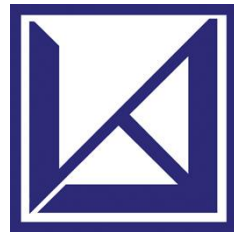


# Диффузия атомов рубидия в резонансной ячейке с парафиновым покрытием

С.Н. Атутов, Ф.А. Бенимецкий, А.И. Плеханов



Институт автоматике и электрoметрии СО РАН

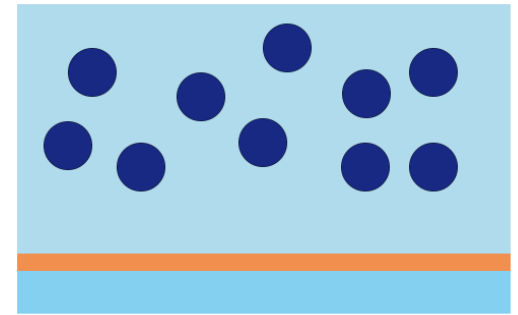
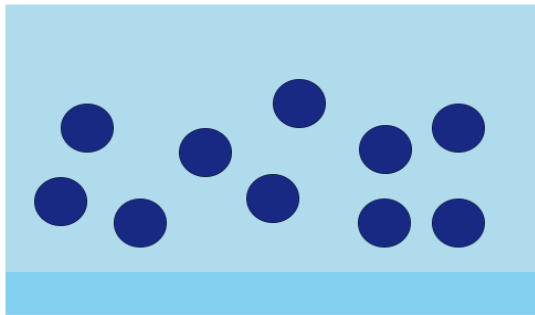
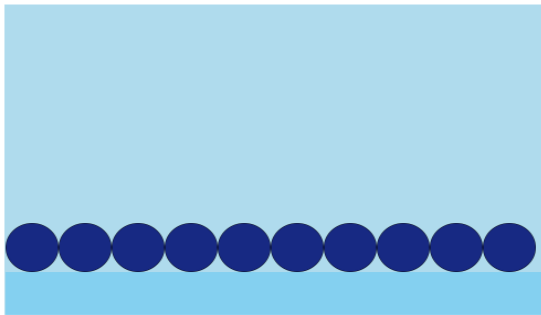
# Области применения



# Проблемы



Основная проблема - взаимодействие атомов с внутренними стенками стеклянных резонансных ячеек.



На монослой адсорбированных на стенке атомов площадью  $1 \text{ см}^2$  приходится порядка  $10^{16}$  атомов, при испарении всех атомов в объём  $1 \text{ см}^3$  давление станет порядка 1 Торр.

# Публикации по теме



JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 114, 094513 (2013)



## High quality anti-relaxation coating material for alkali atom vapor cells

M. V. Balabas<sup>1,2,\*</sup>, K. Jensen<sup>1</sup>, W. Wasilewski<sup>1</sup>, H. Krauter<sup>1</sup>, L. S. Madsen<sup>1</sup>,  
J. H. Müller<sup>1</sup>, T. Fernholz<sup>1</sup>, and E. S. Polzik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>QUANTOP, Danish National Research Foundation Center for Quantum Optics  
Niels Bohr Institute, University of Copenhagen, Denmark  
<sup>2</sup>V. A. Fock Institute, St. Petersburg University, Russia

## Light-induced changes in an alkali metal atomic vapor cell coating studied by X-ray photoelectron spectroscopy

A. M. Hibberd,<sup>1</sup> S. J. Seltzer,<sup>2,3</sup> M. V. Balabas,<sup>4</sup> M. Morse,<sup>5</sup> D. Budker,<sup>6,7</sup>  
and S. L. Bernasek<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemistry, Princeton University, Princeton, New Jersey 08544, USA

<sup>2</sup>Department of Chemistry, University of California, Berkeley, California 94720, USA

<sup>3</sup>Materials Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California 94720, USA

<sup>4</sup>Department of Physics, Saint-Petersburg State University, St. Petersburg 198504, Russia

