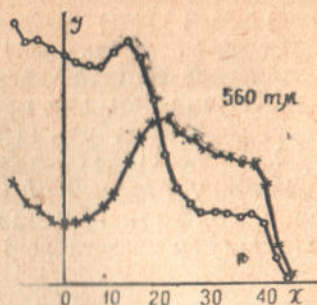


Рис 5.

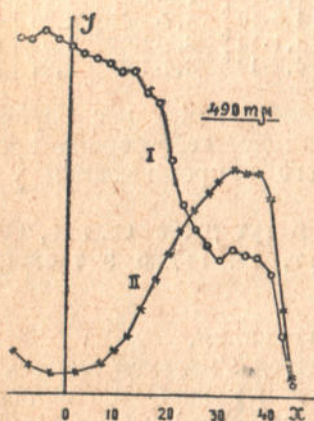


Рис. 6.

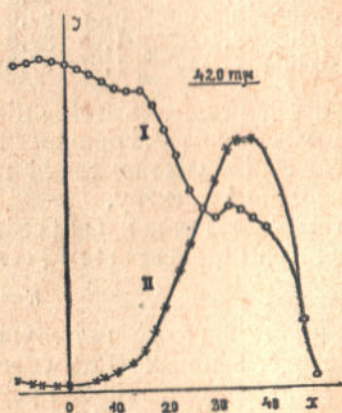


Рис. 7.

де криві I відносяться до прямого фотоефекту, а криві II — до зворотного. Аналіз цих кривих показує нам таке:

1. У повній згоді з форм. (9) і (10), зворотний фотострум I_2 , при зміні товщини клина d , проходить через максимум, положення якого x_m і відповідна до цього положення товщина шару d_m представлені в табл. 1. Ми звертаємо увагу на той факт, що, в міру зменшення довжини хвилі, положення цього максимуму x_m переміщується в бік що разу менших товщин клина d_m .

2. Фотострум з прямої сторони I_1 , у протилежність до теоретичних форм. (6) і (7), не завжди монотонно зростає, зі збільшенням товщини клина d , до якогось граничного значення I_{1m} , по (7). Найчастіше ця тенденція, що збігається з теорією, проявляється при освітленні фотокатоду випромінюванням з короткими довжинами хвиль λ . Навпаки, для довгих хвиль і, зокрема, для 630 $m\mu$ (рис. 4), спостерігається з'явлення місцевого максимуму, себто ця анома-

лія з'являється неначе одночасно з указаною вище аномалією оптичної прозорості, хоч треба відзначити, що зворотний струм I_2 у цих же умовах поводить себе порівнююче нормально; це питання, як вже зазначалося, лишається неясним і вимагає дальшого дослідження і з'ясування.

3. У міру зменшення товщини клина d , у повній згоді з форм. (11), відношення обох фотострумів I_1/I_2 прагне до одиниці; це, знов таки, чіткіше виявляється для коротких довжин хвиль. Дорівнювання одиниці відношення свідчить про те, що, в цих умовах, як ефективний пробіг квантів $1/\mu$, так, особливо, і ефективний пробіг електронів $1/\sigma$ перевищує тут товщину шару катоду d , та що розподіл напрямків початкових швидкостей фотоелектронів порівнюючи ізотропний по напрямку і проти напрямку квантів випромінювання, що падають на фотокатод.

Перейдімо зараз до деяких попереднього характеру висновків, які можна зробити з наведеного тут експериментального матеріалу, що вимагає, безсумнівно, дальшого поширення і уточнення.

Як уже зазначалося, із значення коефіцієнтів вбирання випромінювання μ , наведених у табл. 1, треба зробити висновок, що основна частина його вбирання відбувається у досить тонкій зоні коло самої поверхні, на глибині порядку $1/\mu \approx 10^{-5} - 10^{-6}$ см, при чому величина μ сильно зростає зі зменшенням довжини хвилі у всій видимій ділянці спектру. Далі, за цими значеннями величини μ і за знайденим із вимірів зворотного фотоелектру значення величини d_m (табл. 1), можна, на підставі форм. (10), встановити значення коефіцієнту вбирання збуджених фотоелектронів σ усередині шару катоду для різних довжин хвиль, наведених також у табл. 1. При цьому виявляється, що основна зона, звідки виникають фотоелектрони, які виходять зовні, себто які зберігають початкову енергію $\epsilon_0 \geq x$, теж має ефективну товщину $1/\sigma$ порядку $10^{-5} - 10^{-6}$ см. Однак характер зміни величини σ , або її зворотної $1/\sigma$ з довжиною хвилі λ несподівано виявляється протилежним тому, що, взагалі кажучи, треба було б тут чекати, а саме: виявляється, що зі зменшенням величини λ коефіцієнт вбирання фотоелектронів σ зростає за своєю величиною. Незвичайність цього результату полягає в тому, що зі зменшенням λ зростає початкова енергія ϵ_0 , з якою, згідно (3), збуджений електрон залишає заборонену зону і вступає в зону провідності нашого напівпровідникового катоду; за рахунок цієї енергії електрон і повинен компенсувати всі енергетичні втрати всередині катоду і зовнішню роботу виходу x . Через те, що при зменшенні λ , згідно (3), зростає величина ϵ_0 , слід було чекати, що, маючи чимраз більший запас початкової енергії, електрон без утрати здатності вийти на зовні може при цьому витрачати чимраз більшу кількість зайвими енергії $\Delta\epsilon = (h\nu - h\nu_0)$ на компенсацію внутрішніх втрат, себто виходити при цьому з чимраз більших глибин; при цьому величина σ повинна була б теж зменшуватися, а не зростати, як це показує табл. 1. Значення $\Delta\epsilon$ наведені в останній колоні табл. 1 з урахуванням того, що червоний поріг фотоелектру у Sb - Cs -катоду $\lambda_0 \approx 750 m\mu$. Справді, у випадку великих енергій електронів коефіцієнт σ наближено зворотно пропорційний квадратові енергії, себто ця залежність

протилежна за своїм характером виявленій для дуже повільних електронів у нашому випадку. У даний час трудно сказати щось певне відносно цього виявленого тут незвичайного характеру кінетики руху збуджених фотоелектронів усередині катода, і через те це питання слід лишити покищо відкритим до того часу, поки додаткові експерименти дадуть нам вичерпливі щодо повноти дані відносно всієї цієї групи явищ.

Експериментальна частина даної праці була виконана у відділі електровакуумних процесів Інституту фізики Академії Наук УРСР у Києві. Автор з щирою вдячністю відзначає, що його незмінним співробітником при виконанні всіх цих вимірів був П. Г. Борзяк, а всі експериментальні лампи були дуже ретельно виготовлені Н. Я. Карханіною.

Чл.-корр. АН УССР Н. Д. МОРГУЛИС

ОПТИЧЕСКИЕ И ФОТО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУРЬМЯНО-ЦЕЗИЕВЫХ КАТОДОВ

РЕЗЮМЕ

Изучение оптических и фото-электрических свойств сурьмяно-цезиевых катодов производилось путем исследования оптической прозрачности, прямого и обратного фото-эффекта для разных длин волн излучения λ , для клиновидного катода, имеющего непрерывно изменяющуюся толщину; результаты этих измерений, имеющие пока предварительный характер, приведены на рис. 3, 4, 5, 6, 7. Произведенный в настоящей работе расчет дает возможность, на основании этих экспериментальных данных, определить коэффициенты поглощения внутри материала катода падающих на него квантов излучения — μ и возникающих в нем фотоэлектронов — σ для разных длин волн λ ; эти данные приведены в табл. 1. Из рассмотрения этой таблицы видны получаемые подобным путем порядки этих величин μ и σ или им обратных, эффективных путей поглощения, а также и то, что обе эти величины μ и σ растут с уменьшением длины волны падающего излучения λ .

