

# **ПРОБЛЕМНЫЕ ТЕМЫ ШКОЛЬНОЙ ФИЗИКИ: КВАЗИСТАТИКА, БЕРНУЛЛИ, ВЛАЖНОСТЬ, ВЯЗКОСТЬ И ДР. ОТВЕТЫ НА СЛОЖНЫЕ ВОПРОСЫ УЧАЩИХСЯ**

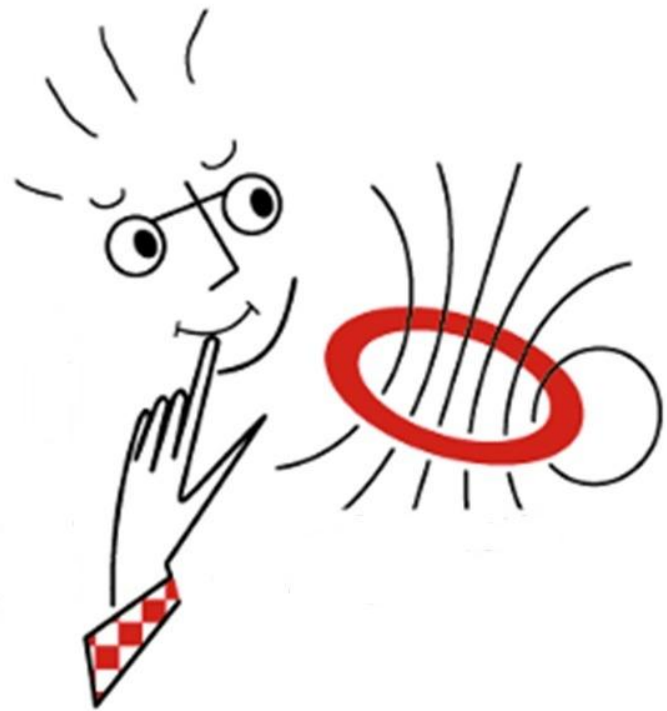
**М.Н. Осин**

**доцент кафедры общей физики МФТИ, к.т.н.,  
член жюри заключительного этапа  
Всероссийской олимпиады школьников по  
физике,  
член предметно-методической комиссии по  
олимпиадам Минобрнауки РФ,  
тренер национальной сборной школьников  
России по физике**

**Тел. +7 916 476 3279  
miosin@yandex.ru**

# План лекции

- ? 1. Закон Гука, модуль Юнга
- ? 2. Сила Архимеда в неинерциальных системах
- ? 3. Трение покоя
- ? 4. Вязкость, зависимость вязкости от скорости
- ? 5. Уравнение Бернулли, уравнение неразрывности
- ? 6. Электростатика и квазистатика
- ? 7. Сила Кулона и сила Лоренца
- ? 8. Влажность, переохлажденная жидкость, перенасыщенный пар
- ? 9. Теплоемкость газов
- ? 10. Температура
- ? 11. Обратимые и необратимые процессы, энтропия
- ? 12. Эквивалентная ЭДС
- ? 13. Квантование момента импульса
- ? 14. Принцип неопределенности
- ? 15. Размерность пространства
- ? 16. Темная материя



# 1. Закон Гука, модуль Юнга

?  $F = k\Delta x$

?  $\sigma = \varepsilon E$      $\sigma = F/S$  – напряжение (stress)

?  $\varepsilon = \Delta x/l$  – относительная деформация

?  $E$  – модуль Юнга

?  $k = SE/l$

? Даны две пружины из одинакового материала. Диаметры витков пружин 3 мм и 9 мм, их длины 1 см и 7 см, диаметры проволок 0,1 мм и 0,3 мм. Чему равна жесткость второй пружины, если жесткость первой 14 Н/м?



## 2. Сила Архимеда в НЕИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

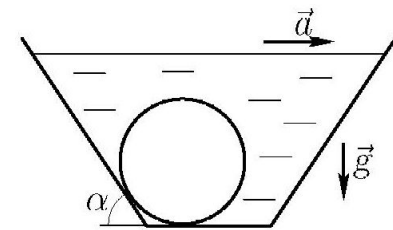
$$\vec{F}_A = \rho V(\vec{a} - \vec{g})$$

1. В сосуде с водой находится стеклянный шар. Стенки сосуда и дно гладкие. Дно горизонтальное, левая стенка наклонена под углом  $\alpha = 45^\circ$  к горизонту (см. рис.). Объем шара  $V$ , плотность воды  $\rho$ , плотность шара  $3\rho$ .

