



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроніки та інформаційних
технологій



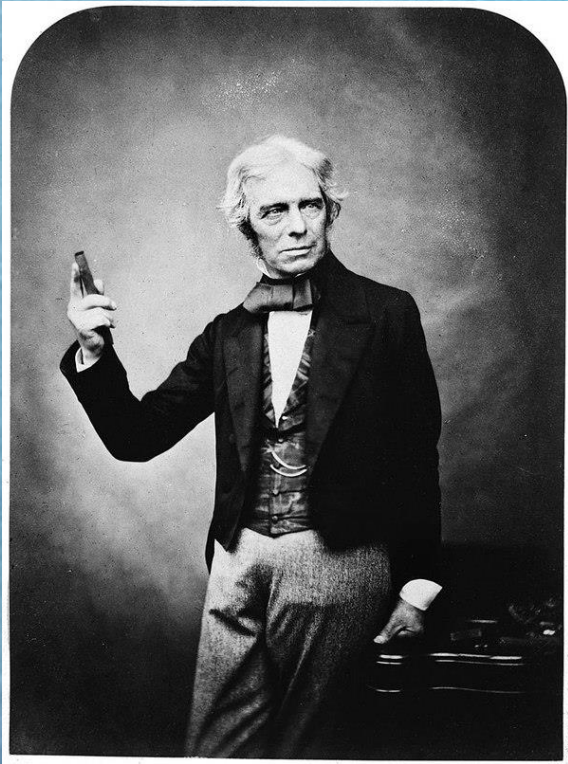
Технологія тонких плівок

Підготувала: доц. Шумакова Н.І.

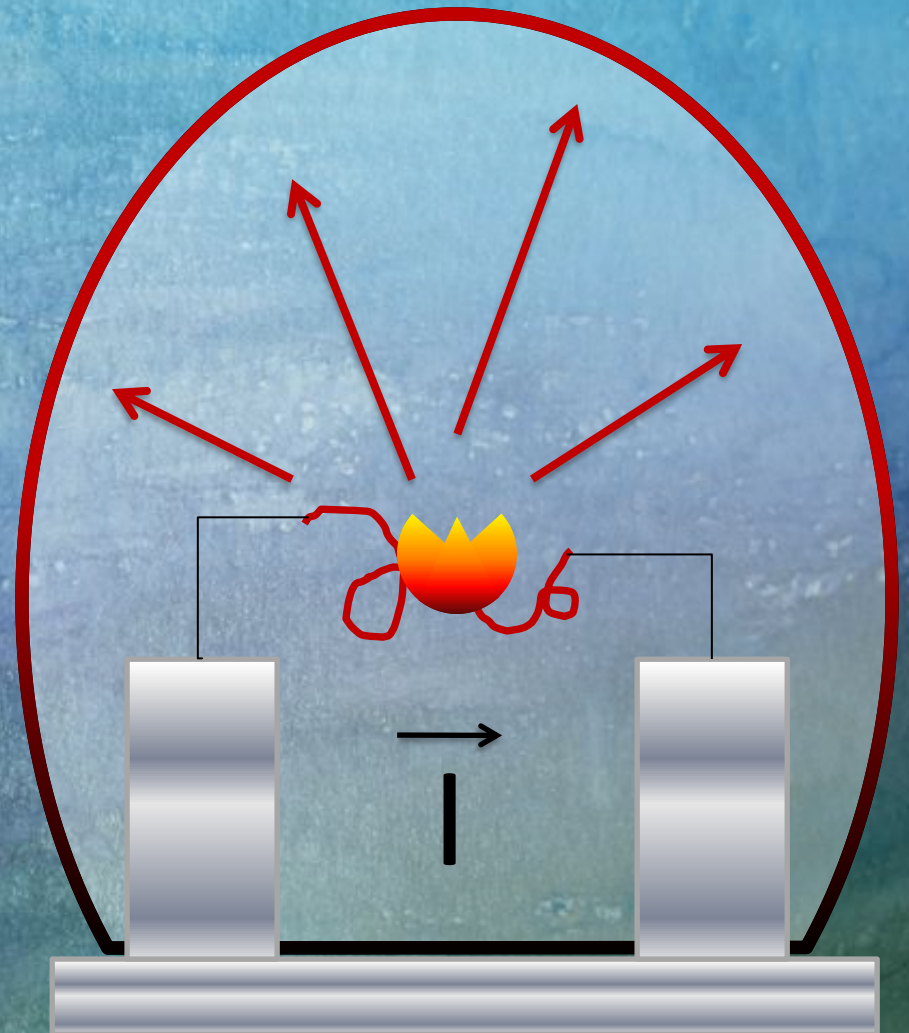


ВСТУП

1857 році Майкл Фарадей уперше отримав плівкові матеріали



Механізм руйнування тонких металодротів в інертній атмосфері, при пропусканні через них великих струмів