N. D. MORGULIS

Corresponding member of the Academy.

OPTICAL AND PHOTO-ELECTRICAL PROPERTIES OF THE ANTIMONY—CAESIUM CATHODES

SUMMARY

The study of the optical and photo-electrical properties of antimony-caesium cathodes has been carried out by means of investigation of the optical transparency of the direct and of the reverse photo-effects for different wave lengths of the radiation λ , for the V-shaped cathode having a continuously varyinig thickness.

The results of these measurements having as yet a preliminary character are cited on fig. 3, 4, 5, 6 and 7. The calculation made in this work on the basis of these experimental data enables to determine the absorption coefficients inside the cathode material of the radiation quanta μ and of the photoelectrons σ arising inside of it, for different wave lengths λ ; these data are cited in table I. From the examination of this table the orders of the values of μ and σ , or of the effective lengths of absorption are seen, as well as the fact that the both values μ and σ are rising with the decrease of the wave length of the radiation λ .

Докт. фіз.-мат. наук Г. Д. ЛАТИШЕВ

ВЗАЄМОДІЯ ЖОРСТКОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З РЕЧОВИНОЮ І γ -СПЕКТРОСКОПІЯ ЯДЕР

При радіоактивному розпаді ядро випромінює α -частку або електрон (позитрон), залишаючися після розпаду в збудженому стані, перехід з якого до нормального супроводжується випромінюванням одного або декількох квантів. Знання спектрального складу γ -випромінювання ядра разом з даними про спектри α -частинок або електронів (позитронів) дає змогу збудувати повну систему енергетичних рівнів ядра.

γ -спектроскопія в проблемі вивчення якостей атомного ядра посідає, примірко, таке ж місце, як спектроскопія атомових і молекулярних спектрів у проблемі вивчення якостей атома і молекули.

Вирішуючи питання, зв'язані з γ -випромінюванням ядер, потрібно знати такі величини: 1) енергію випромінюваних квантів, 2) інтенсивність ліній, 3) мультипольність випромінювання, тобто характер енергетичного переходу в ядрі, з яким зв'язане дане випромінювання.

Безпосередніх методів дослідження γ -випромінювання нема. І про спектральний склад γ -випромінювання ми дізнаємося, досліджуючи вторичні явища, які виникають через вплив γ -проміння на атоми речовини.

Нині відомі чотири механізми взаємодії жорсткого γ -випромінювання з речовиною: 1) взаємодіяння зі зв'язаним електроном (фотоефект і внутрішня конверсія); 2) взаємодіяння з вільним електроном (комптон-ефект); 3) конверсія γ -кванта в електричному полі ядра з утворенням пари електрона і позитрона (тут розрізняють зовнішню і внутрішню конверсії γ -проміння з утворенням пар); 4) ядерний фотоефект (виривання γ -квантом важких частинок з ядра).

Не вважаючи на велику різноманітність явищ, які відбуваються при впливі γ -проміння на атоми речовини, до цього часу жодне з них не вивчене з такого боку, щоб, користуючися ним, можна було досить точно обміряти абсолютні або відносні інтенсивності ліній у спектрі γ -проміння.

Ймовірності усіх перелічених явищ залежать досить різко від енергії квантів. Тому, щоб визначити відносну інтенсивність двох γ -ліній із відношення кількості спостережених актів того

чи іншого елементарного явища, потрібно знати, як залежить ймовірність цього явища від енергії квантів:

Тепер ці залежності для окремих елементарних актів вираховано теоретично, виходячи з релятивістської квантової механіки¹.

Відома формула Клейна і Нішини дозволяє вираховувати ймовірність розсіяння квантів по вільних електронах, у залежності від енергії квантів. Бете і Гейтлер вираховували те саме для процесу утворення пари електрона й позитрона. Пізніше Егер і Холм уточнили ці розрахунки. Ймовірність фотоелектричного поглинання при різних енергіях квантів вираховували Холм, Букінгем і інші.

Найбільше застосування в γ -спектроскопії мають методи спостереження вторичних часток, що виникають у наслідок внутрішньої конверсії γ -проміння, тобто процесу, при якому енергія збуджених ядер безпосередньо, не проходячи крізь стадію γ -випромінювання, передається вторичним часткам. Гейтлер і Мотт збудували теорію внутрішньої конверсії γ -проміння на електронних оболонках атома і вираховували залежність коефіцієнта конверсії від енергії і мультипольності γ -випромінювання для різних оболонок атома.

Так само Егер і Холм збудували теорію внутрішньої конверсії з утворенням пари електрона й позитрона і вираховували залежність коефіцієнта конверсії від енергії мультипольності випромінювання для ядра з заряду 84 і ядер зарядом близьким до нуля.

Переконалися в справедливості висновків теорії перерахованих явищ, зокрема перевірити залежності ефективних розрізів від енергії квантів, спостерігаючи виникаючі вторичні частки, можна тільки в тому випадку, якщо обмірено відношення інтенсивності застосовуваних ліній. Але для цього потрібно переконатися на ділі в справедливості теоретичного закону, за яким з енергією квантів міняється ймовірність одного з перерахованих явищ.

Вихід із цього порочного кола можна знайти таким способом. В сучасний момент, завдяки точним обмірам коефіцієнта поглинання γ -проміння різних енергій в легких речовинах, коли поглинання цілком визначається комптон-ефектом, відомо, що формула Клейна і Нішини з великою точністю збігається з дослідом.

Для γ -проміння з енергією 2620 keV виміри Гаррента, Майтнер і Гупфельда, і особливо Гентнера, приводять до коефіцієнта поглинання в межах 3%, що перебуває в узгодженні з вирахованим за формулою Клейна і Нішини. Далі в працях Ріда і Лаурітсена з великою точністю були обміряні коефіцієнти поглинання монохроматичного штучного γ -проміння з енергіями від 200 до 600 keV і показано прекрасну погодженість з абсолютними значеннями коефіцієнтів поглинання, вирахованими з формули Клейна і Нішини.

¹ Наявна нині струнка квантова теорія випромінювання охоплює по суті тільки перші три ефекти. Ядерний фотоефект, сполучений з поведінкою важких часток в ядрі, цією теорією не розглядається.

Отже в інтервалі енергій від декількох сот до 3000 keV можна вважати встановленим, що залежність ймовірності комптон-ефекту від енергії квантів відома і збігається дуже точно з даними релятивістської теорії комптон-ефекта.

Тут слід відмітити ще й те, що з усіх перерахованих явищ, з теоретичної точки зору, комптон-ефект розсіяння кванта вільним електроном є найелементарнішим явищем. У всіх інших випадках до теорії істотно входять, ускладнюючи вираховування, такі фактори, як зв'язок електронів з атомами (фотоэффект) або збуджуючий вплив електричного поля ядра (утворення пар). Завдяки цьому релятивістська теорія комптон-ефекта має більше підстав, ніж теорія якого завгодно іншого явища, для того, щоб вважатися з теоретичного боку за бездоганну і, відповідно, за точнішу.

З цих міркувань ясно, що найточнішим і найвірогіднішим методом обмірів інтенсивності γ -ліній і наступної перевірки теорій фотоэффекту і утворення пар є метод обмірення кількості електронів віддачі вирваних кожною окремою γ -лінією-метод, застосований ще 1927 року Д. В. Скобельциним.

