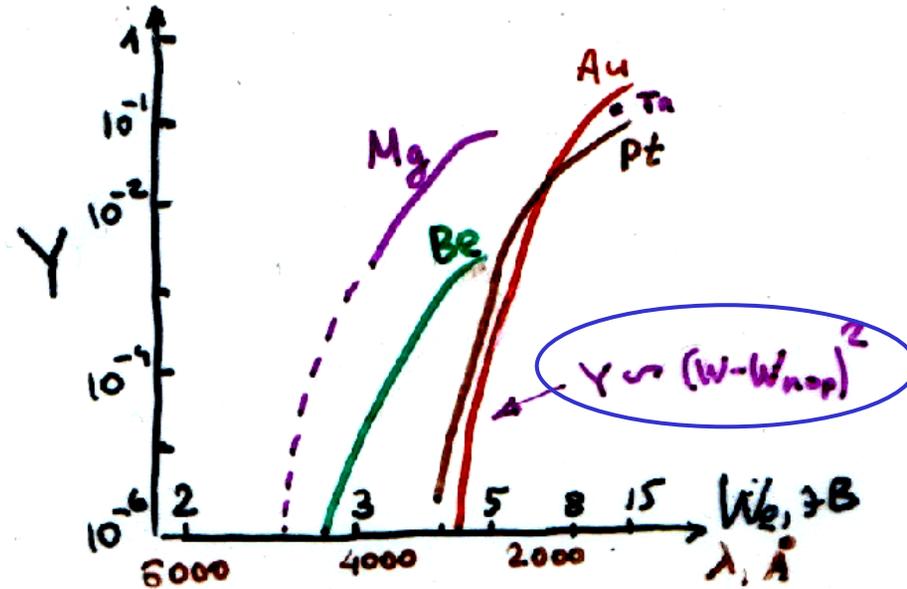
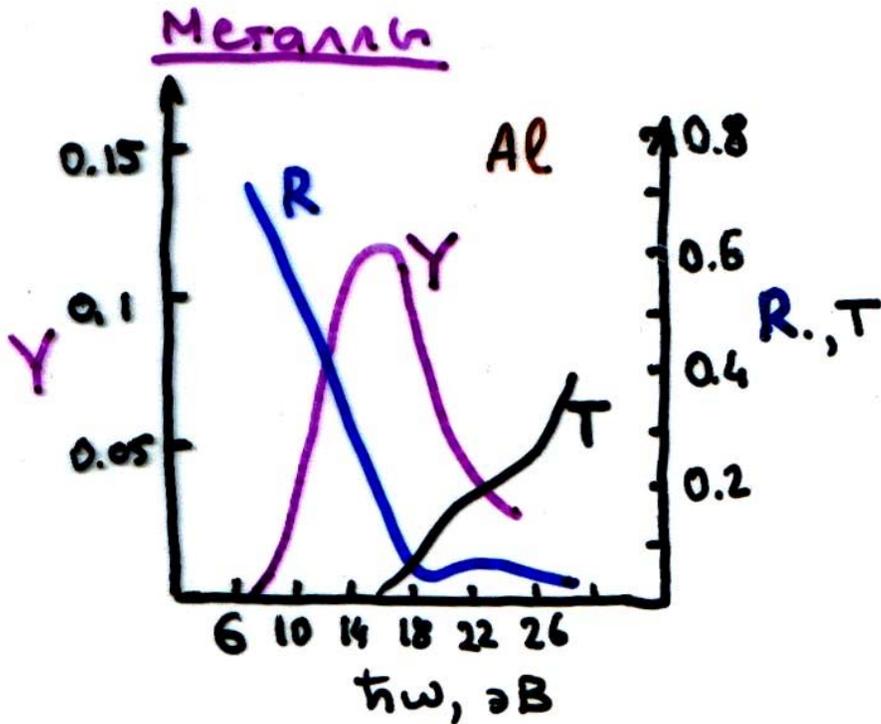


Фотоэлектронная эмиссия

Квантовый выход

$$Y = \frac{n_e}{n_\gamma}$$

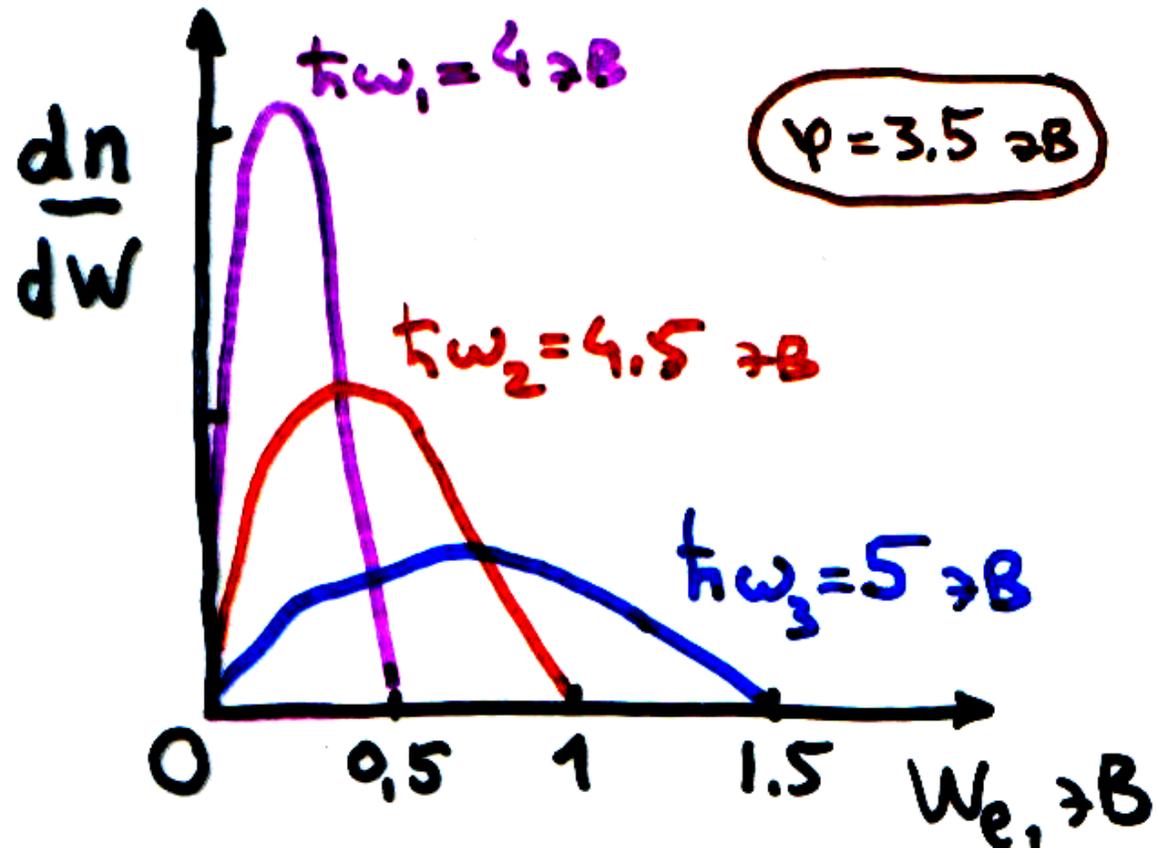


Порог $\hbar\omega_0 > \varphi$

метод определения φ

R – отражение, T – поглощение
Y – квантовый выход

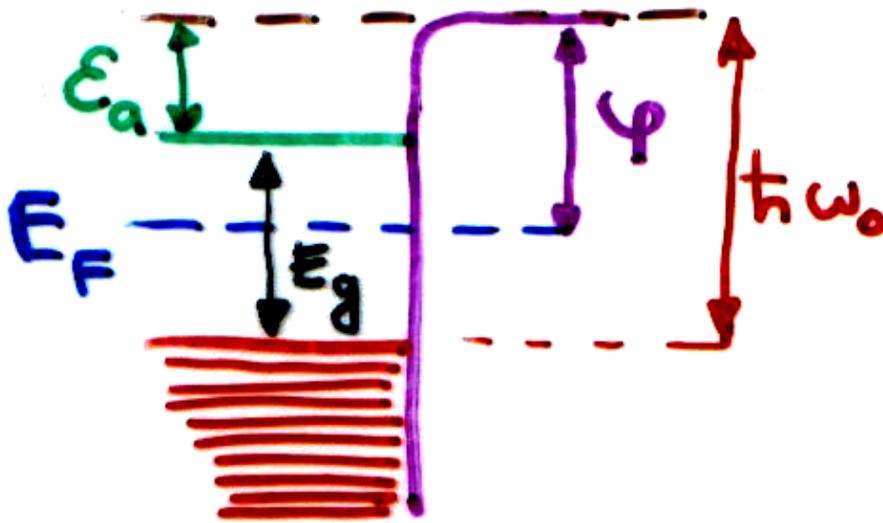
Энергоспектр фотоэлектронов



Закон Эйнштейна $W_{\max} = h\omega - \varphi$

Фотоэмиссия полупроводников

«Собственный» полупроводник



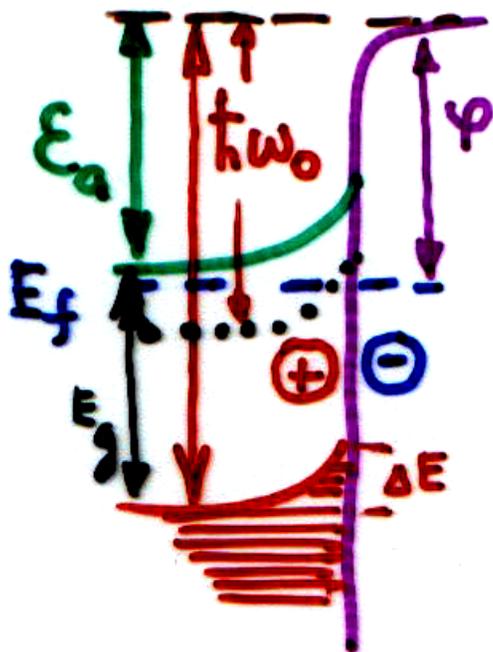
ϵ_a – электронное сродство
(со дна зоны проводимости)

