

Об интерпретации экспериментов по фотодесорбции на опытных образцах вакуумной камеры SSCL, изложенных в работе [1]

В.Г. Рогозинский

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

1. Камера с лайнером

На основании результатов теоретического рассмотрения, изложенных в [2], воспользуемся уравнениями (17) и (18) для n_ν и n_s . Только в случае лайнера в уравнении (17) добавится член, определяющий процесс откачки через отверстия в лайнере. Так как $n_\nu(t)$ и $n_s(t)$ являются медленными функциями времени (см. кривые C и D), то можно для $t > 10^3$ с, положив $n'_\nu \simeq 0$ и $n'_s \simeq 0$, получить приближенное решение для n_ν

$$n_\nu = 0,5K_\phi n_{ao}^2 B / [0,25P_o C B_o (1 + K_\phi n_{ao} t)^2]. \quad (1)$$

Определим величину $K_\phi n_{ao}$, используя формулу (1) из двух значений $n_{\nu 1}$ в момент времени t_1 и $n_{\nu 2}$ в момент времени t_2 , взятых из кривой C , и беря их отношение.

Для значений $n_{\nu 1} = 5 \cdot 10^7$ см⁻³ и $t_1 = 5 \cdot 10^3$ с, $n_{\nu 2} = 2 \cdot 10^8$ см⁻³ и $t_2 = 5 \cdot 10^5$ с, найдем $K_\phi n_{ao} = 1,2 \cdot 10^{-6}$ с⁻¹. Для значений t , удовлетворяющих условию $t < 10^4$ с, можно записать выражение

$$5 \cdot 10^6 = 0,5K_\phi n_{ao}^2 B / 0,25P_o C B_o. \quad (2)$$

Из (2) можно найти величину n_{ao} при известных значениях $K_\phi n_{ao}$, $P_o = 0,6$, $C = 3 \cdot 10^4$ см/с, $B = 10$ см, $B_o = 0,2$ см для $r = 0,1$ см, $N_o = 600$, $L = 100$ см, и следовательно, $n_{ao} = 3,8 \cdot 10^{17}$ ат/см². Из значения $K_\phi n_{ao}$ найдем $K_\phi = 3 \cdot 10^{-24}$ см²/с. Используя (1) и (2), получаем расчетную формулу для n_ν , хорошо аппроксимирующую экспериментальные данные C .

Коэффициент фотодесорбции можно оценить из отношения потока фотодесорбирующихся молекул H_2 с поверхности лайнера к потоку фотонов W :

$$\eta = 0,5K_\phi n_{ao}^2 B / W (1 + K_\phi n_{ao} t)^2. \quad (3)$$

Используя значения K_ϕ , n_{ao} , $W = 10^{14}$ фот/смс, найдем $\eta = 2 \cdot 10^{-2}$ мол/фот при малых величинах времени и $\eta = 8 \cdot 10^{-3}$ мол/фот при времени $5 \cdot 10^5$ с. Из этого следует, что η со временем облучения СИ убывает в соответствии с уменьшением концентрации атомов H на поверхности лайнера. Для кривой D , снятой при мощности СИ в 8 раз большей, $n_{ao} = 1 \cdot 10^{17}$ ат/см², $K_\phi = 5 \cdot 10^{-23}$ см²/с. Видно, что для кривой D K_ϕ увеличилось на порядок, ибо K_ϕ пропорционально интенсивности СИ. В то же время для кривой D начальная концентрация атомов H на поверхности лайнера оказалась меньшей в 4 раза по сравнению с кривой C .

Коэффициент фотодесорбции, рассчитанный по (3), в начале кривой равен $\eta = 2,3 \cdot 10^{-3}$ мол/фот, а при $t = 5 \cdot 10^5$ с $\eta = 2 \cdot 10^{-4}$ мол/фот, т.е. значение η для кривой D на порядок ниже. Так как в формуле (3) числитель, деленный на W , не зависит от W из-за линейной зависимости K_ϕ от W , то поток десорбирующихся молекул H_2 пропорционален n_{ao}^2 . В случае кривой D n_{ao} почти в 4 раза меньше. Откуда следует, что поток молекул в 16 раз меньше, что и привело к уменьшению η на порядок.