Орієнтовні дані для інтенсивності γ -ліній у спектрі γ -проміння RaC , що їх дали Елліс і Астон, засновані, правда—в неясній формі, на цих обмірах Скобельцина. Елліс і Астон визначили інтенсивність γ -ліній RaC , обмірюючи інтенсивність випускання фотоелектронів з товстої платівки важкої речовини, користуючися при цьому емпіричною кривою Грея для залежності коефіцієнта фотоелектричного поглинання від енергії квантів.

Застосований Еллісом і Астоном метод визначення інтенсивності ліній за почорнінням фотоплатівки електронами, вирваними з товстої платівки, навряд чи можна вважати за правильний з багатьох міркувань.

Емпіричну криву Грея підтверджували в галузі великих енергій Елліс і Астон порівнянням інтенсивностей спостережених ними ліній фотоелектронів з кількістю спостережених Скобельциним електронів віддачі для окремих ліній. Це було зроблено так. Вважаючи, що інтенсивність фотоелектронної лінії F пропорційна коефіцієнтові фотоелектричного поглинання τ й інтенсивності γ -ліній, тобто $F = k_1 \tau I$, де k — коефіцієнт пропорційності, а з другого боку кількість спостережених Скобельциним електронів віддачі R пропорційна коефіцієнтові поглинання зза комптон-ефекту σ і тій же інтенсивності γ -лінії, тобто $R = k_2 \sigma I$, де k_2 — також коефіцієнт пропорційності, — взявши їхні відношення $\frac{F}{R} = \frac{k_1 \tau}{k_2 \sigma} = k \frac{\tau}{\sigma}$, можна для кожної лінії вирахувати величину, пропорційну $\frac{\tau}{\sigma}$, а потім, знаючи $k = \frac{k_1}{k_2}$ и σ , вирахувати і τ . Коефіцієнт k можна вирахувати, якщо для якої-небудь одної γ -лінії було виміряно відношення F/R , а τ відоме з яких-небудь інших дослідів; σ вираховується за формулою Клейна і Нішини. Для м'яких γ -ліній τ може бути взято з обмірів поглинення жорсткого рентгенівського проміння. Одержані в такий спосіб значення τ для ряду γ -ліній дали задовільне згодження з кривою Грея.

Отже, підтвердивши криву Грея, Елліс і Астон, користуючися з неї, визначили з тих же дослідних даних інтенсивностей фотоелектронного випускання інтенсивності γ -ліній, вважаючи $I = A F / \tau$, де $A = I / k_1$ коефіцієнт пропорційності, τ береться з кривої Грея.

Крім тих заперечень, які можна зробити щодо обмірів Елліса і Астона, слід ще додати, що обміри Скобельцина, бездоганні щодо обрання метода визначення інтенсивності ліній, неточні через малу кількість спостережених ним електронів віддачі. На весь спектр електронів віддачі γ -проміння RaC Скобельцин обмірив 400 путей у камері Вільсона, чого, безумовно, далеко не досить для більш-менш точного визначення інтенсивностей γ -ліній.

Одною з задач нашої лабораторії було розроблення такого методу, який дав би змогу обміряти точно інтенсивності γ -ліній RaC и $Th(C+C'')$ з енергіями більше 2 мс^2 по спектрах електронів віддачі і, користуючися з цих даних, перевірити весь комплекс різноманітних явищ, які трапляються під впливом жорсткого γ -проміння на атоми.

Підставою застосованого нами метода були: метод Даніша, фік-

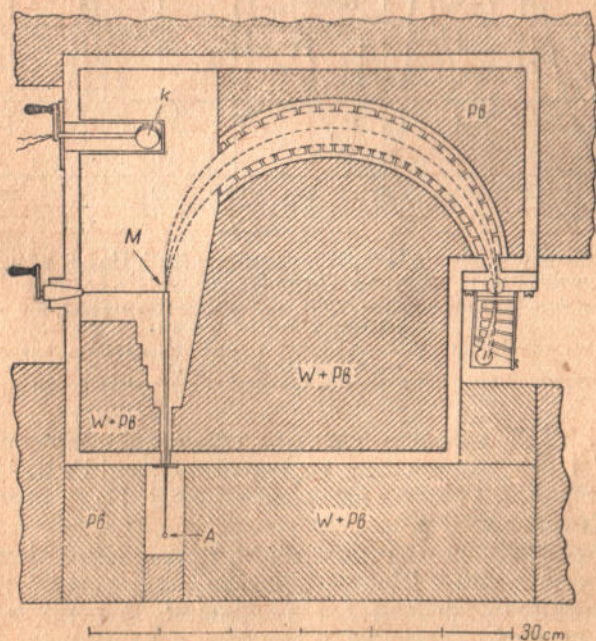


Рис. 1. Рисунок магнітного спектрографа. Розріз в площині, перпендикулярній до магнітного поля.

А—радіоактивне джерело. М—мішень, К—натушка для обмірювання магнітного поля, W+Pb—вольфрамовий захист лічильників від γ -проміння джерела.

сирування електронів поперечним полем і метод збігу розрядів у двох лічильниках Гейгер-Мюллера для реєстрації електронів (рис. 1). Такий метод обмірювання, а також старанний захист від безпосереднього впливу на лічильники від γ -проміння та від електронів, вирваних із стінок приладдя, дозволили застосовувати радіоактивні препарати великої активності (до 500 mC) і через це мати досить суворі геометричні умови і дуже тонкі джерела повторних електронів, які не перекручували справжнього кутового розподілу електронів віддачі і їхньої енергії.

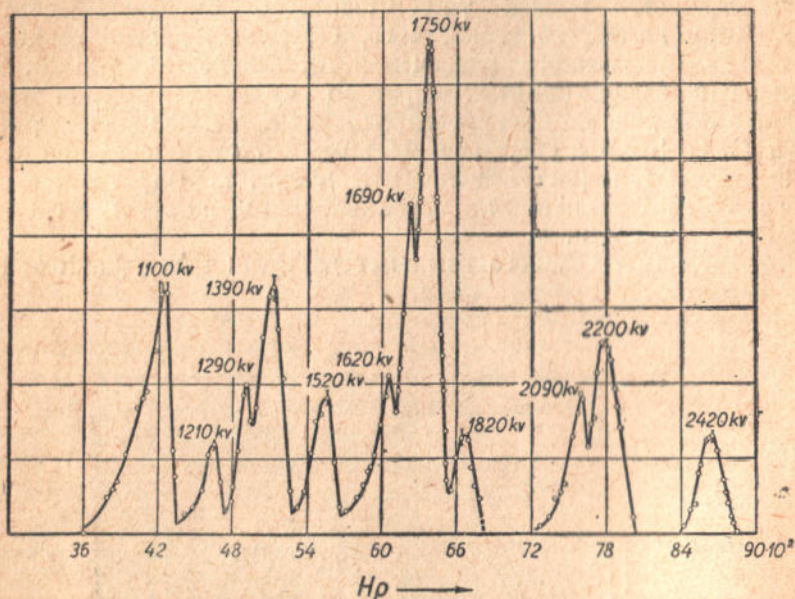


Рис. 2. Спектр електронів віддачі γ -проміння RaC . По осі абсцис відкладено N_p електронів віддачі, по осі ординат—кількість електронів віддачі. Площа кожного піка пропорційна кількості електронів віддачі, які утворилися від γ -квантів певної γ -лінії.

Цифри, поставлені біля вершини кожного піка, визначають енергію лінії в електрон-кіловольтях.

Вертикальні рисочки вказують статистичну точність точок кривої.

На рис. 2 і 3 наведені спектри електронів віддачі від γ -проміння RaC і активного осаду торію, досліджені Г. Д. Латишевим (1) і співробітниками. Спектри наведено в шкалі N_p з перерахуванням на рівні інтервали N_p .