E_g – ширина запрещенной зоны
Ge – 0.66 эВ, GaAs – 1.52 эВ

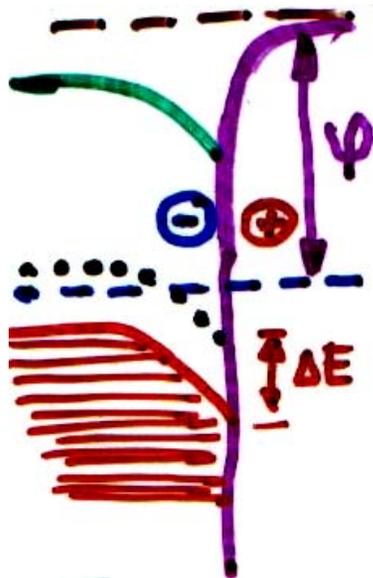
$h\omega_0$ – фотоэлектрическая работа
выхода (из валентной зоны)

При $E_a > E_g$ вторичные электроны тратят энергию на возбуждение электронов из валентной зоны в зону проводимости!
(малая глубина выхода электронов $\lambda \sim 1-30 \text{ \AA}$)

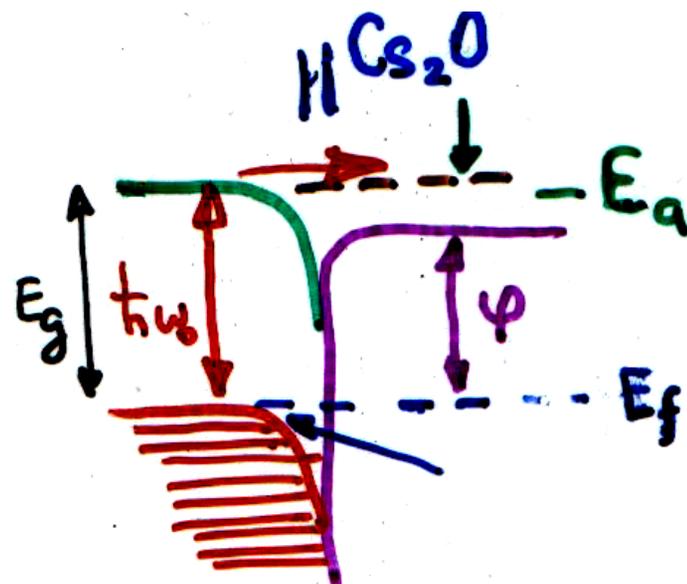
Примесные полупроводники



n-типа
донорные уровни
Ge+As



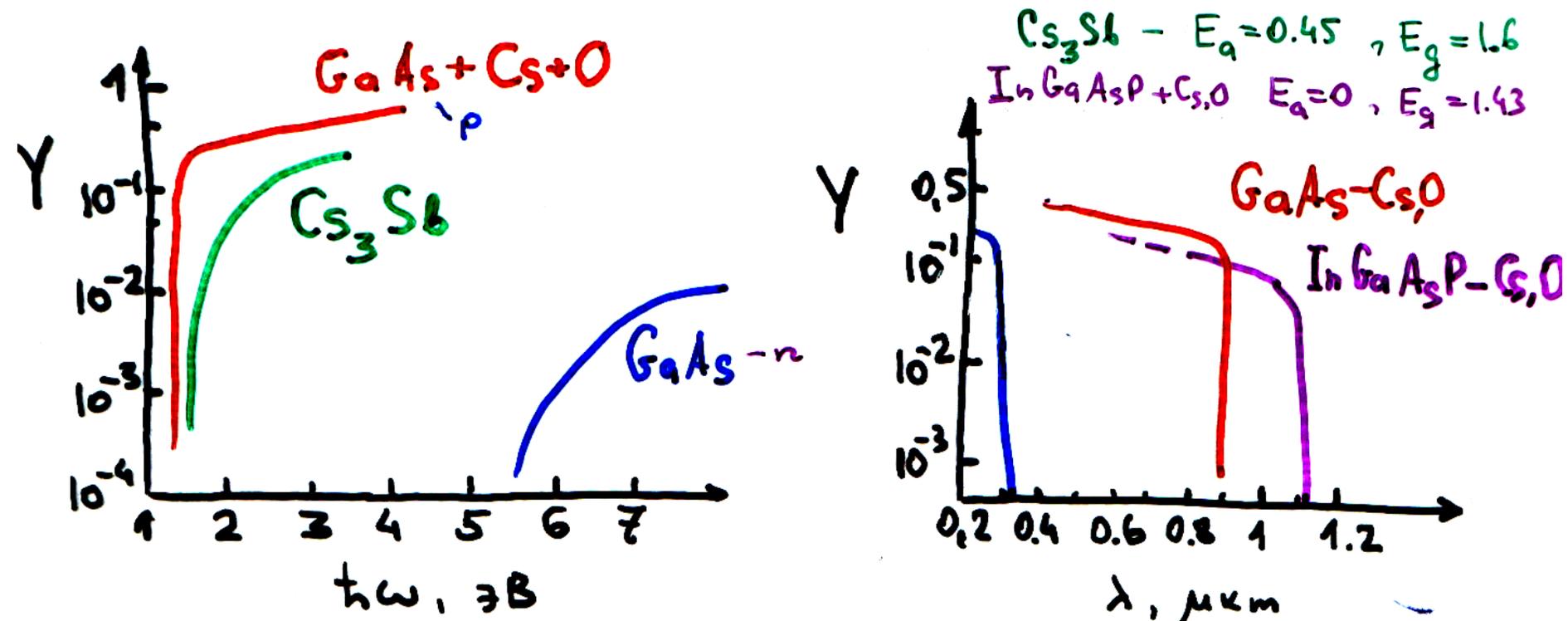
p-типа
акцепторные уровни
Ge+In



с отрицательным
электронным
средством

При $E_g > E_a$ – возбуждение фононов 10^{-2} эВ
глубина выхода электронов $\lambda = 15-300$ А !

Фотокатоды



Щелочногалогидные (CsI, CsBr..) - (< 200 нм – вакуумный УФ)

Теллурид цезия, рубидия(Cs₂Te, Rb₂Te)- 200-350 нм УФ

Антимониды щелочных металлов (CsNa₂KSb) – 400-750 нм

С отрицательным СЭ (р-типа) – красный и ИК спектр $\sim 700-900$ нм

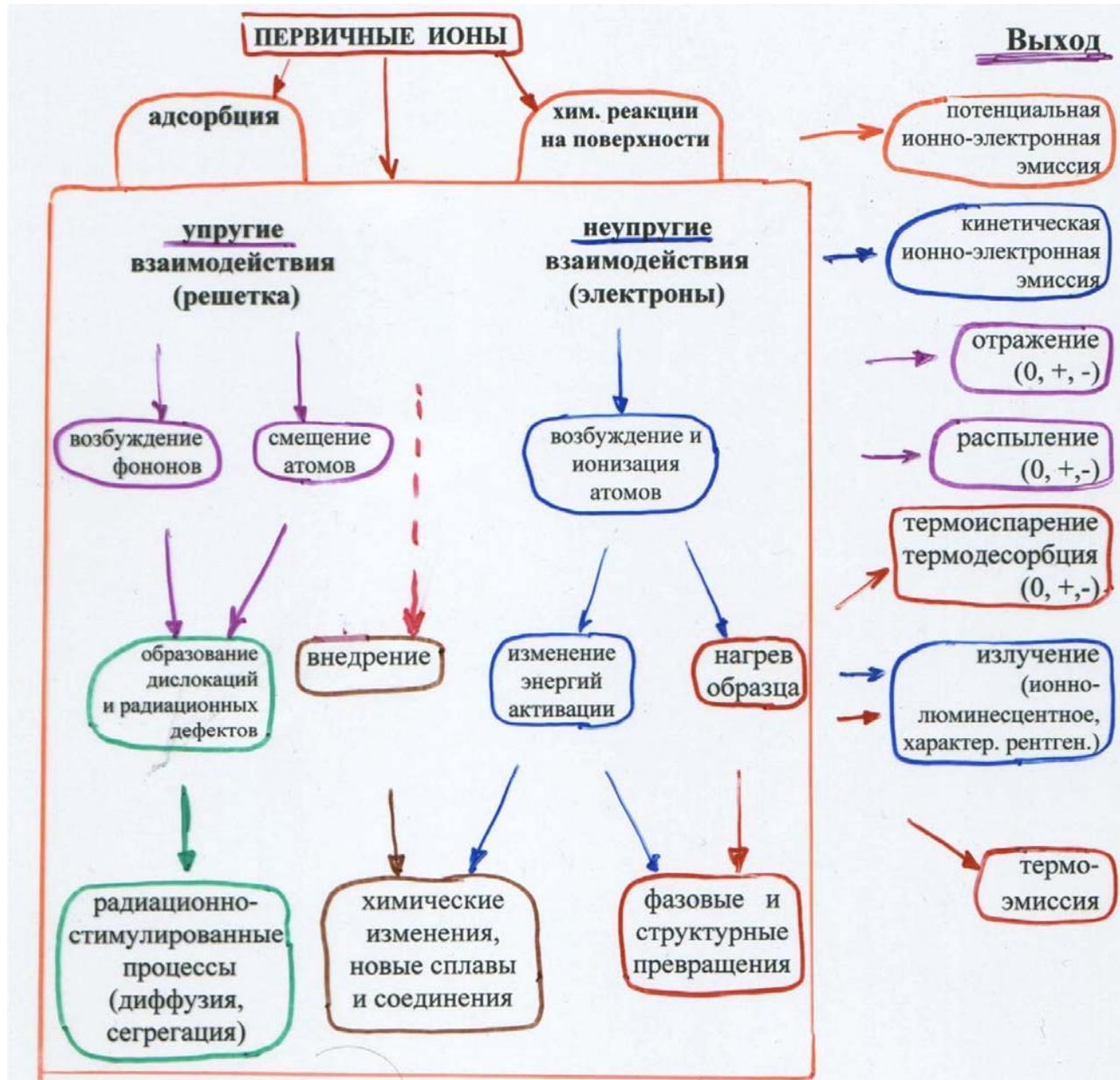
На основе гетероструктур (InGaAs-InP-Ag-CsO) - > 1.1 мкм