Плівкові матеріали класифікуються :

Вільна плівка



Плівка на підкладці



Двошарова плівка



Двошарова гранульована плівка



Тришарова система



Багатошарові системи загального типу



Мультишари



Конструкція випарників та їх застосування

*Для проведення процесу випарування металу у вакуумі необхідно мати випарник, який містить кусочок металу і підтримує необхідну температуру для досягнення швидкості конденсації від 0,1 до 103 А/с.

*Для більшості металів температура випарування має величину 1000-2000К (для тугоплавких металів від 2000 до 5500К).

*Матеріали які відповідають цим вимогам є тугоплавкі метали (W, Mo, Ta, Re та ін.), сплави на їх основі (Ta-Re) та їх окисли.

* Для одержання плівок тугоплавких металів необхідно використовувати електронно-променеві гармати.

Таблиця 1 - Основні параметри випарування легкоплавких металів

Речовина, що випаровується, та склад пари	Температура, К		Матеріал		Примітки
	T_s	при $p_{\text{П}}=1\text{Па}$	фольга, дріт	тигель	
Алюміній (Al)	932	1493	W	C, BN, TiB ₂ -BN	Легко змочує всі матеріали і розчиняє їх; утворює сплави з WC та C
Вісмут (Bi, Bi ₂)	544	943	W, Mo, Ta, Ni	Окисли, C	Металева пара токсична
Хром (Cr)	2173	1670	W, Ta	-	Високі швидкості конденсації з твердої фази (сублімація)
Кобальт (Co)	1768	1793	W	Al ₂ O ₃ , BeO	Утворює сплав з W, можлива сублімація з малою швидкістю
Сурма (Sb ₂ , Sb ₄)	903	803	Mo, Ta, Ni	Окисли, BN, C	Металева пара токсична, для випарування необхідний перегрів вище T_s
Мідь (Cu)	1357	1533	W, Mo, Ta	Mo, C, Al ₂ O ₃	Практично не взаємодіє з тугоплавкими матеріалами

Продовження таблиці 1

Речовина, що випаровується, та склад пари	Температура, К		Матеріал		Примітки
	T_S	при $p_{II}=1\text{Па}$	фольга, дріт	тигель	
Германій (Ge)	1213	1673	W, Mo, Ta	W, C, Al_2O_3	Змочує тугоплавкі матеріали, розчинність у W слабка
Золото (Au)	1336	1673	W, Mo	Mo, C	Змочує W, Mo
Свинець (Pb)	601	988	W, Mo, Ni, Fe	Метал	Не змочує тугоплавкі метали, металева пара токсична
Нікель (Ni)	1723	1803	W, Al_2O_3	Тугоплавкі окисли	Утворює сплави з тугоплавкими металами
Кремній (Si)	1683	1623	-	BeO , ZrO_2	Тиглі із тугоплавких окислів руйнуються в рідкому Si
Срібло (Ag)	1234	1403	Mo, Ta	Mo, C	Не змочує W, Mo
Олово (Sn)	505	1523	W, Ta	C, Al_2O_3	Змочує і руйнує Mo

Випарування з дротів , металевої фольги та тиглів

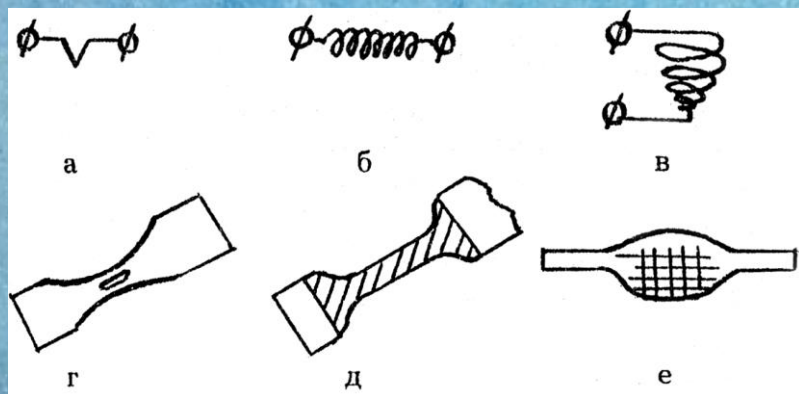


Рисунок 1 - Випарники з дротів та металевої фольги з непрямим нагріванням: а- у вигляді петлі; б- зі спіралі; в-кошик; г- човник із фольги з заглибленням; д- із фольги, покритої Al_2O_3 ; е- типу "каное"