1) Найдите силу давления шара на дно при неподвижном сосуде.

2) Найдите силу давления шара на дно при движении сосуда с горизонтальным ускорением  $a = g/4$ .

В обоих случаях шар находится полностью в воде.



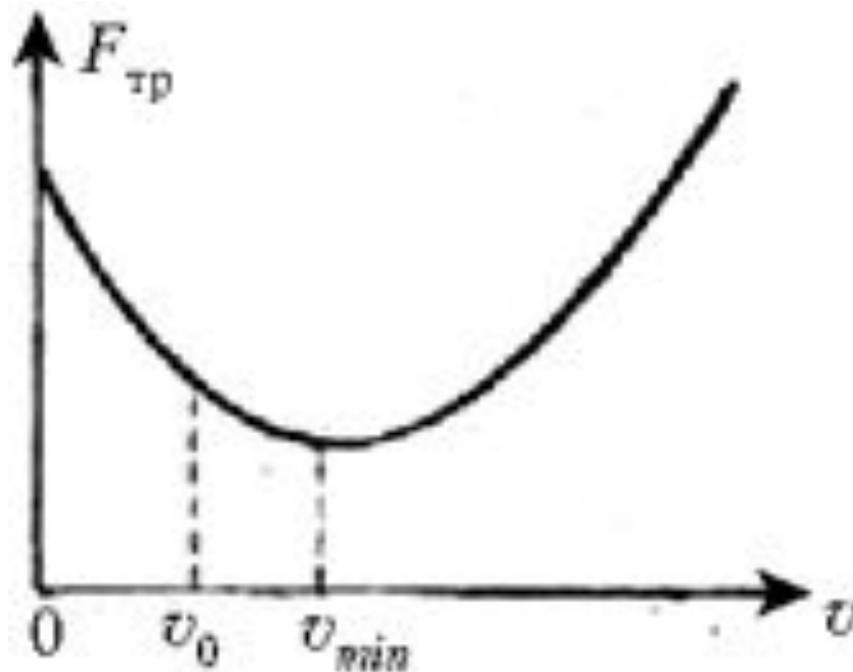
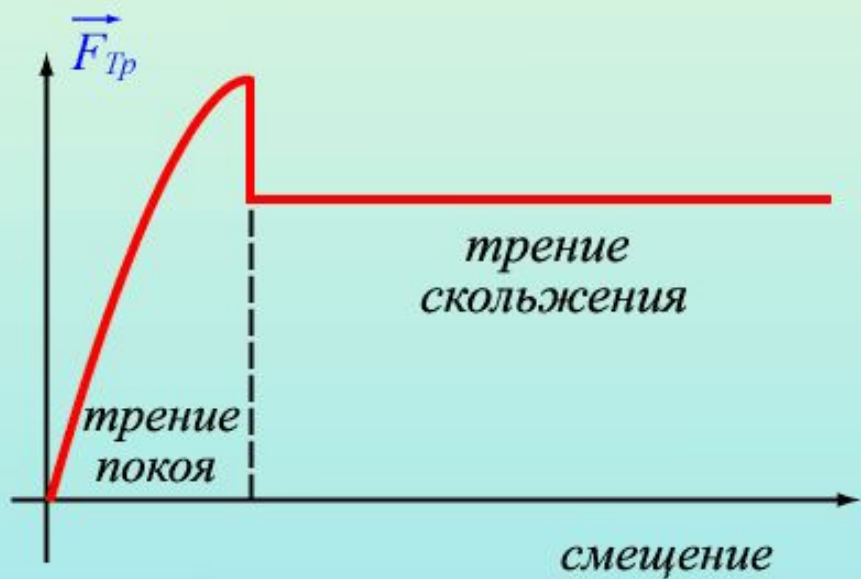
Пассажиры (2016)