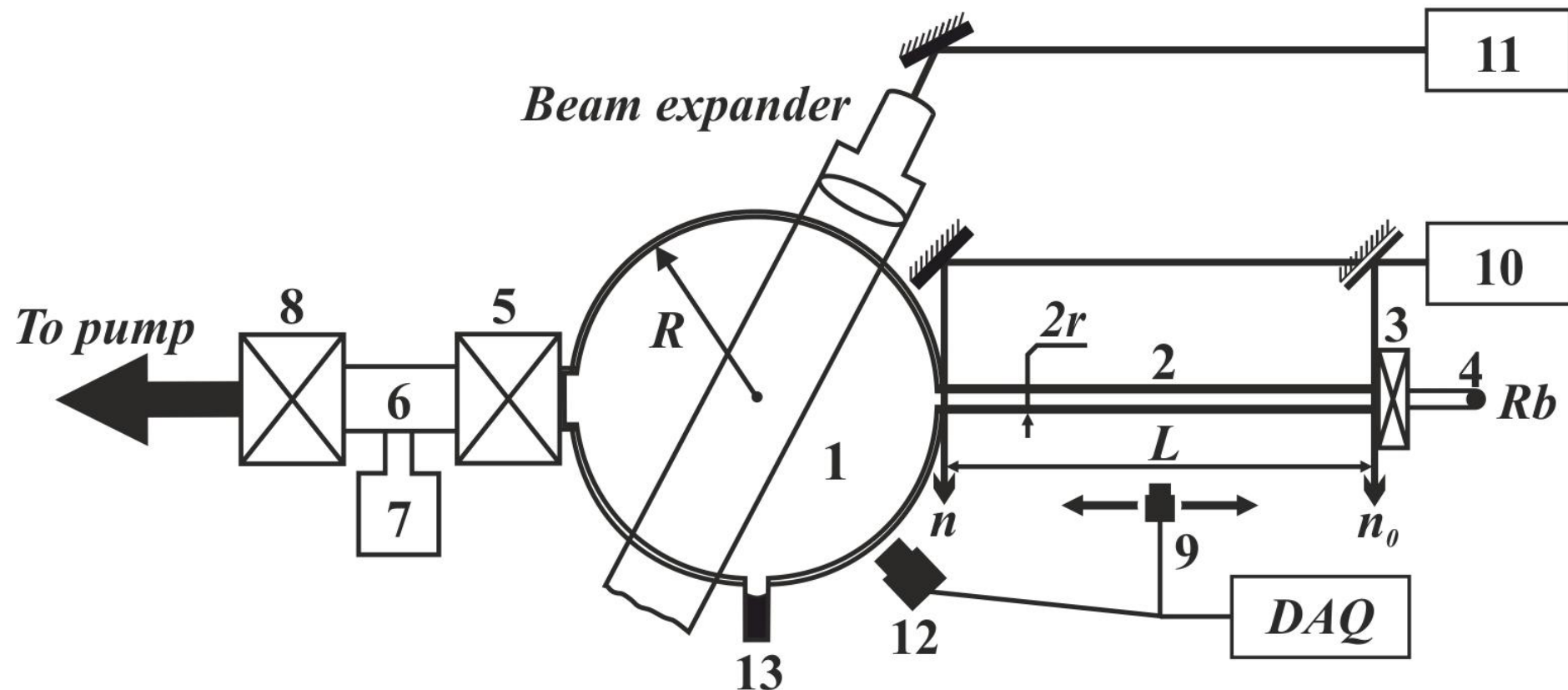
<sup>5</sup>Department of Materials Science Engineering, Boise State University, Boise, Idaho 83725, USA

<sup>6</sup>Department of Physics, University of California, Berkeley, California 94720-7300, USA

<sup>7</sup>Nuclear Science Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California 94720, USA

- M. V. Balabas, K. Jensen, W. Wasilewski, H. Krauter, L. S. Madsen, J. H. Müller, T. Fernholz and E. S. Polzik, *Optics express*, Vol. 18, N 6 (2010).
- A. M. Hibberd, S. J. Seltzer, M. V. Balabas, M. Morse, D. Budker et al., *J. Appl. Phys.* 114, 094513 (2013).
- D.I. Sevost'yanov, V.P. Yakovlev, A.N. Kozlov, V.V. Vasil'ev, S.A. Zibrov, V.L. Velichansky *Quantum Electronics* 43 (7) 638 – 645 (2013)
- K. Nasyrov, S. Gozzini, A. Lucchesini, C. Marinelli, S. Gateva, S. Cartaleva, and L. Marmugi, *Physical Review A* 92, 043803 (2015)