В спектрах площі окремих піків пропорційні інтенсивностям відповідних γ -ліній. Щоб одержати остаточні інтенсивності γ -ліній, потрібно зробити дві поправки: 1) поправку на спектральний розподіл електронів віддачі в залежності від енергії квантів і 2) поправку на багато-разове розсіяння комптонівських електронів в речовині платівки, в якій вони зароджуються, коли проходить крізь неї пучок γ -проміння.

Ми зробили спеціальні розрахунки для умов нашого дослідження. На рис. 4 ординати кривої R дають число комптонівських електро-

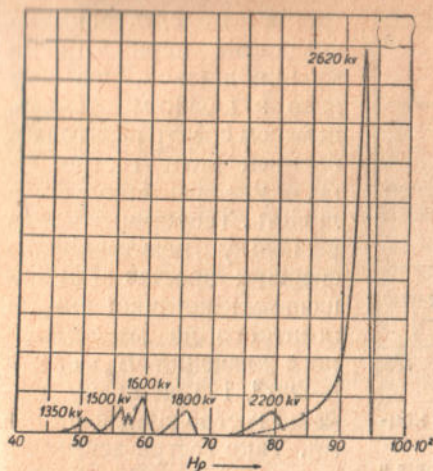


Рис. 3. Спектр електронів віддачі γ -проміння активного осаду торію.

По осі абсцис відкладено H_p електронів віддачі, по осі ординат — кількість електронів віддачі.

Площа кожного піка пропорційна кількості електронів віддачі, які утворилися від γ -квантів певної лінії.

Цифри, поставлені біля вершини кожного піка, визначають енергію γ -лінії в електрон-кіловольтах.

Статистична помилка точок кривої не перебільшує розмірів кружалець.

нів, які попали до лічильників збігу від одного кванта, що впав на платівку в залежності від його енергії. В цій кривій враховано також і багаторазове розсіяння комптонівських електронів.

Поділивши площі піків на відповідні ординати кривої R , одержимо числа, пропорційні інтенсивностям γ -ліній. Відношення поміж цими числами дають відносні інтенсивності γ -ліній в спектрах. Їх наведено в таблиці I і II.

Методом магнітного спектрографа було досліджено спектри позитронів внутрішньої конверсії γ -проміння з утворенням пари електрона і позитрона. На рис. 5 наведено спектр позитронів від γ -проміння RaC , досліджених А. І. Аліхановим і Г. Д. Латішевим (2), а на рис. 6 спектр позитронів від γ -проміння активного осаду торію, досліджений Аліхановим і Джеленовим (3). Спектри наведено в шкалі енергій з перерахунком на рівні інтервали енергій.

Розроблена Холмом і Єгером (4) теорія утворення пар внутрішньої конверсії γ -проміння дає змогу вирахувати спектр пози-

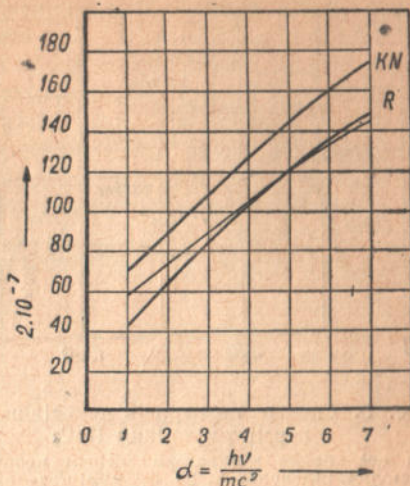


Рис. 4.

По осі абсцис відкладена енергія γ -кванта в одиницях mc^2 .

По осі ординат — кількість електронів віддачі, що попадають до лічильника від одного γ -кванта, який упав на мішень від джерела. Криві розраховані для геометрії магнітного спектрографа, рисунок якого наведено на рис. 1.

Крива KN враховує тільки спектральний розподіл електронів віддачі, як функцію енергії γ -кванта. У кривій R враховано також і багаторазове розповсюдження комптонівських електронів у речовині мішені.

Тонка крива характеризує роль багаторазового розсіяння щодо найжорсткішої лінії спектру RaC 2420 кеV. Її содержание через сполучення кривої KN з R у точці $\frac{hv}{mc^2} = 4,7$, відповідній γ -лінії 2420 кеV.

Інтенсивність γ -ліній одержується через ділення площ піків електронів віддачі на відповідні ординати кривої R .

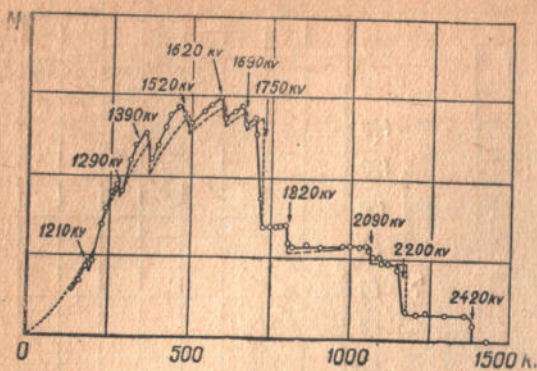


Рис. 5. Спектр позитронів внутрішньої конверсії γ -проміння RaC_2

По осі абсцис відкладена енергія позитронів в електрон-кіловольтях, по осі ординат—кількість позитронів.

Цифри, поставлені біля спадів, визначають енергію γ -лінії в електрон-кіловольтях, якій відповідає спад.

Пунктиром показано теоретичний спектр позитронів.

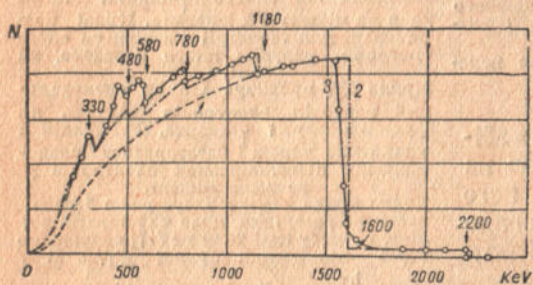


Рис. 6. Спектр позитронів внутрішньої конверсії γ -проміння активного осаду торію.

По осі абсцис відкладена енергія позитронів в електрон-кіловольтях, по осі ординат—кількість позитронів.

Цифри, поставлені біля спадів, означають енергію γ -лінії в електрон-кіловольтях, якій відповідає спад.

Пунктиром показано теоретичний спектр позитронів.

можна, користуючися з вираховань Холма і Єгера, збудувати спектр позитронів для кожної γ -лінії, а підсумовуючи всі спектри, одержати загальний теоретичний спектр позитронів, які утворилися від всіх ліній. Розраховані таким способом теоретичні спектри проведено пунктирними лініями на рис. 5 і 6. Той факт, що теоретичний і експериментальний спектри збігаються, доводить, що теорія Холма і Єгера дає правильний розподіл позитронів по енергіях.

Довівши це і користуючися з даних про інтенсивність γ -ліній,

тронів і електронів — компонент пари — причому виявляється, що для ядер з великим атомним номером спектр позитронів повинен мати гостро виявлену характерну особливість. Теоретична крива розподілу позитронів на енергіях зростає зі збільшенням кінетичної енергії позитрона до максимального значення $E_p = hv - 2mc^2$, і при цьому значенні гостро спадає до нуля. Така гостра асиметрія в розподілі позитронів по енергіях для важких ядер легко може бути зрозуміла з тих міркувань, що позитрон у кулонівському полі ядра зазнає сил відштовхування, а електрон, навпаки, сил притягання. Отже кожна γ -лінія в спектрі позитронів повинна виявлятися у вигляді спада при $E_p = hv - 2mc^2$.