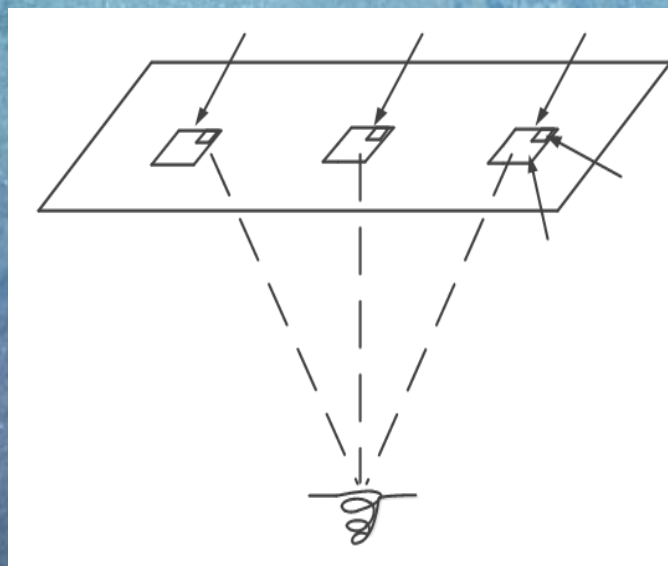


Рисунок 2- Схема розміщення підкладок та випарника всередині вакуумної камери

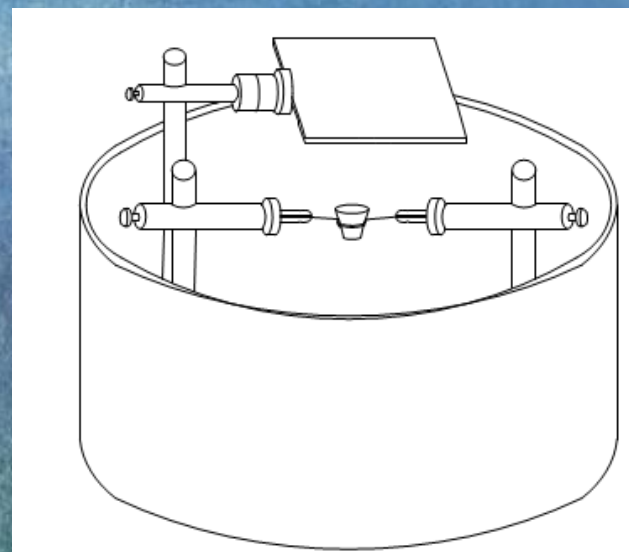


Рисунок 3 -Загальний вигляд робочого об'єму установки ВУП-5М з встановленим тиглем для осадження

Випаровування матеріалів електронно-променевими методами

Крім розглянутих методів резистивного та індукційного нагрівання, використовується також метод електронного бомбардування. Для цього пучок електронів прискорюється в електричному полі до енергії 5 - 30 кВ і фокусується на поверхні матеріалу для нанесення плівки.

У пристроях для електронного бомбардування використовуються електронні гармати з вольфрамовим катодом і з незалежним анодом, або з анодом, що випаровується. У першому випадку в аноді є отвір, через який електронні промені потрапляють на матеріал плівки.

У другому випадку анодом є безпосередньо матеріал, з якого одержується плівка. В електронних гарматах, у яких анодом є безпосередньо метал, що випаровується, катод має вигляд петлі, розміщеної біля анода (рис.4).

Найбільш складною проблемою при використанні гармати варіанта а (рис.4) є одержання розплавленої краплі на вершині анода (можливий варіант, коли анод повернутий вниз, але він також не вирішує проблеми). Оскільки вона тримається за рахунок поверхневих сил, то перегрівання її призведе до стікання краплі по аноду вниз або відриву від анодного стержня.