Применение фотокатодов:

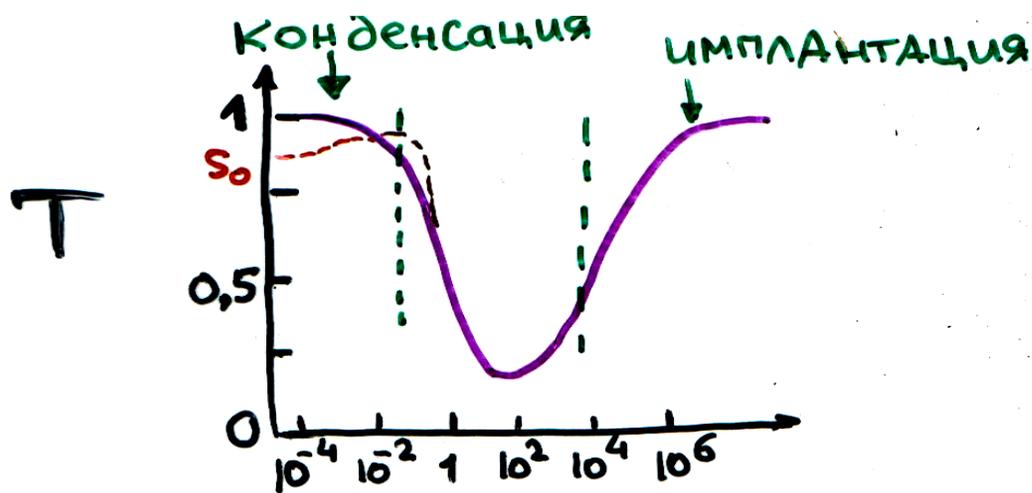
- в электровакуумных приборах (ФЭУ и т.д.)
- в фотоэлектронных преобразователях (ФЭП)
- в фотоэлектронной микроскопии и спектроскопии (РФЭС, УФЭС)

В генераторах плазмы на основе тлеющего разряда фотоэффект дает вклад во вторичную эмиссию на холодном катоде

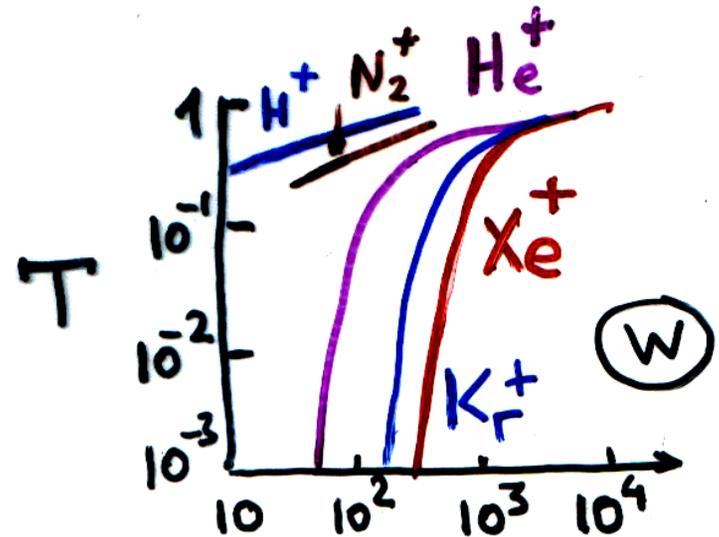
Взаимодействие иона (атома) с твердым телом



Захват частиц при столкновении с поверхностью твердого тела



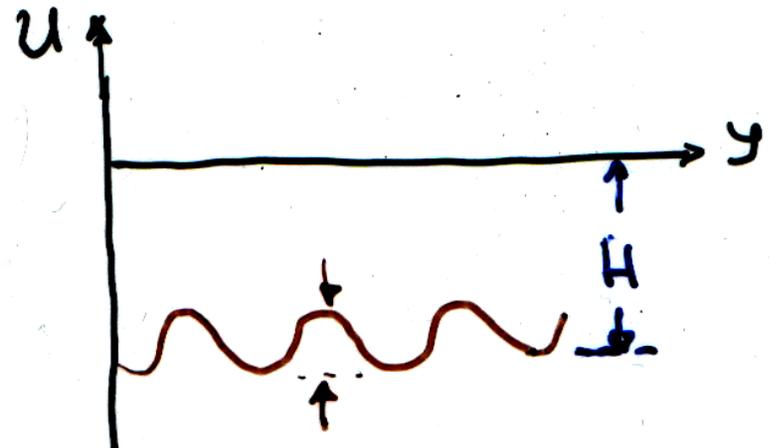
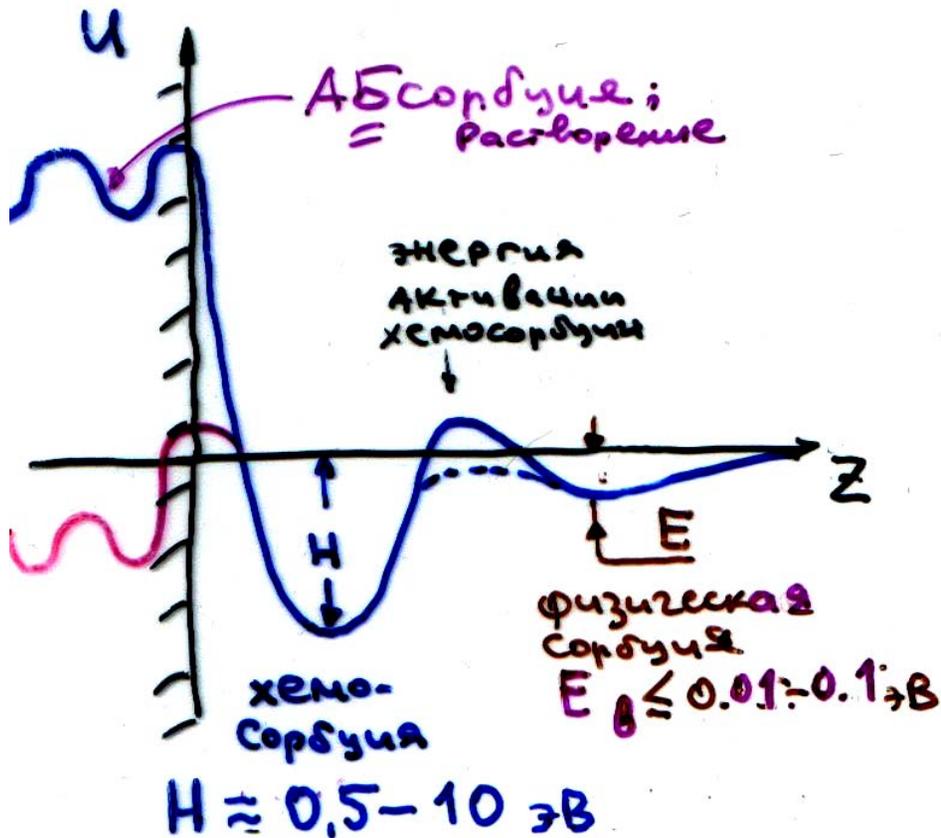
Энергия частицы, эВ