Дійсно, такі спади виявлено в спектрі позитронів RaC і активного осаду торію і їхнє місцезнаходження на осі енергій відповідає значенням $E_p = hv - 2mc^2$. E_p — максимальна кінетична енергія позитрона, при якій спостерігається спад, якщо замість hv підставити енергію відомих γ -ліній RaC і активного осаду кривій периментальній торію. Обмірявши на екзвисочинь спаду,

розрахованих із спектра електронів віддачі, можна також перевірити теоретичну коефіцієнта, що дає залежність конверсії від енергії γ -проміння. Для цього з експериментальної кривої спектра позитронів розраховуються інтенсивності γ -ліній, припускаючи, що всі лінії квадрупольного походження і що теорія дає правильну залежність коефіцієнта конверсії від енергії γ -проміння. Розраховані таким способом із спектра позитронів інтенсивності γ -ліній порівнюються з інтенсивностями цих же γ -ліній, розрахованих із спектра електронів віддачі. Наслідки такого зіставлення для γ -проміння RaC наведені на рис. 7, а для γ -

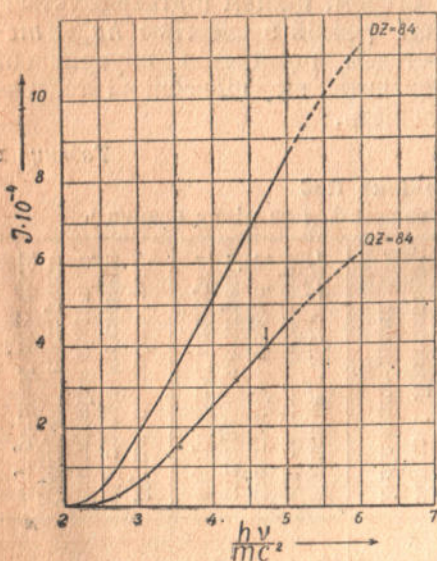


Рис. 7. $DZ=84$ та $QZ=84$ —теоретичні криві Єгера і Холма, відповідно для дипольних і квадрупольних переходів, розрахованих для атома з наснагою ядра $Z=84$.

По осі абсцис відкладена енергія кванта в одиницях mc^2 , по осі ординат—коефіцієнт внутрішньої конверсії γ -проміння з утворенням пар.

Кружальця означають експериментальні точки, нанесені на підставі даних таблиці 1.

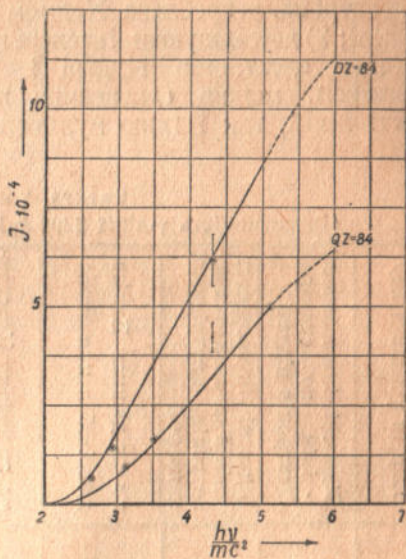


Рис. 8. $DZ=84$ та $QZ=84$ —теоретичні криві Єгера і Холма, відповідно для дипольних і квадрупольних переходів, розрахованих для атома з наснагою ядра $Z=84$.

По осі абсцис відкладена енергія кванта в одиницях mc^2 , по осі ординат—коефіцієнт внутрішньої конверсії γ -проміння з утворенням пар.

Кружальця означають експериментальні точки, нанесені на підставі даних таблиці 2.

проміння активного осадку торію на рис. 8. Експериментальні точки дуже добре лягають на теоретичні криві, чим і доводиться, що теорія Холма і Єгера дає правильну залежність коефіцієнта конверсії від енергії γ -проміння. На рис. 8 частина експериментальних точок лягла на криву квадрупольних переходів, а частинка — на криву дипольних переходів. З цього виходить, що не всі лінії в спектрі γ -проміння активного осадку торію квадрупольного походження, як ми припускали, а частина ліній — дипольного походження. Тому робимо висновок, що порівняння

інтенсивності ліній, розрахованих із спектра електронів віддачі і із спектра позитронів, дає змогу визначити і мультипольність γ -ліній, останні наведено в таблиці 1 і 2. Спеціальні обміри А. І. Аліханова і співробітників абсолютної величини коефіцієнта внутрішньої конверсії для γ -проміння з енергією 2620 keV показали, що знаходжувана дослідом абсолютна величина коефіцієнта конверсії $4-5 \cdot 10^{-4}$ добре погоджується з розрахунковою величиною $4,6 \cdot 10^{-4}$, яка виходить із теорії Холма і Єгера.

Резюмуючи сказане про спектри електронів віддачі і спектри позитронів, можна прийти до двох основних висновків: 1) теорія внутрішньої конверсії γ -проміння з утворенням пари електрона і позитрона, розроблена Холмом і Єгером, цілком підтверджується на ділі; 2) досліджуючи інтенсивності γ -ліній з енергією $h\nu > 2mc^2$ методом електронів віддачі і методом позитронів внутрішньої конверсії, можна однозначно визначити як відносні інтенсивності ліній, так і їхню мультипольність.

Таблиця 1

Спектр γ -проміння RaC

(Інтенсивність γ -лінії 2200 keV вважається за рівну одиниці)

Енергія γ -ліній в keV	Відносні інтенсивності γ -ліній по спектрах електронів віддачі.	Відносні інтенсивності γ -ліній по спектрах позитронів внутрішньої конверсії	γ за даними Елліса для k -оболонки атома	γ за даними Константінова і Латішева для k -оболонки атома	Мультипольність γ -ліній за даними спектра електронів віддачі і спектра позитронів внутрішньої конверсії	Мультипольність γ -ліній за даними спектра електронів віддачі і спектра електронів внутрішньої конверсії
2420	0,50	0,50	—	—	Квадрупольна	—
2200	1,00	1,00	$0,95 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	Квадрупольна	—
2090	0,37	0,35	—	—	—	—
1820	0,41	0,40	—	—	Квадрупольна	—
1760	2,42	2,40	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$	Квадрупольна	Квадрупольна
1690	0,40	0,40	—	—	—	—
1620	0,54	0,50	—	—	—	—
1520	0,71	0,70	—	—	Квадрупольна	—
1414	—	—	$25,2 \cdot 10^{-4}$	$34,5 \cdot 10^{-4}$	—	—
1370	1,19	1,20	$0,9 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	Квадрупольна	Квадрупольна
1290	0,44	0,45	—	—	—	—
1234	0,56	0,25	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	Квадрупольна	Квадрупольна
1120	2,41	—	$12,8 \cdot 10^{-4}$	$12,4 \cdot 10^{-4}$	—	Квадрупольна
606	—	—	$40 \cdot 10^{-4}$	$40 \cdot 10^{-4}$	—	—

У спектроскопії γ -проміння з енергією $h\nu < 2mc^2$ метод позитронів внутрішньої конверсії зовсім не можна застосовувати. Застосування ж методу електронів віддачі також зв'язане з великими експериментальними труднощами. Тому в цій галузі γ -спектроскопії найбільше застосування мають методи, засновані на спостереженні вторичних часток, які виникають через внутріш-

Спектр γ -променів активного осадку торію
(Інтенсивність γ -ліній 2620 keV вважається за рівну 100)

Енергія γ -ліній в keV	Відносні інтенсивності γ -ліній за даними спектроелектронів віддачі	Відносні інтенсивності γ -ліній за даними спектра позитронів внутрішньої конверсії. Вважається, що всі лінії квадрупольного походження	Мультипольність γ -ліній
2620	100	100	Квадрупольна
2200	5,05	10,0	Дипольна
1800	6,2	6,5	Квадрупольна
1600	10,0	11,0	Квадрупольна
1500	3,7	6,5	Дипольна
1350	3,6	10,0	Дипольна

ню конверсію γ -проміння на електронах атома. Ймовірність внутрішньої конверсії залежить як від енергії γ -проміння, так і від характеру енергетичного переходу в ядрі. Знаючи інтенсивності ліній, одержані шляхом спостережень електронів внутрішньої конверсії, і знаючи інтенсивності цих же ліній, розраховані з спектру електронів віддачі або спектру фотоелектронів, можна також однозначно вирішити питання як про інтенсивності γ -ліній, так і про їхню мультипольність.