# Экспериментальная установка



1 - bulb; 2 - cylindrical tube; 4 - appendix with  $R_b$ ; 3, 5, 8 - valves;  
6 - pump tube, 7 - vacuum gauge; 8 - moveable photodiode;  
10, 11 - diode lasers, 12 - photodiode, 13 - container

# Подготовка ячейки



# Диффузия атомов рубидия



$$I_{flux} = F_{glass}$$

$$S_{tube} D_{tube} grad n_{tube} = S_{coat} D_{coat} grad n_{coat}$$

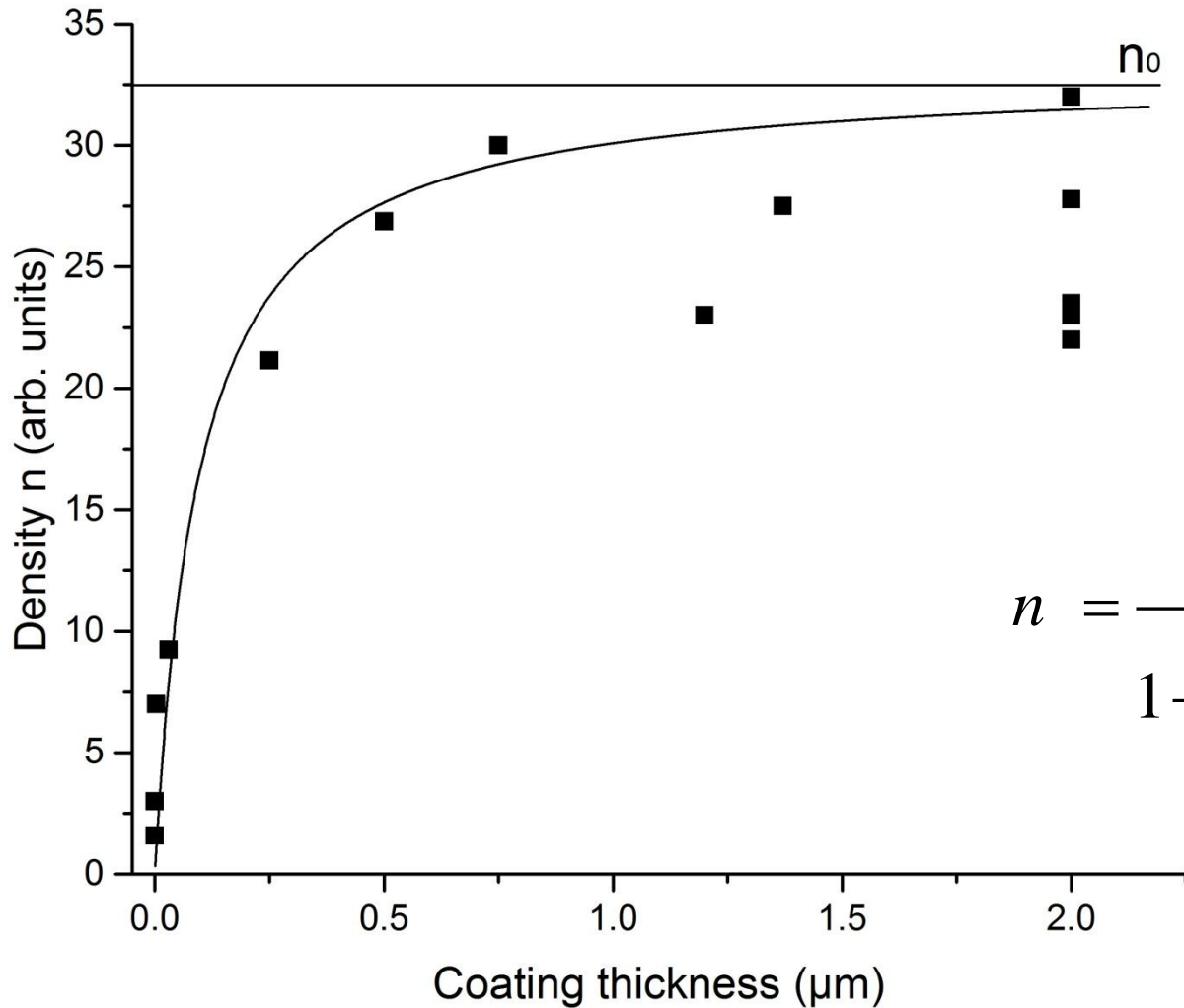
$$S_{tube} \frac{n_0 - n}{L} D_{tube} = S_{coat} \frac{n}{l} D_{coat}, \text{ где } D_{tube} = \frac{2r\bar{v}}{3} \text{ и } \bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$$