Захват ускоренных частиц вольфрамом

Адсорбция

Поверхностные атомы имеют ненасыщенные связи

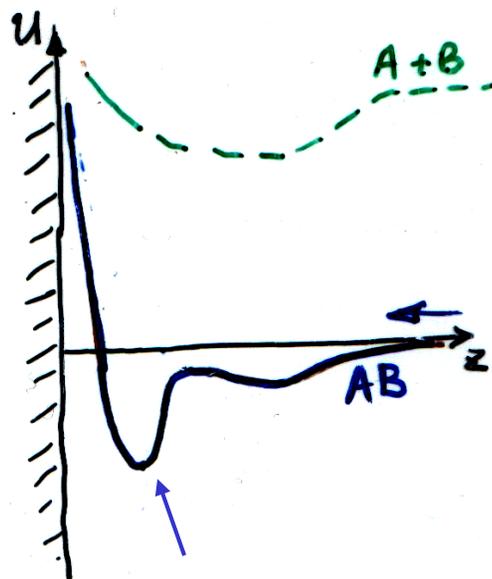


Энергия активации диффузии

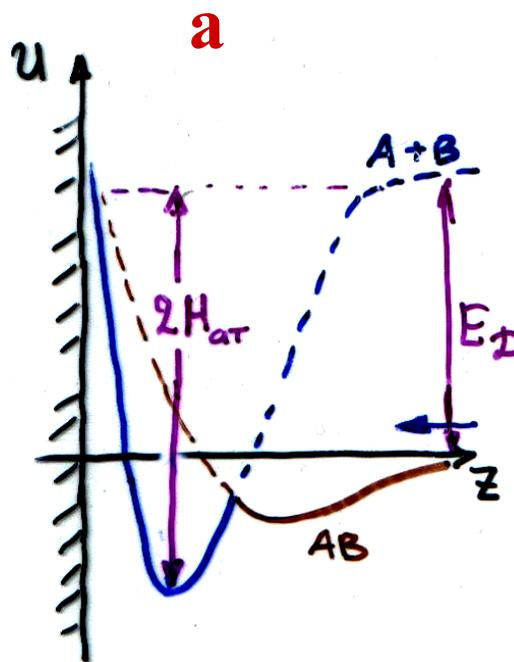
Потенциал при диффузии по поверхности

Потенциал при адсорбции атомов

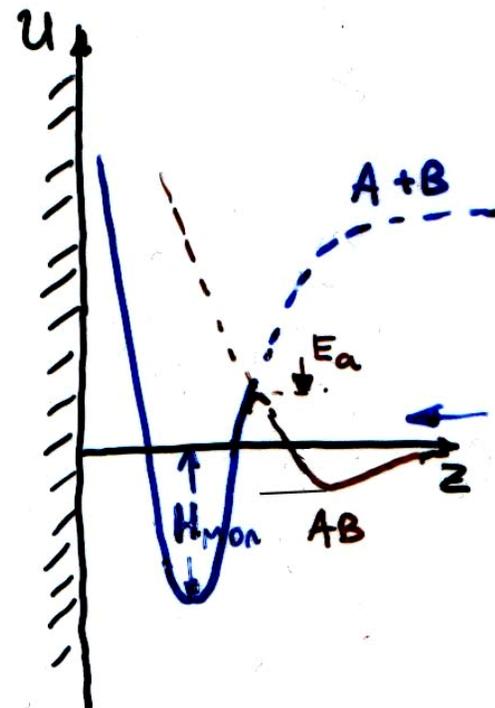
Адсорбция молекул



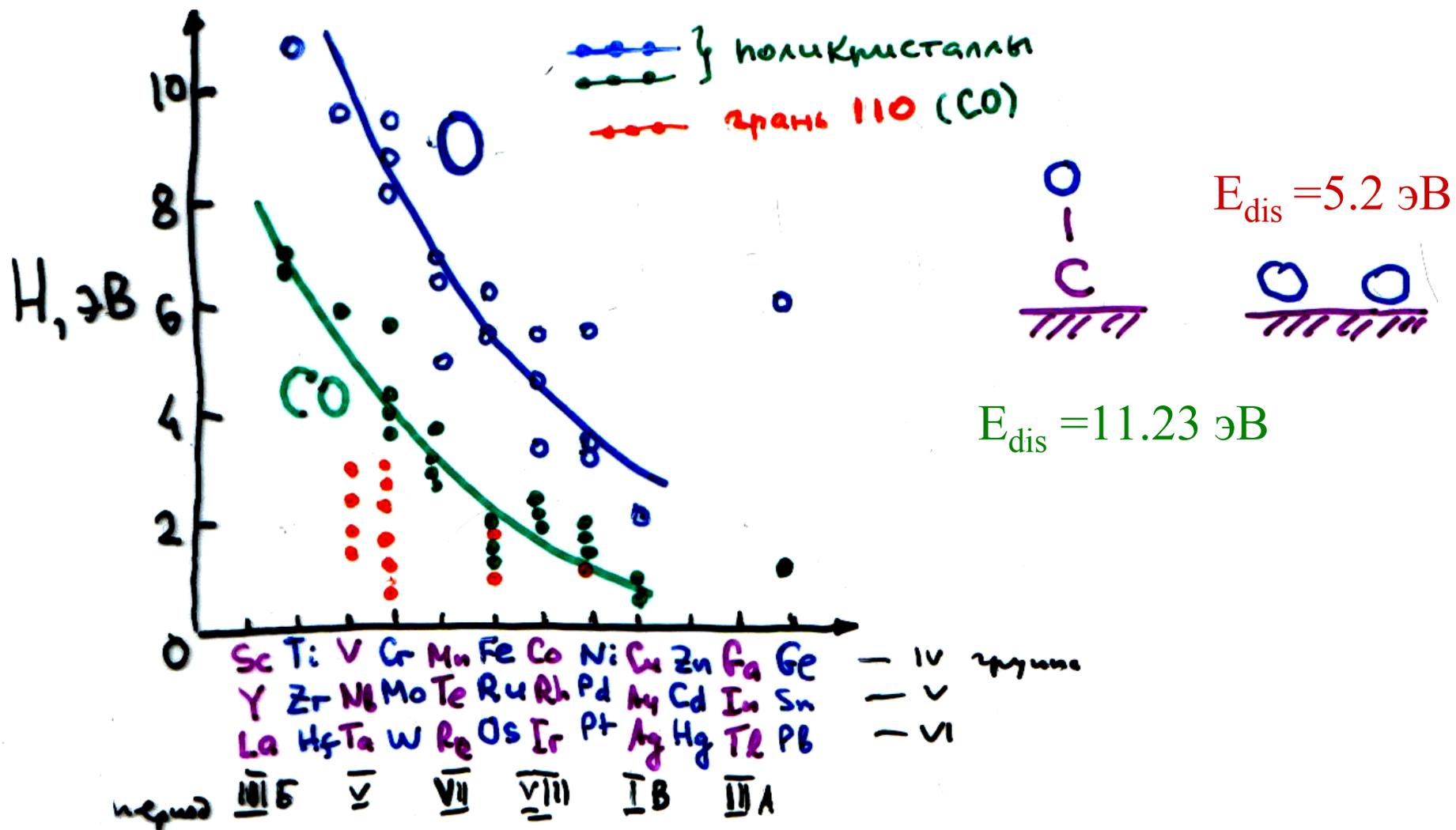
молекулярная
хемосорбция



диссоциативная
хемосорбция



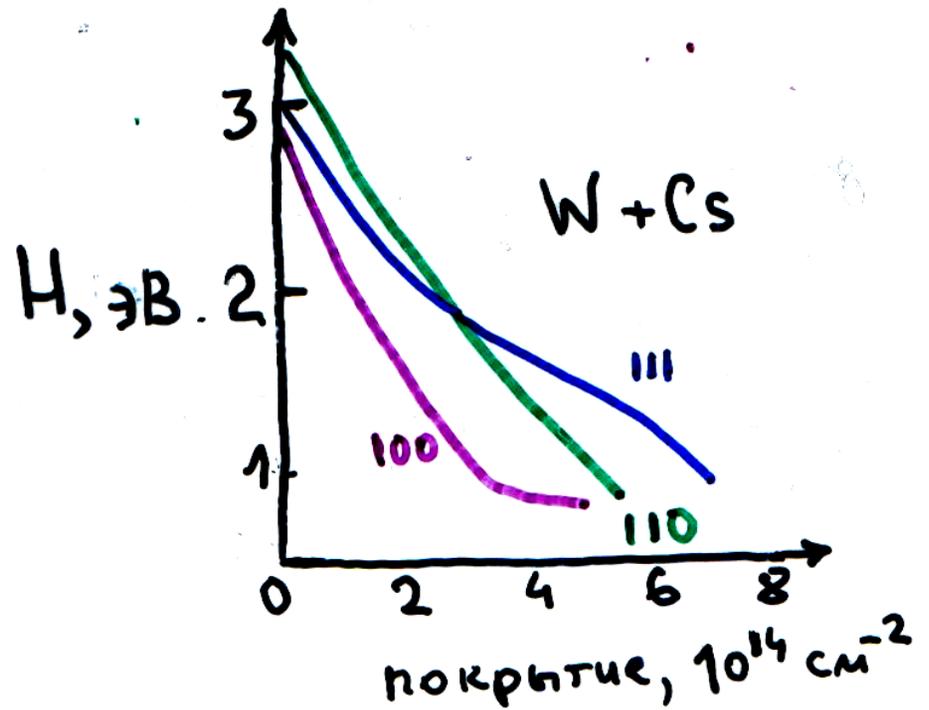
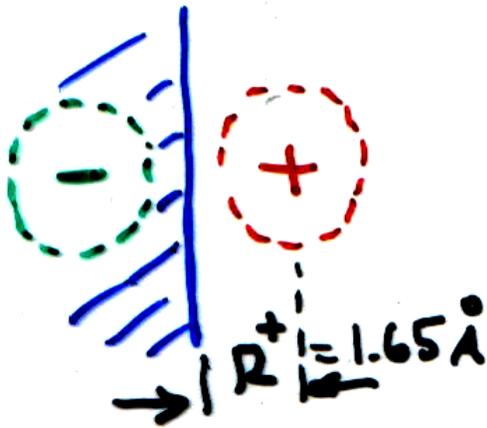
Теплота хемосорбции O₂ и CO на металлах



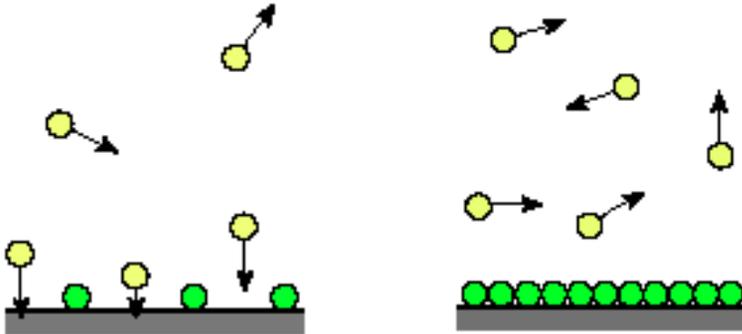
Теплота хемосорбции при ионной связи

$$H = \frac{q^2}{4R^+} - I + \varphi + H_0$$

$\Delta\varphi = -4\pi q^2 \cdot R^+ \cdot N$



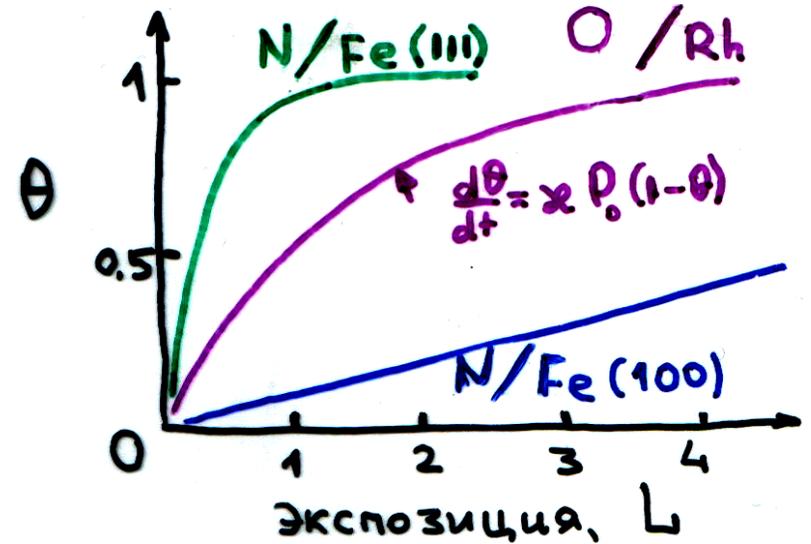
Адсорбция «по Ленгмюру»