До цього часу, не вважаючи на велику роботу, проведenu Еллісом, Астоном (5) і інш. у справі дослідження внутрішньої конверсії γ -проміння RaC , все ж не удавалося задовільно перевірити теорію цього явища, запропоновану Тейлором і Моттом (6). Більш того, дані Елліса і Астона про інтенсивності жорстких ($h\nu > 2m c^2$) ліній RaC і їхню мультипольність знаходяться в суперечності з нашими даними, одержаними з аналізу спектру електронів віддачі і спектру позитронів.

Маючи досконаліші дані про інтенсивності γ -ліній RaC , розрахованих із спектру комптонівських електронів, ми досліджували спектр електронів внутрішньої конверсії цього ж γ -проміння. Зіставляючи інтенсивності ліній, розраховані із цього спектру, з інтенсивностями цих же ліній, одержаних із спектра електронів віддачі, ми перевірили теорію внутрішньої конверсії γ -проміння на електронах атомів.

Дослідження натурального β -спектра RaC було виконано методом фокусування електронів у поперечному магнітному полі їх реєстрацією двома лічильниками Гейгера-Мюллера, які працювали на збіг. За джерело електронів була тонкостінна шкляна ампула, наповнена еманцією радію.

Через те, що обміри натурального β -спектру проводилися при дуже малому розходженні електронного пучка (3°), — електрони збирались у фокусі завширшки тільки в 0,4 мм, і таких розмі-

рів зроблено щільну в лічильнику. Отже треба було точно встановити джерело електронів у приладі. Це забезпечувалося тим, що ампулу закріплювали в рамці, яка могла переміщатися в приладі під час обмірів за допомогою мікрометричного гвинта, і таким

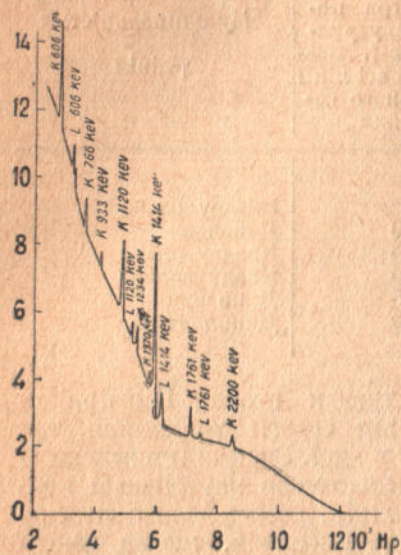


Рис. 9. натуральний β -спектр RaC в шкалі H_p .

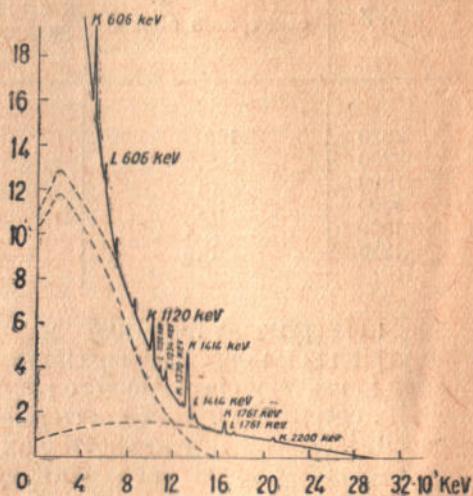


Рис. 10. — натуральний β -спектр в шкалі енергій.

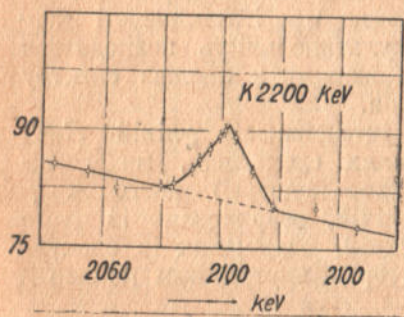


Рис. 11.

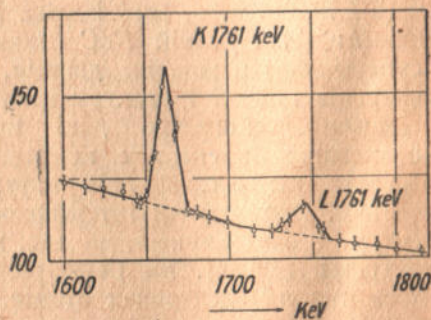


Рис. 12.

способом встановлюватися у фокусі спектрографа. При правильному становищі ампули, конверсійні електрони на суцільному тлі β -спектру з'являються у вигляді вузьких і дуже високих піків. Таке експериментальне удосконалення істотно поліпшило методику дослідження натуральних β -спектрів.

На рис. 9 наведена досліджена А. А. Константіновим і Г. Д. Латишєвим (7) експериментальна крива натурального β -спектру RaC в шкалі H_p (без перерахування на рівні інтервали H_p), та ж крива в шкалі енергій (перерахована на рівні інтервали енергій) наведена на рис. 10.

На рис. 11—15 наведені у великому масштабі окремі ділянки β -спектру RaC , де найвиразніше визначені конверсійні піки від окремих β -ліній.

Дослідження всього натурального β -спектру було виконане на одній ампулі, і зареєстровано величезну кількість електронів 5×10^6 , причому експериментальні точки знімалися через 1—2 keV.

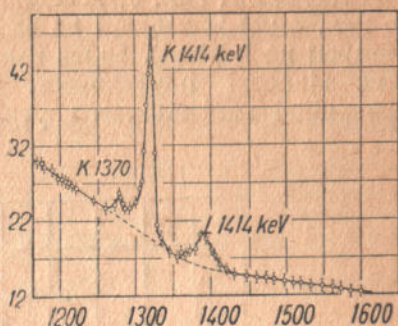


Рис. 13.

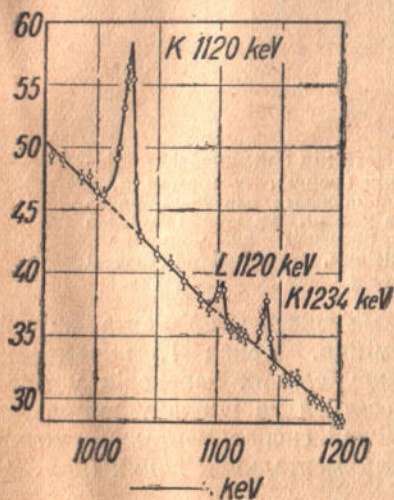


Рис. 14.

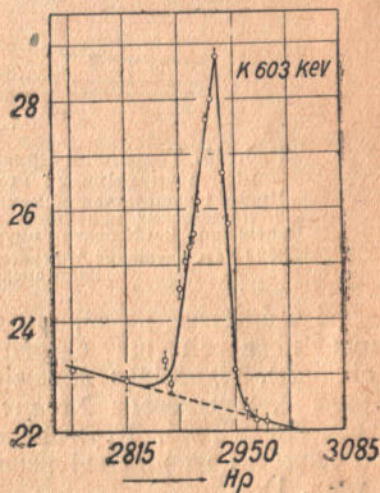


Рис. 15.