2. Камера без лайнера

На рис.2 работы [1] представлены результаты экспериментов по фотодесорбции H_2 в идентичной камере без лайнера. Как видно из кривых A и B , зависимость объемной концентрации H_2 от интегральной дозы, т.е. от времени, имеет линейный характер. Для интерпретации этих кривых воспользуемся упрощенной формулой (19) из работы [2] для водорода:

$$n_\nu = 0,5KWn_{ao}^2K_\phi t/0,25\alpha CBE_m n_{sm}(1 + K_\phi n_{ao}t). \quad (4)$$

При условии $K_\phi n_{ao}t \ll 1$ из (4) получим линейную зависимость n_ν от t . Полагая, что камера без лайнера характеризуется теми же стартовыми условиями, что и камера с лайнером, можем принять, что K_ϕ и n_{ao} одинаковы для обеих камер. Поэтому при $t < 10^5$ с выражение $(1 + K_\phi n_{ao}t) \approx 1$, и поэтому

$$n_\nu = mt, \quad (5)$$

где

$$m = 0,5KWn_{ao}^2K_\phi/0,25\alpha CBE_m n_{sm}. \quad (6)$$

Используя (5) и данные 4 точек кривой A , найдено среднее значение $m = 4,4 \cdot 10^4$ с $^{-1}$. Поэтому зависимость $n_\nu \approx 4,4 \cdot 10^4 t$ при условии $t < 10^5$ с удовлетворительно аппроксимирует кривую A . Зная значение m , можно найти из (6) величину $K = 10^{-2}$ при $\alpha = 1K_\phi = 3 \cdot 10^{-24}$ см 2 /с, $n_{ao} = 3,8 \cdot 10^{17}$ ат/см 2 и $n_{sm} = 3 \cdot 10^{17}$ мол/см 2 . Значение n_{sm} увеличено в 200 раз по сравнению со значением $1,5 \cdot 10^{15}$ мол/см 2 для идеально гладкой поверхности по аналогии с концентрацией атомов H . Коэффициент фотодесорбции равен

$$\eta = KE_\phi n_s/E_m n_{sm}, \quad (7)$$

где $E_\phi = 286$ эВ/фот — энергия фотона; $E_m = 6,5 \cdot 10^{-2}$ эВ/мол — энергия связи H_2 с поверхностью. Концентрация на поверхности камеры n_s , зависящая от t , описывается формулой, полученной из (20) работы [2]:

$$n_s \approx 0,5n_{ao}^2K_\phi t. \quad (8)$$

Из (8) найдем: $n_s = 2,17 \cdot 10^{11} t$. Оценим n_ν для равновесного состояния, т.е. при $t = \infty$, по формуле, полученной из (23) [2]:

$$n_\nu = 0,5KWn_{ao}/0,25E_m\alpha CBn_{sm}. \quad (9)$$

Подставляя в (9) вышеприведенные значения параметров, $n_{\nu\infty} = 4 \cdot 10^{10}$ см $^{-3}$. При коэффициенте пересчета при $T = 4,2$ К, $\alpha_o = 2,3 \cdot 10^{18}$ мол/Тор \cdot см 3 определим $P_{\nu\infty} = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Тор.

Равновесная концентрация n_s , на поверхности равна [2]; $n_{s\infty} = 0,5n_{ao}$, откуда $n_{s\infty} = 1,9 \cdot 10^{17}$ мол/см 2 , а доля поверхности, покрытой молекулами H_2 , $Q_s = n_{s\infty}/n_{sm} = 0,6$ монослоя.

Табл.1 дает представление о зависимости величин n_ν , n_s , Q_s и η от времени t .

Таблица 1:

t, c	$5 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$	∞
n_ν, cm^{-3}	$2,2 \cdot 10^8$	$4,4 \cdot 10^8$	$8,8 \cdot 10^8$	$2,2 \cdot 10^9$	$4,4 \cdot 10^9$	$4,4 \cdot 10^{10}$
n_s, cm^{-2}	$1,2 \cdot 10^{15}$	$2,2 \cdot 10^{18}$	$4,2 \cdot 10^{15}$	$1,1 \cdot 10^{16}$	$2,2 \cdot 10^{16}$	$1,9 \cdot 10^{17}$
Q_s	0,004	0,007	0,014	0,04	0,08	0,6
$\eta, мол/фот$	0,18	0,4	0,75	2	4	44

В заключение следует отметить, что положения теории фотодесорбции в камере СП-коллайдера под воздействием СИ [2] и на их основе расчетные зависимости для водорода удовлетворительно интерпретируют результаты эксперимента, изложенные в работе [1].

Список литературы

- [1] В.В.Анашин и др. Сборник докладов XIV совещания по ускорителям заряженных частиц. – Протвино, 1994, т.2, с.239.
- [2] Ю.Ж.Калинин, В.Г.Рогозинский. Препринт ИФВЭ 91-107, Протвино, 1991 г. // ВАНТ, (22), с. 9, 1992.