Вероятность адсорбции пропорциональна числу незанятых вакансий

$$P(\Theta) = P_0(1 - \Theta)$$

$$\frac{d\Theta}{dt} = \kappa \cdot P_0(1 - \theta)$$

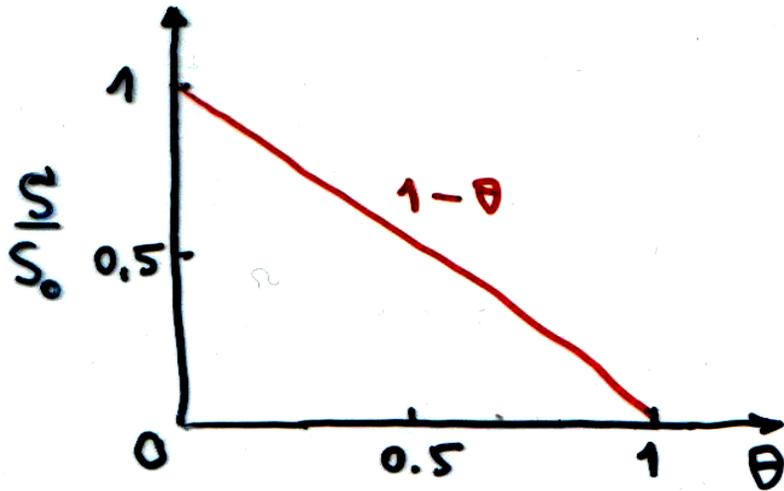


Изменение покрытия по мере увеличения экспозиции

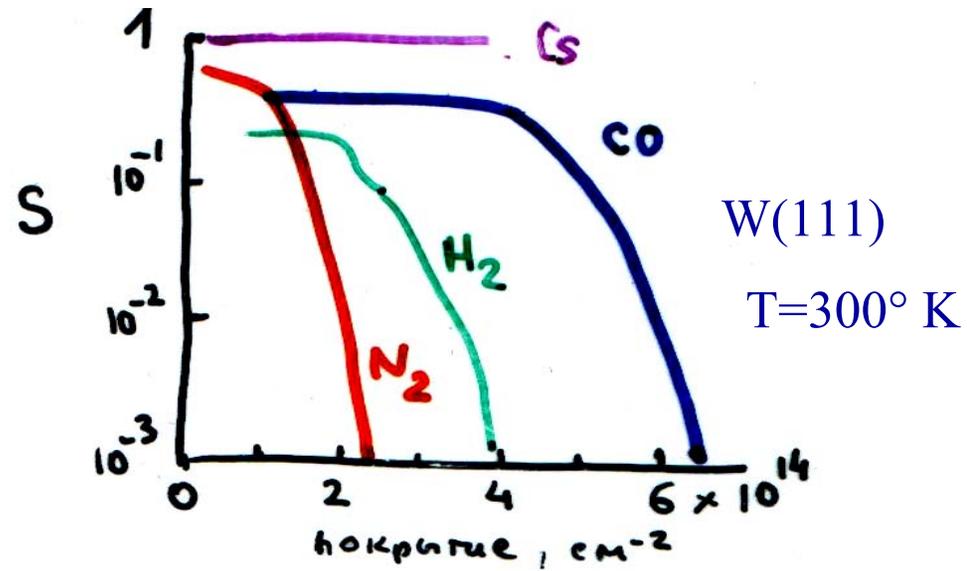
$$1 \text{ L} = 10^{-6} \text{ Тор} \cdot \text{сек}$$

Прилипание

Прилипание по «Ленгмюру»

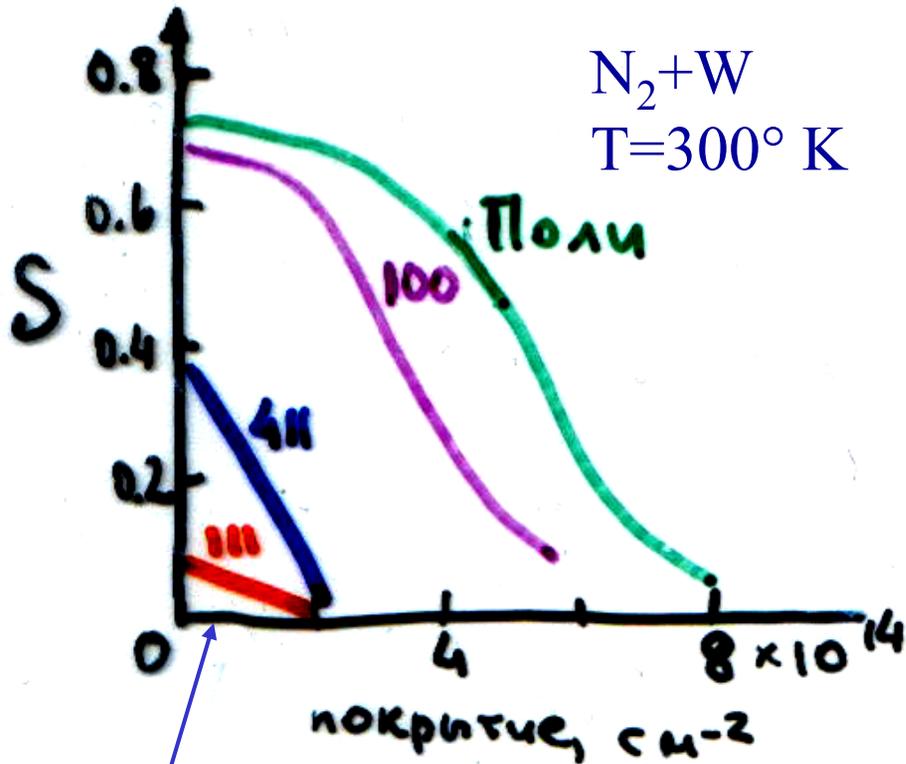


Прилипание разных газов



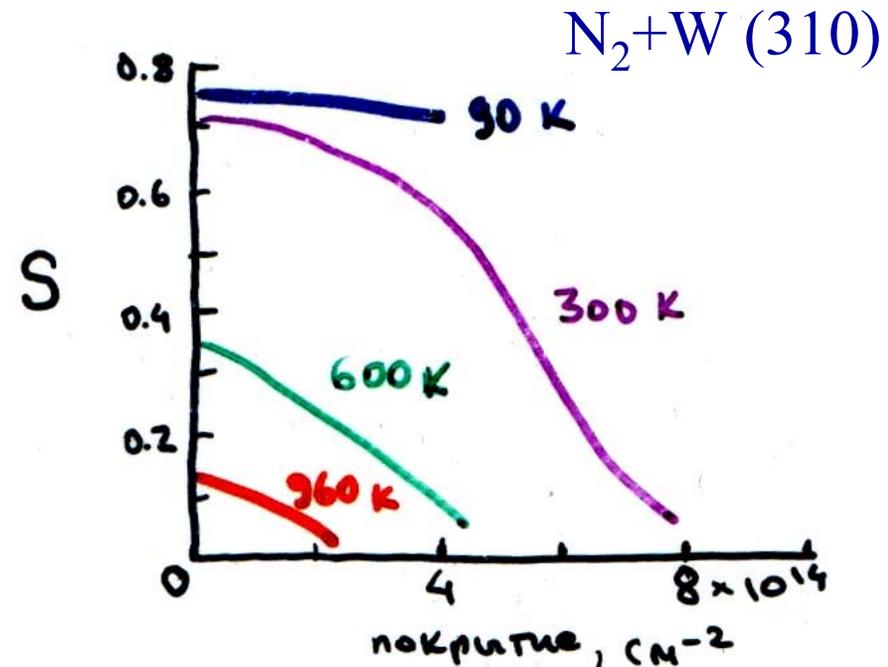
Коэффициент прилипания азота

на различные грани вольфрама



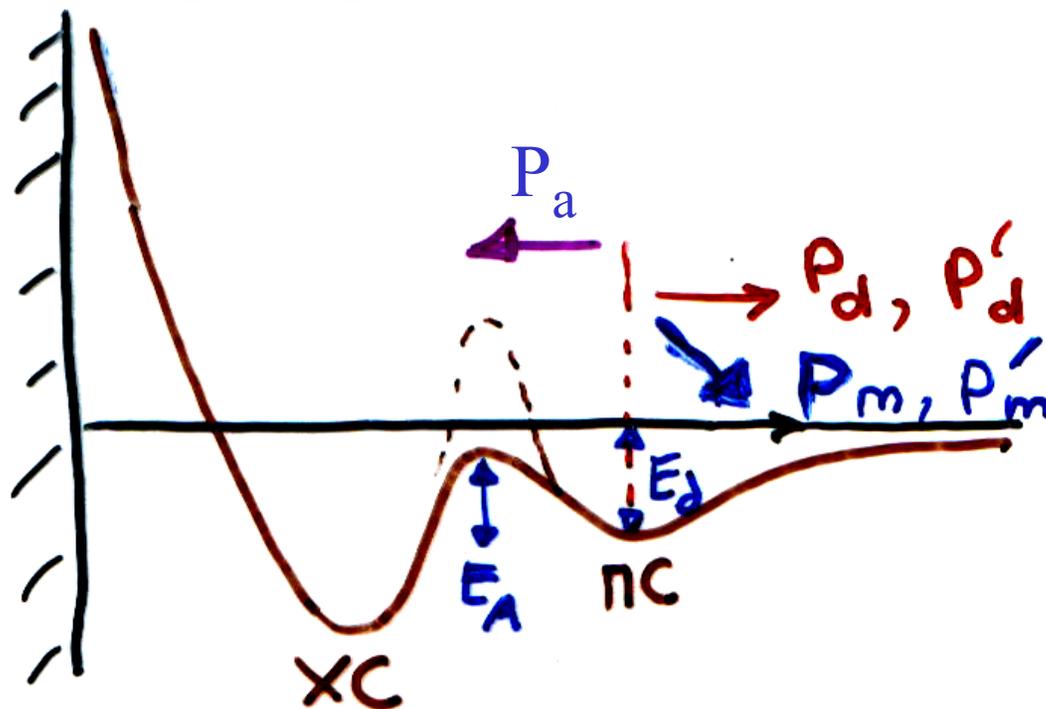
$$S = S_0 (1 - \Theta)$$

При различной температуре поверхности



Здесь $E_a < E_d$, и при увеличении температуры поверхности “отражение” увеличивается