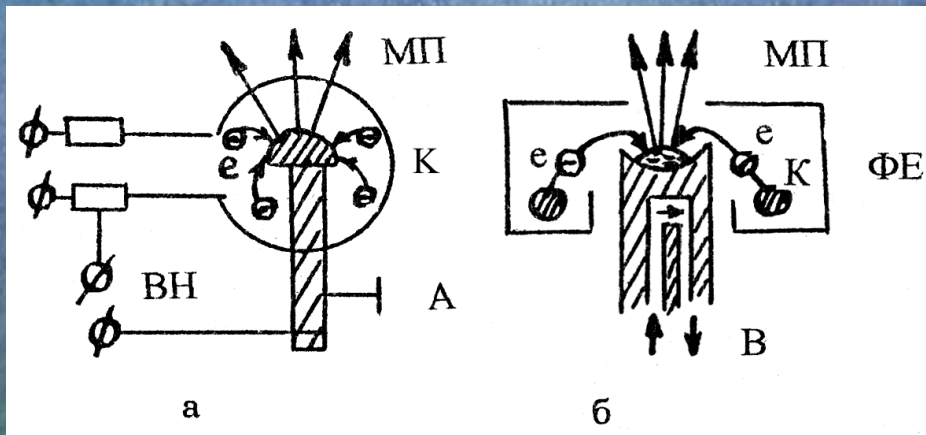


Рисунок 4 - Електронна гармата з анодом, що випаровується: А - анод; К - катод; ФЕ - фокусуючий електрод; МП - металева пара; е - електрони; ВН - висока напруга; В – вода

Методи одержання тонких плівок

Рівноважний тик пари

За термодинамічного підходу конденсований або газоподібний стан речовини є функцією таких параметрів, як тиск (p), температура (T), об'єм (V) і маса (m). Особливе значення в цьому випадку має умова термодинамічної рівноваги, за якої, наприклад, кількість атомів, що залишають тверде тіло чи рідину, дорівнює кількості атомів, що конденсуються знову. Відомо, що всі речовини мають певне значення тиску насиченої пари (p_n), який залежить від температури.

$$\Phi_n = \Phi_k, \quad (1.1)$$

$$\text{де } \Phi = U - TS + pV$$

U – внутрішня енергія; S – ентропія; індекси "п" та "к" позначають пару і конденсовану фазу (в нашому випадку – тверде тіло або рідину).

$$d\Phi_n = d\Phi_k, \quad (1.1')$$

$$d\Phi_n = -S_n dT + V_n dp, \quad (1.1'')$$

$$d\Phi_k = -S_k dT + V_k dp,$$

$$(V_n - V_k) dp_H = (S_n - S_k) dT,$$

$$\frac{dp_H}{dT} = \frac{(S_n - S_k)}{(V_n - V_k)} = \frac{\lambda}{T(V_n - V_k)} \quad (1.2)$$

$$\frac{dp_H}{dT} = \frac{\lambda}{TV_n} = \frac{\lambda}{T(RT/p_H)} = \frac{\lambda p_H}{RT^2} \quad (1.2')$$

$$\frac{dp_H}{p_H} = \frac{\lambda}{R} \frac{dT}{T^2} \text{ або } \ln p_H = -\lambda / RT + \ln C. \quad (1.2'')$$