Ампула з джерелом електронів була дуже тонкостінна. Товщина відповідальних плівок на вікнах лічильника була не більша за 2—3 μ нітроцелюлози; потім цілий ряд вжитих нами засобів обережності щодо роботи лічильників, підсилювача, обмірювання магнітного поля тощо дозволяє нам вважати, що наведена крива натурального β -спектра RaC є тепер найдосконалішою і дуже близька до справжнього натурального β -спектра RaC .

Площа окремого конверсійного піка на рис. 11-15, очевидно, пропорційна кількості електронів конверсії від даної γ -лінії, тобто пропорційна добуткові з інтенсивності γ -лінії і коефі-

ціента її конверсії. Тому, якщо поділити площу кожного конверсійного піка на площу β -спектра RaC , то одержимо величини $p\alpha$, де p — відношення кількості квантів до загальної кількості розпадів, а α — коефіцієнт внутрішньої конверсії даної γ -лінії.

В таблиці 1, кол. 5, наведені значення $p\alpha$ за нашими даними, а в кол. 4 тої ж таблиці $p\alpha$ за даними Елліса ($p\alpha$ приведено для конверсії на k рівні). Якщо поділити значення $p\alpha$, наведені в кол. 5, на відносні інтенсивності γ -ліній, то одержимо величини, пропорційні коефіцієнтам внутрішньої конверсії. На рис. 16 на-

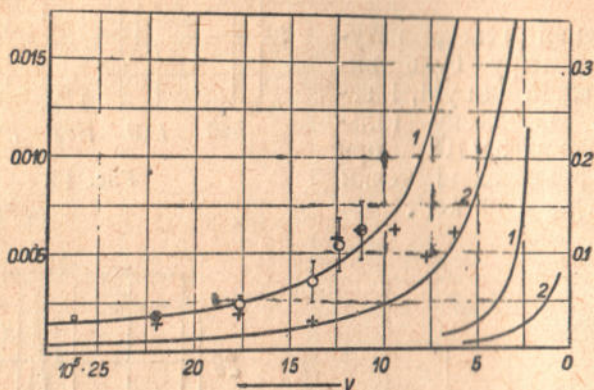


Рис. 16. Теоретичні криві, які дають хід залежності коефіцієнта внутрішньої конверсії від енергії γ -проміння. Крива 1 відноситься до випадку квадрупольних переходів у ядрі, крива 2—до випадку дипольних переходів у ядрі. Хрестиком одмічено значення коефіцієнта внутрішньої конверсії для γ -проміння 2620 keV , одержане Аліхановим і Нікітіним. Крузальцями означені наші експериментальні точки.

ведені теоретичні криві, які дають залежність коефіцієнта внутрішньої конверсії від енергії γ -проміння. Крива 1, вирахована Тейлором, відповідає випадкові квадрупольних переходів у ядрі. Крива 2, вирахована Холмом, відноситься до випадку дипольних переходів в ядрі. Крузальцем відмічені експериментальні точки, які нанесені на підставі наших експериментальних даних (кол. 2 і 5 табл. 1).

Порівнюючи $p\alpha$, одержані нами, з даними Елліса і Астона, найбільше розходження помічаємо для γ -лінії 1370 keV . Це розходження приводить до того, що, за даними Елліса і Астона, точка, відповідна лінії 1370 keV , лягає на криву дипольних переходів, тоді як за нашими даними вони лягають на криву квадрупольних переходів, що цілком погоджується з даними спектру позитронів.

Для ряду γ -ліній ми могли на підставі наших обмірів визначити конверсію на L оболонках. Не зупиняючись у даній статті докладно на цьому питанні, відмітимо, що поглинення на K оболонці складає приблизно 80% від цілковитого поглинення по всіх оболонках атома.

Тепер ми можемо вважати, що теорія внутрішньої конверсії, розроблена Тейлором і Моттом для важких ядер, підтверджується на досліді.

Література

- (1) Г. Д. Латишев, А. С. Компанієць, Н. П. Борисов і Н. Н. Гусак. Jour. of Phys. V, III, № 4—5, 251 (1940) ЖЭТФ, т. 10, в. 9—10, 908 (1940).
- (2) Г. Д. Латишев і Л. А. Кульчицький. ЖЭТФ, т. 11, в. 2—3, 200 (1941).
- (3) А. І. Аліханов і Г. Д. Латишев. ЖЭТФ, т. 10, в. 9—10, 985 (1940).
- (4) А. І. Аліханов і В. Дзелепов. ДАН СРСР, XX, 163 (1938).
- (5) I. G. Lager and H. Hulme. Proc. Roy. Soc. [A], 148, 705 (1935).
- (6) C. D. Ellis and M. A. Aston. Proc. Roy. Soc. [A] 129, 180 (1930).
- (7) H. N. Taylor and N. E. Mott, Proc. Roy. Soc. [A] 138, 665, (1932); 142, 215 (1933); 139, 369 (1933).
- (8) Г. Д. Латишев і А. А. Константинов у друкові ЖЭТФ Jour. of Phys.

Г. Д. ЛАТЫШЕВ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЖЕСТКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ И γ -СПЕКТРОСКОПИЯ ЯДРА

РЕЗЮМЕ

В нашей лаборатории исследование различных механизмов взаимодействия жесткого γ -излучения с веществом проводилось на протяжении целого ряда лет. Результатом этой многолетней работы будут следующие выводы.

Разработанный нами метод наблюдения электронов отдачи от жестких γ -лучей с помощью магнитного спектрографа оказался очень удобным в деле исследования спектрального состава γ -излучения. С помощью этого метода с большой точностью определены относительные интенсивности γ -линий в спектрах γ -лучей RaC и активного осадка тория. На основании этих данных и специальных исследований спектров позитронов и спектров электронов внутренней конверсии, проведенных нами, проверены теория внутренней конверсии γ -лучей с образованием пары электрона и позитрона и теория внутренней (электронной) конверсии. Выводы теории находятся в прекрасном согласии с данными опыта.

В процессе исследования различных элементарных актов взаимодействия жесткого γ -излучения с атомом разработаны методы исследования спектрального состава γ -излучения радиоактивных веществ.

Для исследования спектрального состава жестких γ -лучей с энергией $h\nu > 2mc^2$ наиболее удобными методами надо считать методы, основанные на наблюдении электронов отдачи и позитронов внутренней конверсии. Если известны спектры комптонов-

ских электронов и спектры позитронов внутренней конверсии, то можно однозначно определить интенсивности γ -линий и их мультипольности, т. е. характер энергетического перехода в ядре, с которым связано излучение данной γ -линии.

Для исследования спектрального состава γ -излучения с энергией $h\nu < 2mc^2$ наиболее удобными методами надо считать методы, основанные на наблюдении электронов конверсии и электронов отдачи или фотоэлектронов. Если известен спектр электронов внутренней конверсии и спектр комптоновских электронов или фотоэлектронов, опять таки можно однозначно определить как интенсивности γ -линий, так и их мультипольности.

G. D. LATYSHEV,

Doctor of Physico-Mathematical Sciences

THE INTERACTION OF HARD RADIATION WITH THE SUBSTANCE AND γ -SPECTRA OF RADIOACTIVE BODIES

S U M M A R Y

During a period of years our laboratory has investigated various mechanisms of interaction of hard γ -radiation with substance. The result of this work yields the following conclusions:

the method we worked out for the observation of recoil electrons of hard γ -rays by means of a magnetic spectrograph, proved to be very convenient for investigating the spectral composition of γ -radiation.