Адсорбция через предсостояние (Леннард-Джонс)



P_a – вероятность хемосорбции из предсостояния

P_d – вероятность десорбции из предсостояния

P_m - вероятность миграции к соседней вакансии

P'_a, P'_d - вероятности для предсостояний над адсорбир. атомом

$$P_a + P_d + P_m = 1$$

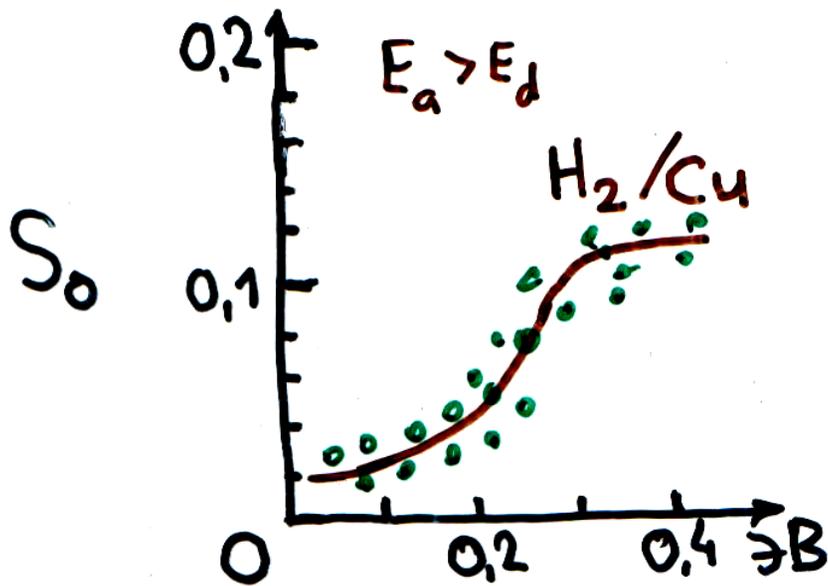
$$P'_d + P'_m = 1$$

Адсорбция через предсостояние:

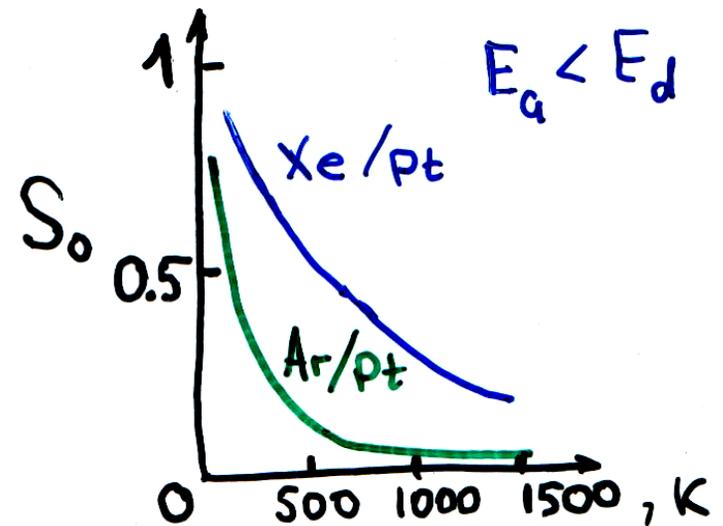
Начальное прилипание зависит от соотношения E_a и E_d

$$S_0 = \frac{P_a}{P_a + P_d}$$

$$P_a \approx \nu_a \cdot e^{-E_a/kT}$$
$$P_d = \nu_a e^{-E_d/kT}$$



Энергия молекул H_2



Температура поверхности

Хемосорбция с учетом миграции из предсостояний

"Первичная" хемосорбция $\rightarrow P_a(1) = P_a(1-\theta)$

миграция $\rightarrow P_m(1) = 1 - P_a(1-\theta) - P_d(1-\theta) - \theta \cdot P_d$

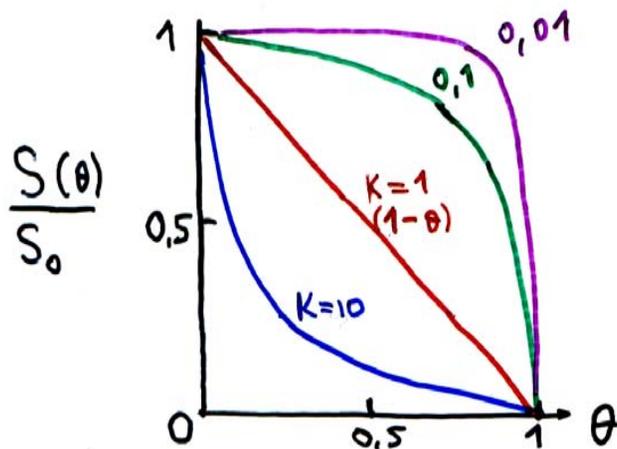
Прилипания после миграций

$$S = P_a(1-\theta) [1 + P_m(1) + P_m(2) + \dots] = \frac{P_a(1-\theta)}{1 - P_m(1)}$$

$P_m(2)$

удобней:

$$\frac{S}{S_0} = \frac{1}{1 + \frac{K\theta}{1-\theta}} \quad ; \quad \text{где } S_0 = \frac{P_a}{P_a + P_d} ; \quad K = \frac{P_d'}{P_a + P_d}$$



Хемосорбция при различных значениях K

Термодесорбция

- удаление прогревом поверхностных загрязнений
- получение ионов поверхностной ионизацией

(Q-машины, ионные двигатели, детекторы атомов, источники)

Формула Френкеля
(Аррениус)

$$-\frac{\partial N}{\partial t} = N \omega_0 e^{-H/kT}$$

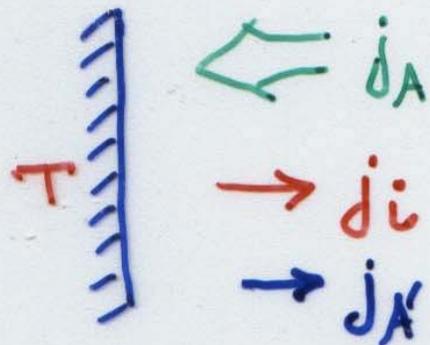
$$\omega_0 \sim 10^{10} \div 10^{13} \text{ сек}^{-1} \quad (\text{зависит от структуры, массы, температуры, соседей...})$$

$$e^{-H/kT} \sim 10^{-72} \div 10^{-1} \quad \text{при} \quad \begin{array}{l} H = 5 \div 0,5 \text{ эВ} \\ kT \approx 0,03 \div 0,5 \text{ эВ} \end{array}$$

Среднее время адсорбции частицы

$$\tau = \omega_0^{-1} \cdot e^{H/kT} \sim \begin{array}{l} 10^5 \text{ сек} (W+O, T=2 \cdot 10^3 \text{ K}) \\ 10^{-7} \text{ сек} (W+Cs, T=2 \cdot 10^3 \text{ K}) \end{array}$$

Поверхностная ионизация (термоионная эмиссия)



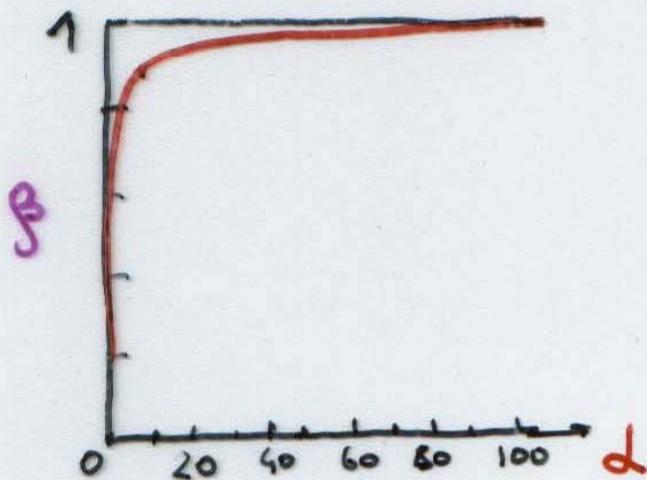
Степень ионизации (слетающ. потока)