$$p_H = C e^{-\lambda / RT}, \quad (1.3)$$

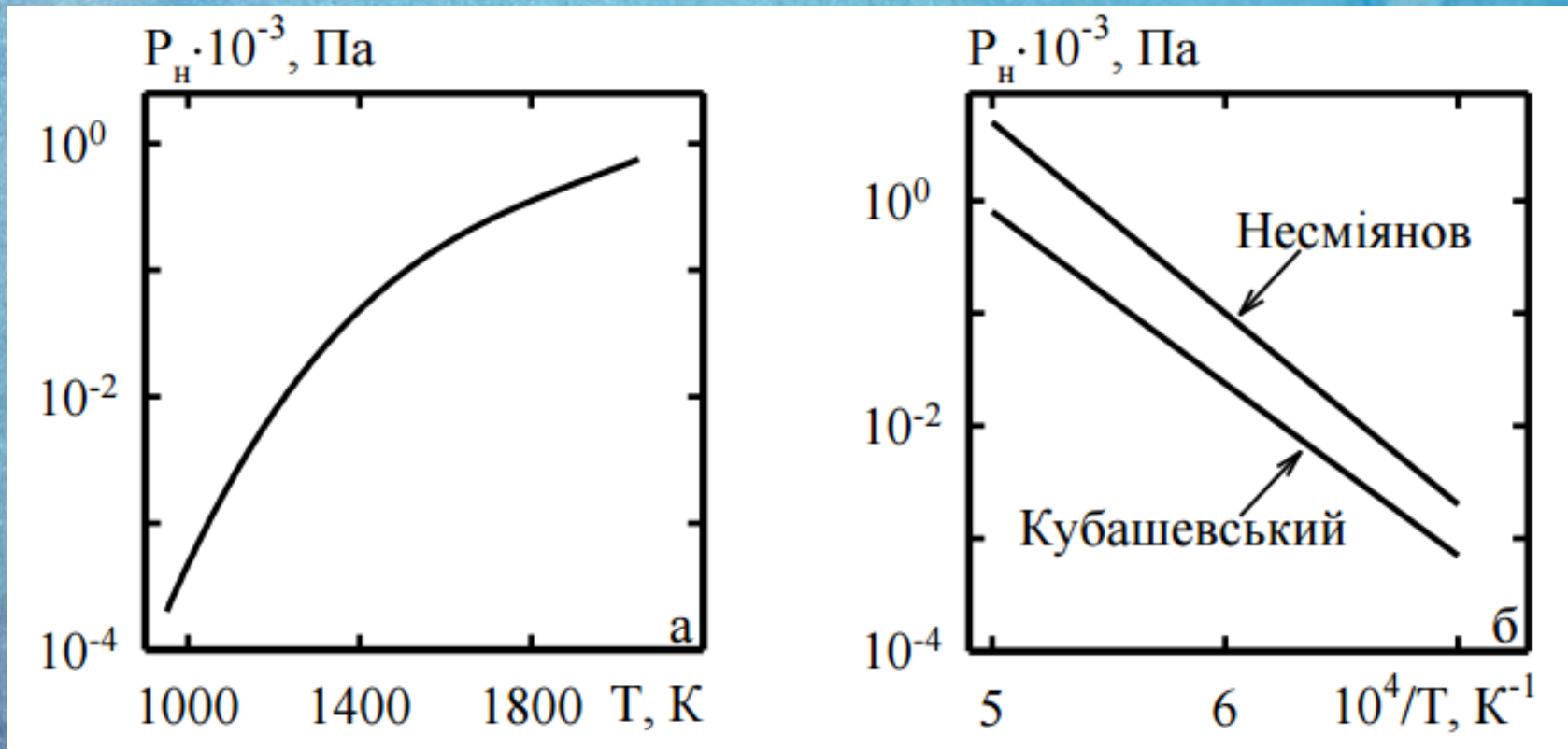


Рисунок 1.1 - Залежність тиску насиченої пари рідкого алюмінію від температури в прямих (а) та напрямних (б) координатах

Розподіл атомів пари за швидкостями

Якщо позначити кількість атомів із одиниці об'єму пари металу, які мають швидкість від u до $u + \Delta u$, через Δn_u , то можна записати:

$$\Delta n_u \sim f(u), n, \Delta V, \quad (1.4)$$

де $f(u)$ - поки що невідома функція; n - концентрація атомів;

$$\Delta V = 4\pi u^2 \Delta u. \quad (1.5)$$

$$\Delta n_u = 4\pi \cdot A \cdot n \cdot f(u) \cdot u^2 \Delta u. \quad (1.4')$$

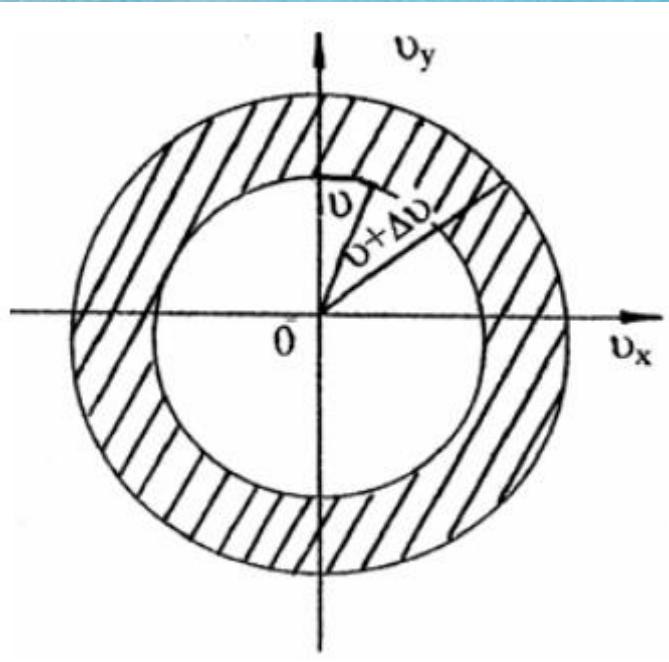


Рисунок 1.2 - До підрахунку об'єму V у співвідношенні (1.4)