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{6D_{coat} \cdot R^2 \cdot L}{\bar{v} \cdot r^3 \cdot l}}$$

I.  $6D_{coat} \cdot R^2 \cdot L \gg \bar{v} \cdot r^3 \cdot l$

II.  $6D_{coat} \cdot R^2 \cdot L \ll \bar{v} \cdot r^3 \cdot l$

# Диффузия атомов рубидия



$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{6D_{coat} \cdot R^2 \cdot L}{\bar{v} \cdot r^3 \cdot l}}$$

$$D_{coat} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$$



# Поляризованные атомы



$$P = \phi_{esc} + \phi_{depolar} + \phi_{adsorb}$$

$$\phi_{esc} = K \cdot \frac{n_{polar}}{L} = \frac{2\pi r^3 \bar{v} n_{polar}}{3L}$$

$$\phi_{depolar} = \frac{\pi R^2 \bar{v} n_{polar}}{\chi_{depolar}}$$

$$\phi_{adsorb} = \frac{\pi R^2 \bar{v} n_{polar}}{\chi_{adsorb}}$$

# Поляризованные атомы



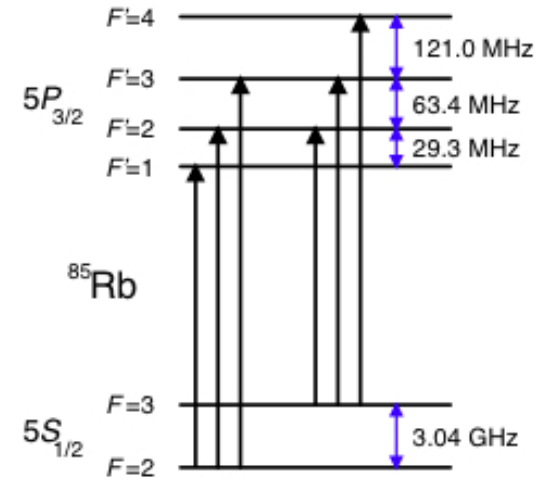
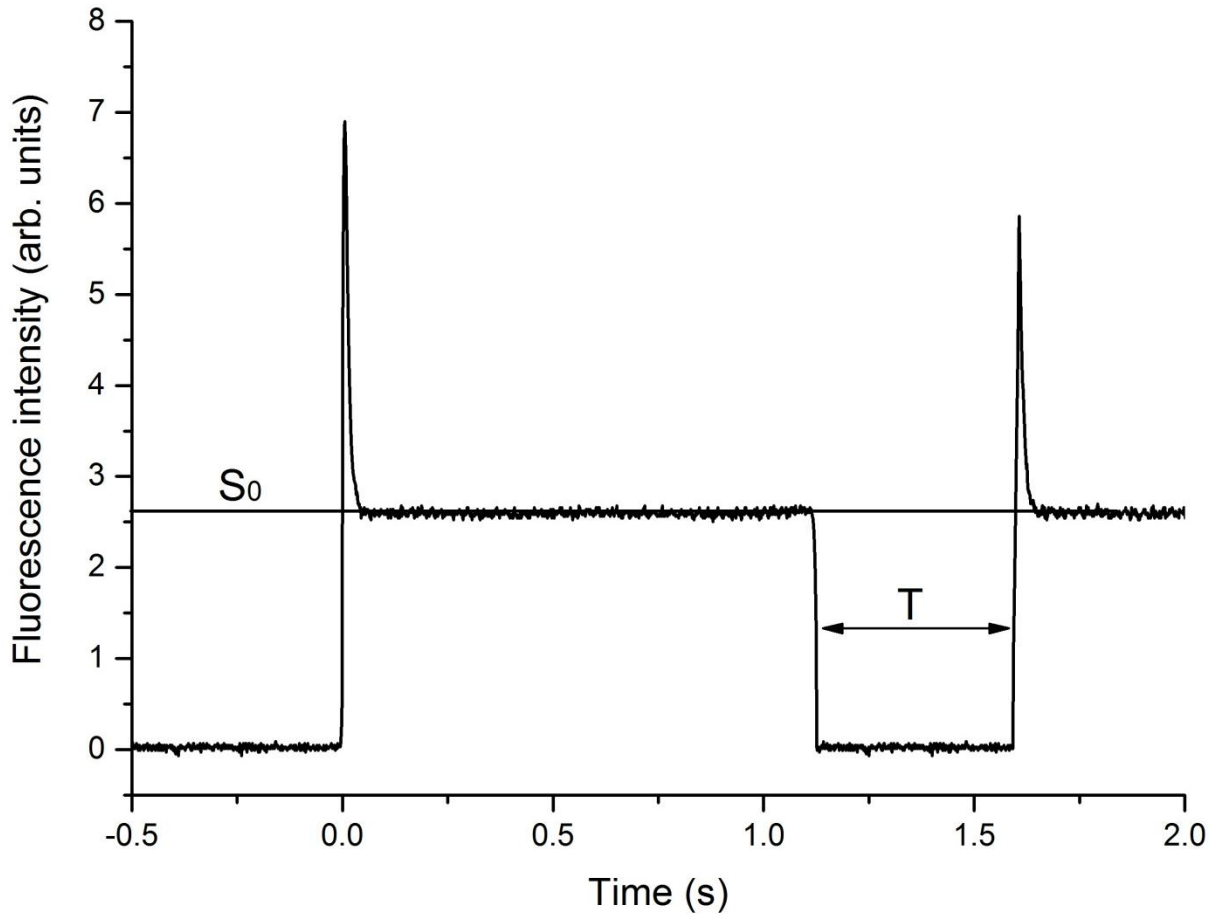
$$N_{polar} = P \cdot \tau$$