$$\alpha^+ = \frac{j^+}{j_A^+}; \quad 0 \leq \alpha^+ < \infty$$

Коэффициент ионизации

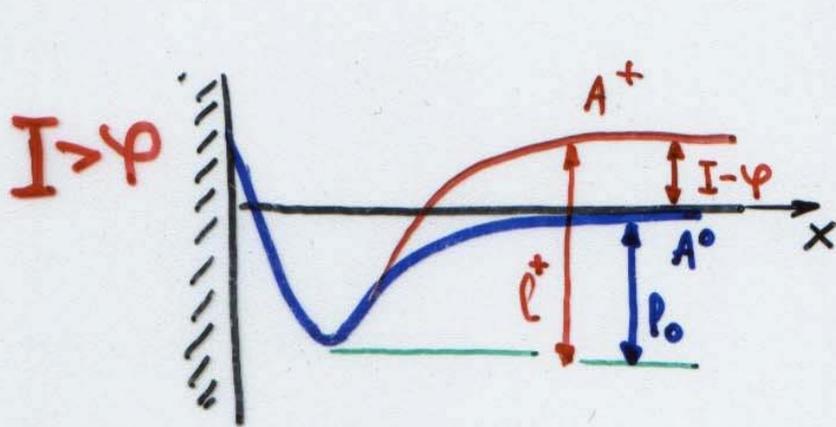
$$\beta^+ = \frac{j^+}{j_\Sigma} = \frac{j^+}{j^+ + j^- + j^0} = \frac{\alpha^+}{\alpha^+ + 1}$$

$$0 \leq \beta \leq 1$$



Степень ионизация при термодесорбции

Формула Саха-Ленгмюра



$$j_+ \propto g_+ e^{-l^+/kT}$$

$$j_A \propto g_A e^{-l_0/kT}$$

барьер преодолевают только атомы или ионы

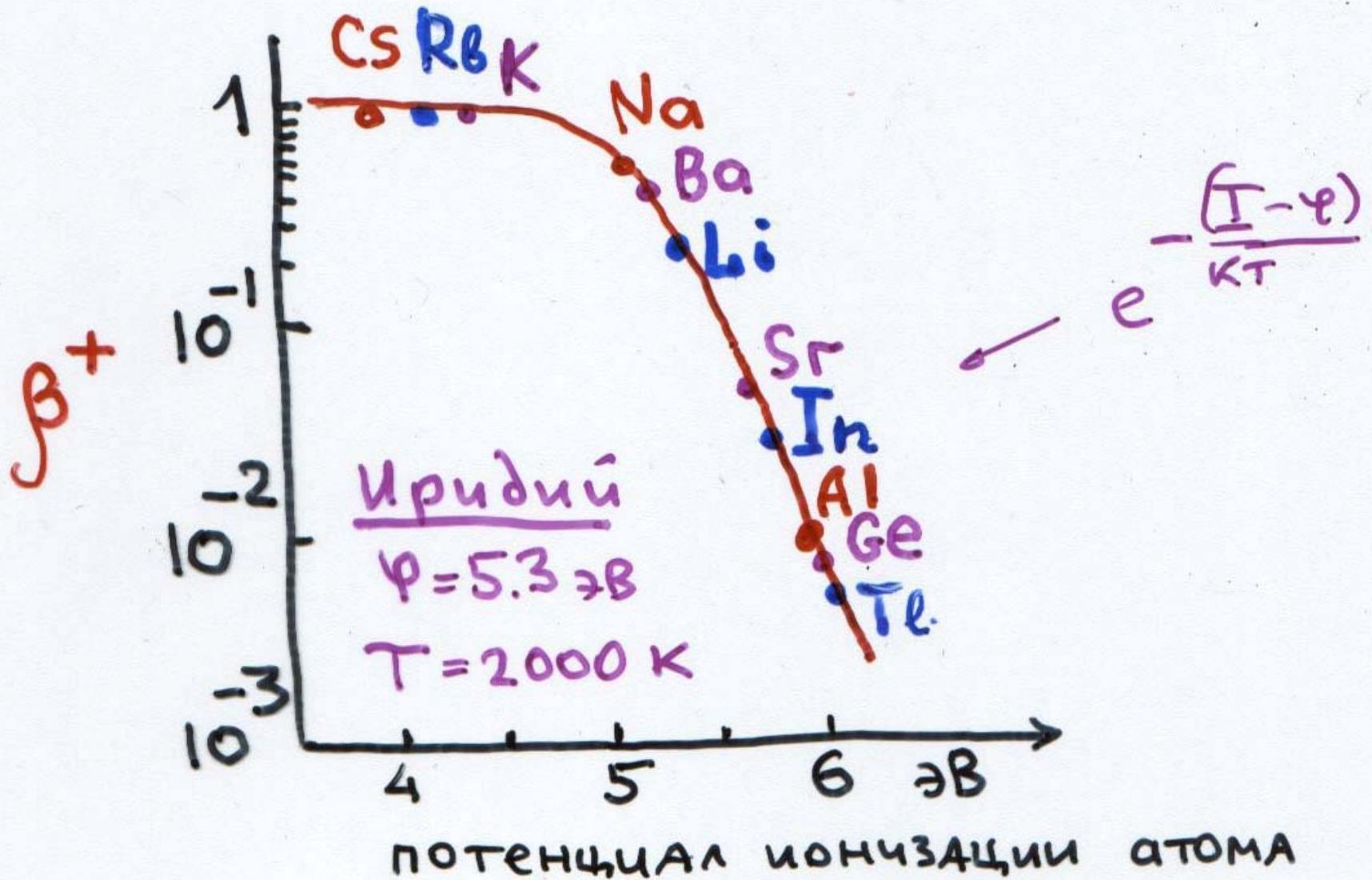
$$\alpha^+ = \frac{j_+}{j_A} = \frac{g_+}{g_A} \exp^{-l^+/kT} = \frac{g_+}{g_A} e^{\frac{\varphi - I}{kT}}$$

уравнение Саха-Ленгмюра

для основных состояний атома и иона

$$\frac{g_+}{g_A} = \begin{cases} 1/2 & \text{— одновалентные атомы} \\ 2 & \text{— двухвалентные} \end{cases}$$

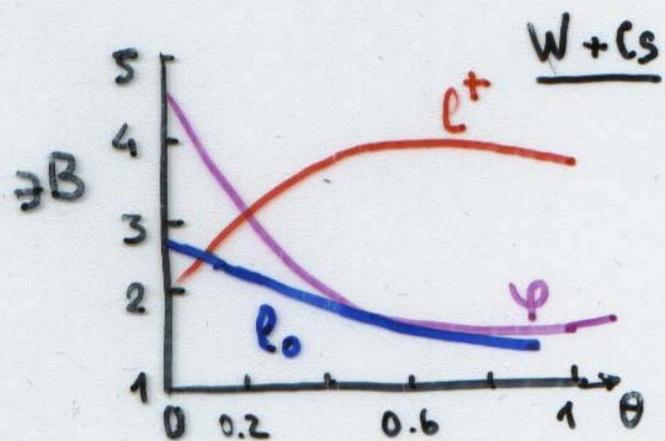
Эффективность поверхностной ионизации



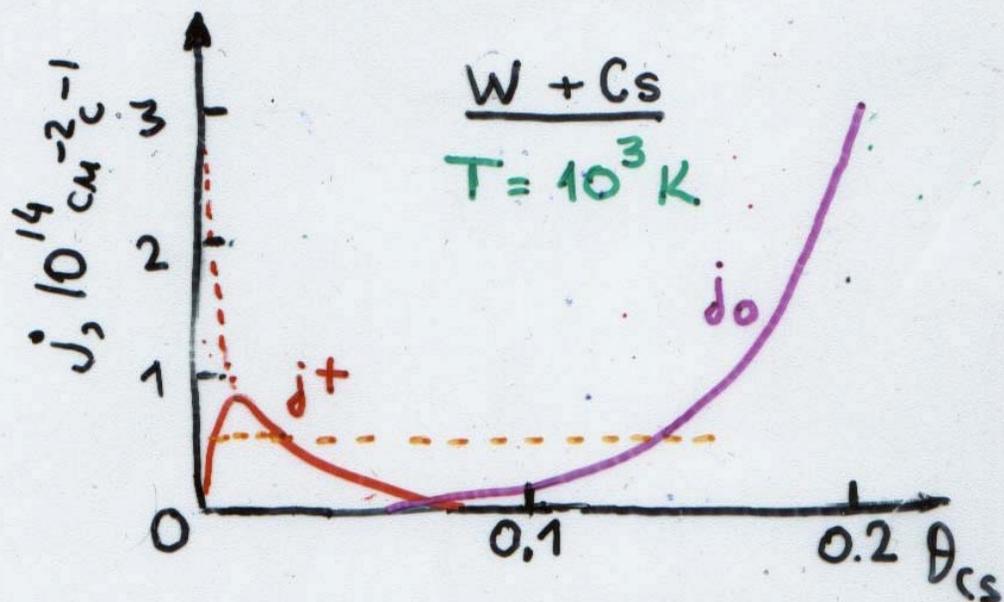
Степень α и коэффициент ионизации β
на вольфраме ($\varphi = 4.5$ эВ)

		Температура \rightarrow	1000	1500	2000	2500 K
Cs	$\varphi - I =$ 0.64 эВ	β	99,9%	98,5	95%	91%
		α	800	70	20	10
Na	-0.6 эВ	β	0.05%	0.5%	1,6%	3,2%
		α	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$3,2 \cdot 10^{-2}$

Можно ли при поверхностной ионизации получить интенсивный поток ионов?