$$f(v) = e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \quad (1.6)$$

$$\Delta\omega_v = \frac{\Delta n_v}{n} = 4\pi A e^{-\frac{mv^2}{2kT}} v^2 \Delta v. \quad (1.7)$$

$$A = \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}}. \quad (1.8)$$

$$\frac{\Delta n_v}{n} = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} v^2 \Delta v, \quad (1.9)$$

$$\Phi(v) = \frac{\Delta n_v}{n\Delta v} = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} v^2 \quad (1.10)$$

$$\frac{\Delta n_\varepsilon}{n\Delta\varepsilon} = \Phi(\varepsilon) = \frac{2}{kT} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon}{\pi kT}} \cdot e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} \quad (1.11)$$

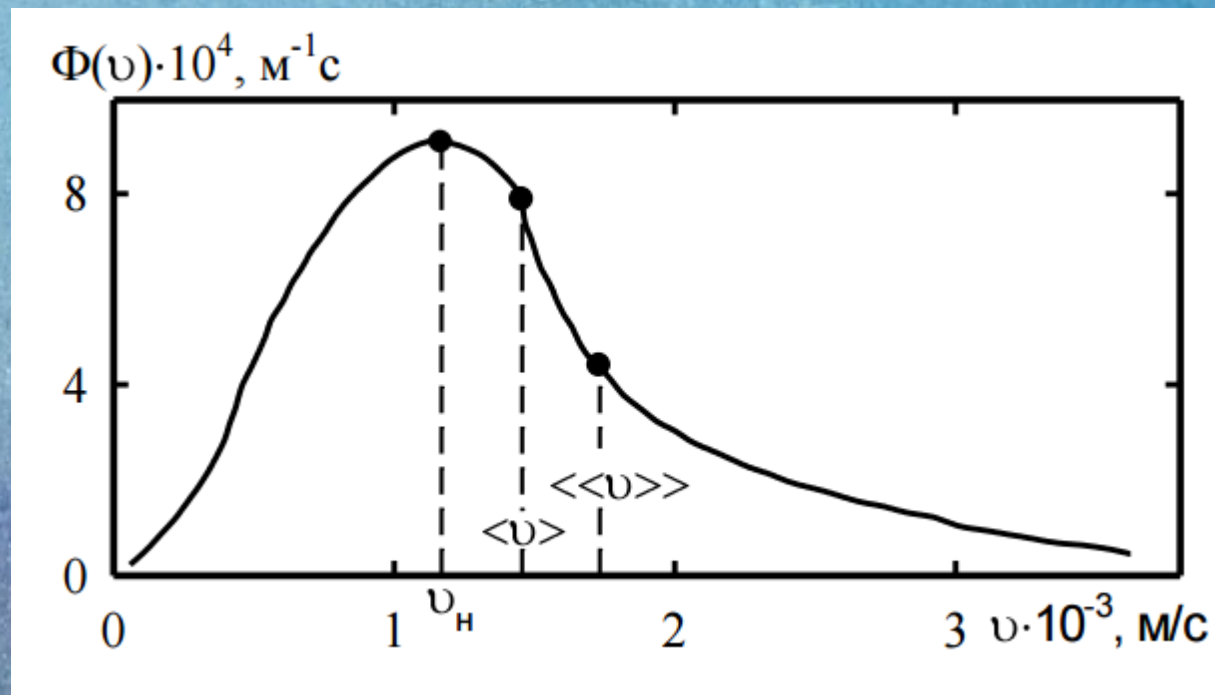


Рисунок 1.3 - Розподіл Максвелла для атомів алюмінію при $T=1470$ К (v_H - найбільш імовірна; $\langle v \rangle$ - середня та $\langle\langle v \rangle\rangle$ - середня квадратична швидкості)

Дякую за увагу!