$$P = \frac{2\pi r^3 \bar{v} n_{polar}}{3L} + \frac{\pi R^2 \bar{v} n_{polar}}{\chi_{depolar}} + \frac{\pi R^2 \bar{v} n_{polar}}{\chi_{adsorb}}$$

$$\tau = \left( \left( \frac{2L}{\bar{v}} \left( \frac{R}{r} \right)^3 \right)^{-1} + \left( \frac{\chi_{depolariz} l_{mean.path}}{\bar{v}} \right)^{-1} + \left( \frac{\chi_{adsorb} l_{mean.path}}{\bar{v}} \right)^{-1} \right)^{-1}$$

$$l_{mean.path} = 4R / 3$$

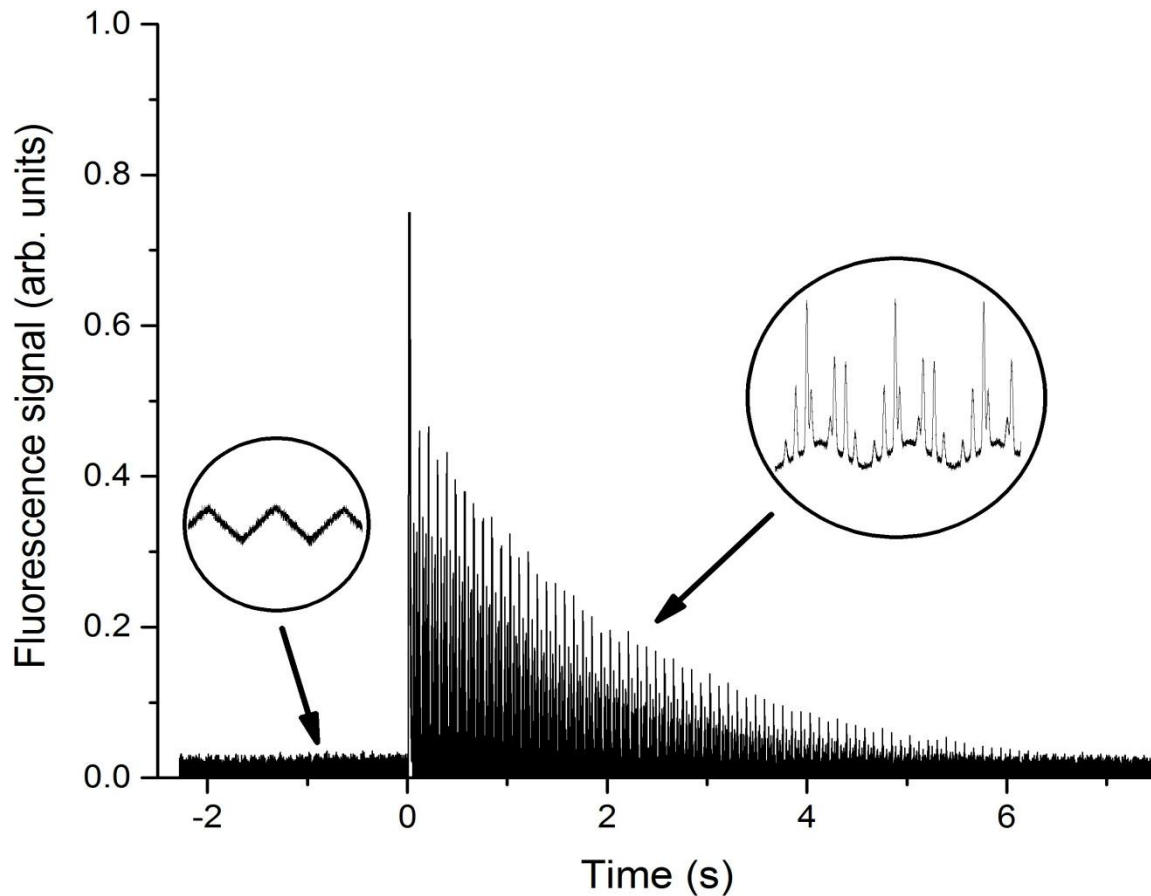
# Время жизни



$$\tau = \frac{\chi \cdot l_{\text{mean.path}}}{\bar{v}}$$

$\tau$	$\chi$	$\tau_{\text{depolar}}$	$\chi_{\text{depolar}}$	$\tau_{\text{esc}}$	$\tau_{\text{absorb}}$	$\chi_{\text{absorb}}$
0.42 s	$1.4 \times 10^3$					

# Поглощение и вытекание



$$\tau = \frac{\chi \cdot l_{mean.path}}{\bar{U}}$$

$$\tau_{esc,abs} = 2s$$

$$\tau_{esc} = \left( \tau_{esc,adsorb}^{-1} - \tau_{adsorb}^{-1} \right)^{-1}$$