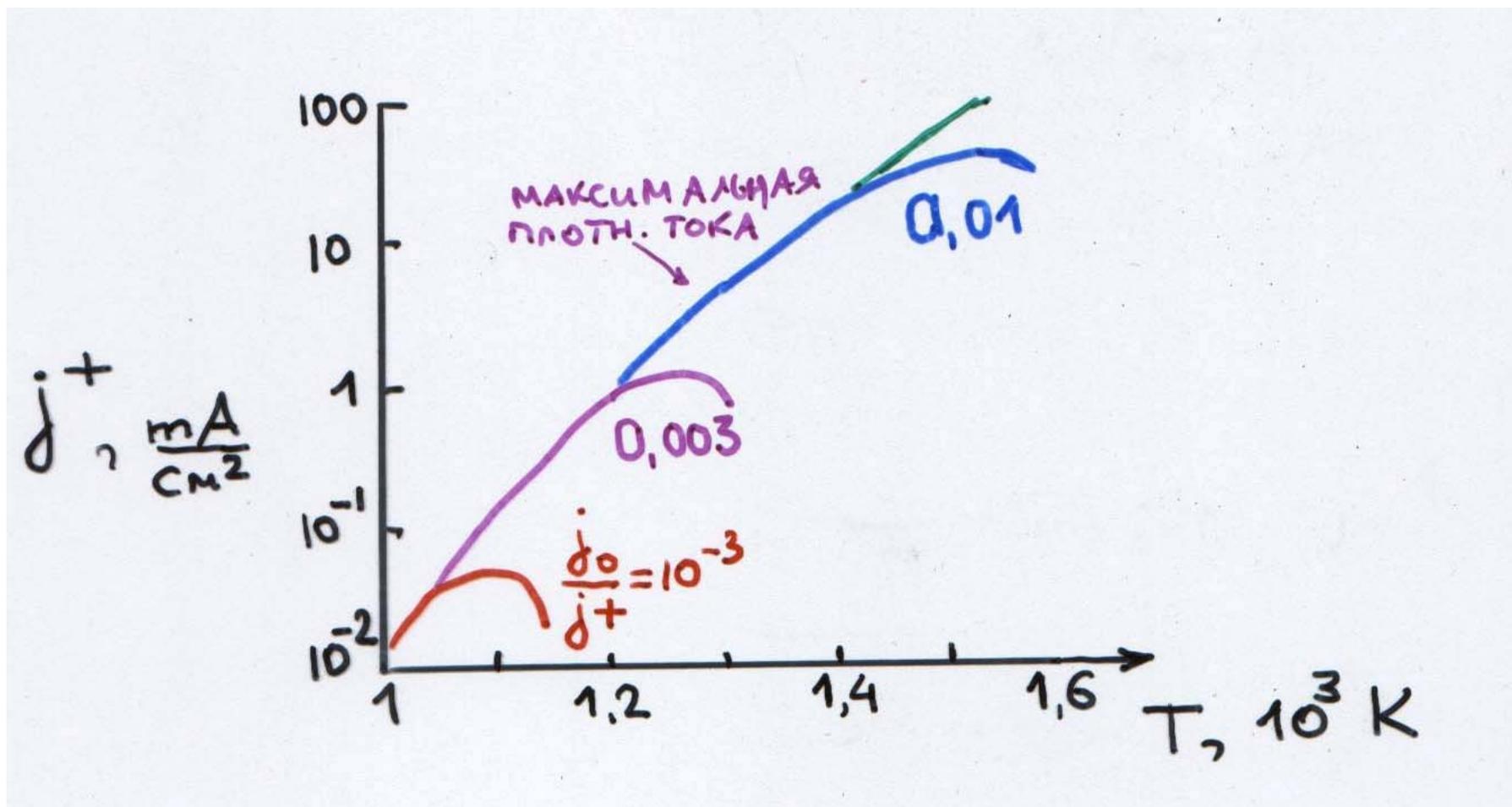
Изменение барьеров при увеличении θ_{Cs}



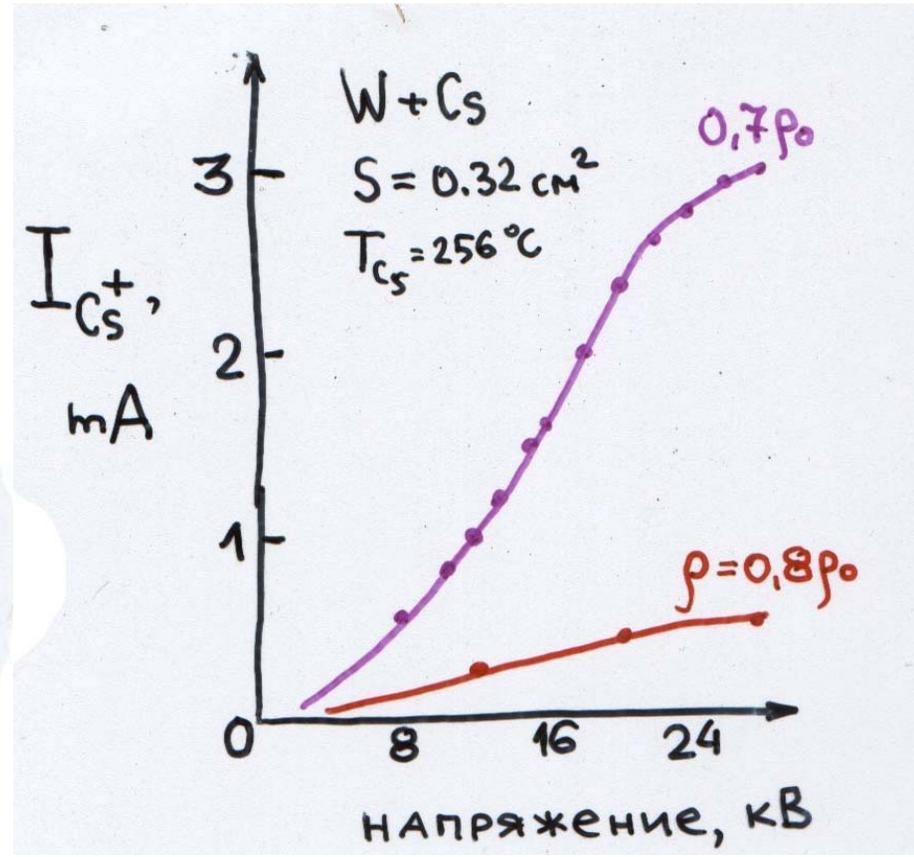
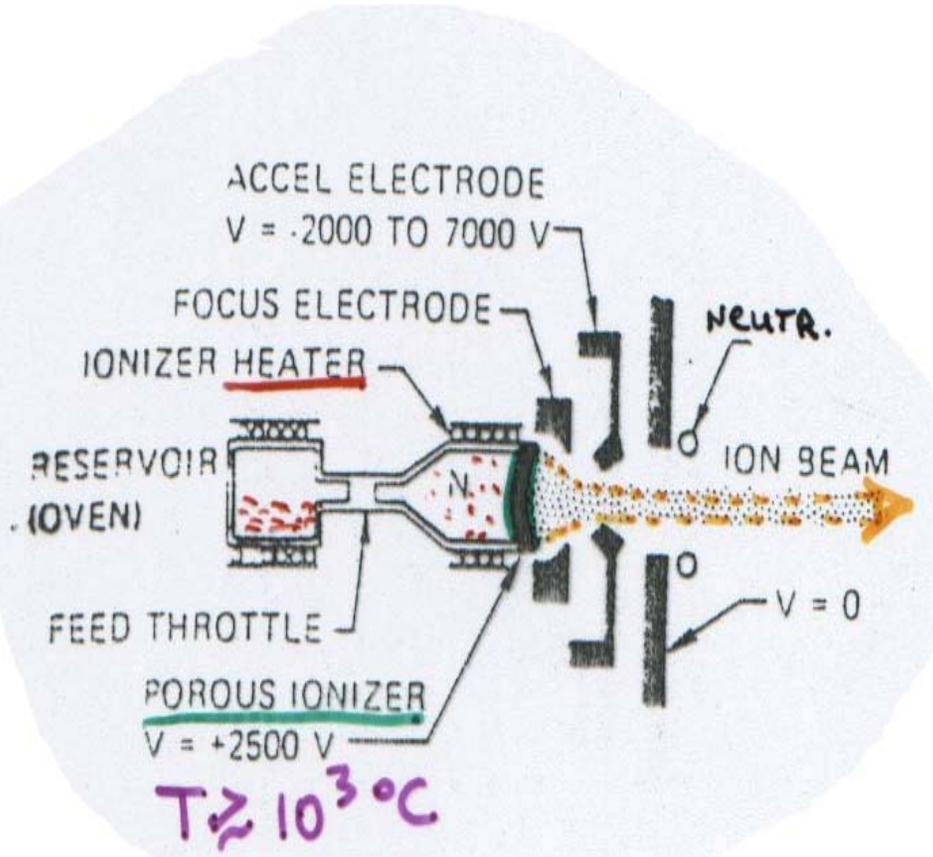
Изотерма десорбции

$$J^+ = N \omega \exp(-L^+ / kT)$$

Плотности тока при поверхностной ионизации цезия на вольфраме



Пористый поверхностный ионизатор



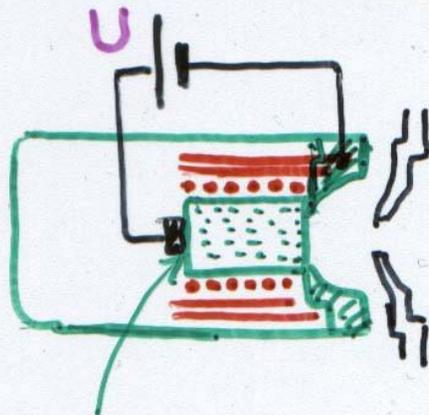
Конструкции поверхностных ионизаторов

Капиллярный ионизатор



$I^+ = 30 \mu\text{A}$ ($\Omega = 0.5 \text{sr}$)
 $j_0^+ = 0.4 \text{ A/cm}^2$;
дс, 6 недель

Алюмино-силикатный источник ионов



Алюмино-силикат лития
 $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$
(Cs, Na, K, Rb)

$T = 10^3 \text{ }^\circ\text{C}$;
 $L^+ \sim 1 \text{ mA}$
 $\text{Cs}^+ \sim 0.1 \text{ mA}$ — 50 часов
2000 часов — при
подаче напряжения
дрейфа