By means of this, relative intensities of the γ -lines in the spectrum of γ -rays from *RaC* and of thorium active deposit were determined with greater accuracy.

The theory of internal conversion of γ -rays with the formation of electron and positron pair and the theory of internal (electron) conversion are verified by using as a basis these data and special analysis of positron spectra and internal conversion electron spectra made by us. The conclusions of the theory are in perfect agreement with the experimental data. In the process of analyzing various elementary acts of hard γ -radiation interaction with atom, method for the investigation of spectral composition of γ -radiation of radioactive substances were developed.

The method, based on the observation of recoil electrons and positrons of internal conversion, can be considered as most convenient for the investigation of the spectral composition of hard γ -rays with energy $h\nu < 2mc^2$. If the spectra of Compton electrons and those of internal conversion positrons are known, we thus can determine the intensity of the γ -lines and their multipolarity, i. e. the character of the energetical transition in the nucleus with which the radiation of the given γ -line is connected.

The most suitable methods for the investigation of the spectral composition of γ -radiation with energy $h\nu < mc^2$ can be considered the methods based on the observation of electrons of conversion and recoil or photoelectrons.

If the spectrum of internal conversion electrons and the spectrum of Compton electrons or photoelectrons are known, we can define the intensity of the γ -lines as well as their multipolarity.

Physico-Technical Institute,
The Academy of Sciences of the Ukrainian SSR.

З М І С Т

Стор.

Від редакції	3
Акад. В. А. Сельський — Значення розвідкових робіт у виявленні нафтоносних структур у БАРСР	5
Акад. П. П. Будніков — Ангидритовий цемент із гіпсів та ангидриту Башкирії і його використання у промисловості й комунальному будівництві	18
Акад. О. Н. Соколовський — До перегляду деяких основних положень інженерної геології та ґрунтознавства	34
Чл. - кор. Є. С. Бурксер і наук. співроб. В. В. Бурксер — Гідро-хімічні дослідження озер Кандри-Куль і Асли-Куль	47
Ст. наук. співроб. О. І. Спасокукоцький — Гідрологічне дослідження озер Кандри-Куль та Асли-Куль з метою виявлення лікувальних грязей та їх випробування	56
Ст. наук. співроб. О. Н. Нічкевич і проф. І. К. Половко — Радій в нафтосупровідних водах Ішімбаєвського і Туймазинського родовищ	78
Проф., доктор [С. І. Назаревич] — Якісна характеристика первинних каолінів домбаровського родовища	85
Акад. А. І. Бродський і наук. співр. Г. П. Міклухін — Застосування ізотопного методу до вивчення механізмів хімічних реакцій. (I). Канд. хім. наук І. А. Маколкин — Застосування ізотопного методу до вивчення механізмів хімічних реакцій (II).	95
Акад. А. І. Бродський і наук. співроб. Н. І. Дідусенко — Застосування ізотопного методу до вивчення механізму хімічних реакцій (III).	102
Канд. хім. наук І. А. Маколкин — Застосування ізотопного методу до вивчення механізмів хімічних реакцій. (IV).	109
Чл. - кор. АН СРСР І. В. Обреїмов — Вимірювання показників заломлення за допомогою Френелевої дифракції	115
Чл. - кор. С. С. Уразовський і канд. хім. наук Г. П. Полюцький — Новий метод збудження ультразвукових коливань і його практичне застосування	122
Проф. Я. А. Фіалков і наук. співр. К. С. Блейхман — Про промислове використання бокситів родовищ БАРСР і Південного Уралу	146
Чл. - кор. П. В. Головін, канд. техн. наук Б. Г. Савінов і наук. співроб. В. Б. Епштейн — Одержання полівітамінних екстрактів із плодів шипшини	162
Акад. М. В. Луговцов — Витоплення високоглиноземистих шлаків у великих доменних печах	176
Чл. - кор. І. Н. Францевич — Термічна обробка сталі «Е-16» і рекристалізація сталі «Е-16» і судносталі	185
Акад. Ю. В. Пфейфер — Нові шляхи досліджень у задачі Pfaff'a та інтегруванні рівнянь з частинними похідними	195
Чл. - кор. Є. Я. Ремез — Про побудування середньо-степеневих наближень в комплексній області	202
Чл. - кор. Н. Д. Моргуліс — Оптичні і фото-електричні властивості сум'яно-цезієвих кагодів	207
Докт. фіз.-мат. наук Г. Д. Латишев — Взаємодія жорсткого випромінювання з речовиною і γ -спектроскопія ядер	215
	226

CONTENTS

V. A. Selsky. The significance of Geophysical Prospecting concerning the Detection of Oil Bearing Structures in the Bashkirian A. S. S. R.	15
P. P. Budnikoff. The Anhydrite Cement out of the Cypsum of Bashkiria and its use in Industry and Communal Construction.	32
A. N. Sokolovsky. On the Revision of some Fundamental Conceptions of Soil Physics.	45
E. S. Burkser and V. V. Burkser. The Hydro—Chemical Investigation of the Lakes Kandy-Kul and Asly-Kul.	54
A. Spasokukotzky. Hydrogeological Investigation of the Lakes Kandy-Kul and Asly-Kul with Balneological purpose.	71
O. N. Nichkevich and I. K. Polovko. Radium in Oil-accompanying waters of Ishimbay and Tuymaza Oil fields.	84
S. I. Nasarevich. The qualitative characteristics of the Dombar primary Kaolin.	93
A. E. Brodsky and G. P. Miklukhin. The application of the isotopic method for the investigation of the mechanisms of chemical reactions. I. The mechanism of the Beckmann's Rearrangement.	100
I. A. Makolkin. The application of the isotopic method for the investigation of the mechanisms of chemical reactions. II. The mechanism of the reaction of alkali fusion.	107
A. E. Brodsky and N. I. Dedussenko. The application of the isotopic method for the study of the mechanism of chemical reactions. III. The mechanism of reaction of acid anhydrides with alcohol.	113
I. A. Makolkin. The application of the isotopic method for the study of the mechanisms of chemical reactions. IV. The reaction of Xanthogenization of Mercerization of Cellulose and the structure of Alkalicellulose.	120
I. V. Obreimov. The measurement of refractivity indices by means of Fresnel's diffraction phenomenon.	145
S. S. Urazovsky and I. G. Polozky. A new method of exciting ultra-vibrations and its practical use.	174
I. A. Fialkov and K. S. Bleichman. About the Industrial Use of Bauxites of Bashkirskaia A. S. S. R. and of the South Ural Lagers.	184
P. Golovin, B. Savinov and V. Epstein. Obtaining of polyvitamin extracts from brier fruits.	193
M. V. Lugovtsov. Smelting of Slags with High Alumina content in large Blast Furnaces.	201
I. M. Franzevich. Contribution to the Heat Treatment of Steel E-16 and to the the Recrystallization of Steel E-16 and of Ship-Steel.	205
G. V. Pfeiffer. New ways of researches in Pfaff's Problem and Integration of Partial Equations.	214
E. I. Remez. On the construction of Mean-Power Approximations in the Complex Domain.	224
N. D. Morculis. Optical and Photo-Electrical Properties of the Antimony—Caesium Cathodes.	240
G. D. Latyshev. The interaction of Hard Radiation with the substance and γ -spectra of Radioactive Bodies.	240

Здамо до складання 7/V 1943 р. Підписано до друку 6/V 1944 р. А7636. Тираж 2000.
Друк. арк. 15¹/₄. Ціна 12 крб.

Тип. ім. Мяги треста «Полиграфнінга» Офіса РСФСР, г. Куйбішев, ул. Венеція, 60.
Заказ № 786.



12 крб.