$\tau$	$\chi$	$\tau_{depolar}$	$\chi_{depolar}$	$\tau_{esc}$	$\tau_{absorb}$	$\chi_{absorb}$
0.42 s	$1.4 \times 10^3$	0.53 s	$2 \times 10^3$	3.3 s	0.42 s	$1.7 \times 10^4$

# Результат



$$\tau = \left( \left( \frac{2L}{\bar{v}} \left( \frac{R}{r} \right)^3 \right)^{-1} + \left( \frac{\chi_{depolariz} l_{mean.path}}{\bar{v}} \right)^{-1} + \left( \frac{\chi_{adsorb} l_{mean.path}}{\bar{v}} \right)^{-1} \right)^{-1}$$

$\tau$	$\chi$	$\tau_{depolar}$	$\chi_{depolar}$	$\tau_{esc}$	$\tau_{esc}$ (model)	$\tau_{adsorb}$	$\chi_{adsorb}$
0,42 s	$1.4 \cdot 10^3$	0.53 s	$2 \cdot 10^3$	3,3 s	3,6 s	5s	$1.7 \cdot 10^4$ s

$$D_{coat} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$$

# Выводы



- Построена теоретическая модель диффузии атомов Rb в парафине и измерен коэффициент диффузии
- Исследована зависимость количества атомов Rb в объеме ячейки как функция толщины покрытия.

**Спасибо за внимание!**