# 3. ТРЕНИЕ ПОКОЯ

? Закон Амонтона – Кулона

$$F = \mu N$$



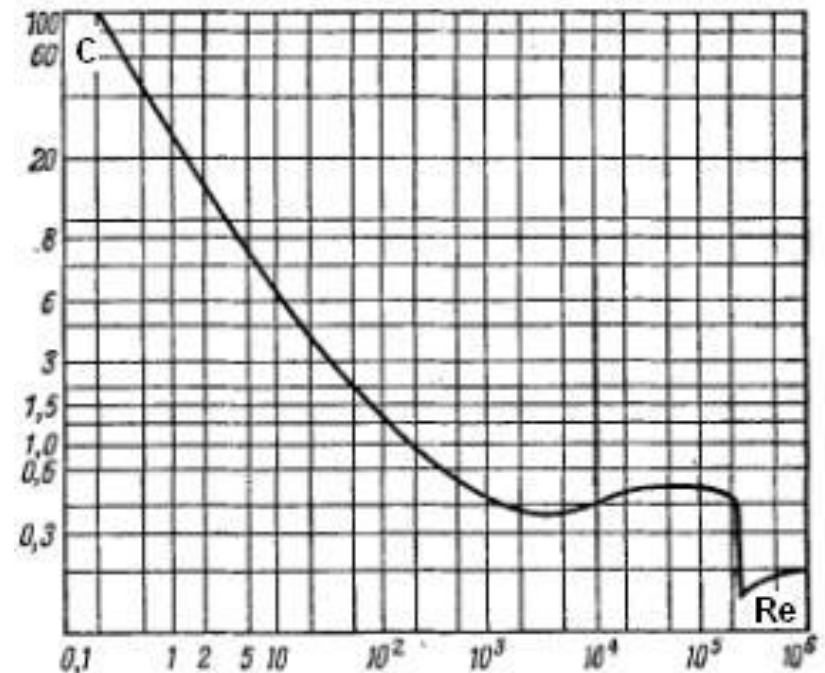
## 4. Вязкость, ЗАВИСИМОСТЬ СИЛЫ ВЯЗКОСТИ ОТ СКОРОСТИ

? 1. A man, mass 90 kg, and a woman, who is lighter, are seated at rest in a 20 kg canoe that floats upon a placid frictionless lake. The seats are 2.8 m apart and are symmetrically located on each side of the canoe's center of mass. The man and woman decide to swap seats and the man notices that the canoe moves 30 cm relative to a submerged log during the exchange. The man uses this fact to determine the woman's mass. (a) What is the woman's mass? (b) Will the nerd completely ruin the date by showing the woman his calculations?

?  $F = -kV = m\Delta V/\Delta t$ ,  $m\Delta V = -k\Delta x = 0$ ,  $\Delta x = 0$  при  $k \neq 0$ .

?  $\tau = \mu dV/dy$ ,  $v = \mu/\rho$

$$\text{Re} = \frac{Vd}{\nu}$$



# 5. УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ, УРАВНЕНИЕ НЕРАЗРЫВНОСТИ



? **Даниил Бернулли** (1700-1782), швейцарский физик, механик и математик, один из создателей кинетической теории газов, гидродинамики и математической физики.

$$\frac{\rho V^2}{2} + \rho gh + p = const$$

Уравнение неразрывности:  $\rho VS = const$

Учет силы Лоренца (МГД):  $j \times B \cdot x$

$$V \approx \sqrt{2gH}$$



## 6. ЭЛЕКТРОСТАТИКА И КВАЗИСТАТИКА

### ? Критерии квазистатики:

? 1.  $L_{\text{хар}} \ll \lambda = c/\nu$ . Для  $\nu = 50$  Гц  $\lambda/4 = 1500$  км.

?  $j \gg j_{\text{см}}$  (токи смещения,  $j_{\text{см}} = \varepsilon_0 dE/dt$ ) или

?  $\tau_{\text{хар}} \gg \varepsilon_0/\lambda_{\text{пр}}$  ( $\lambda_{\text{пр}}$  - проводимость,  $j = \lambda_{\text{пр}} E$ )



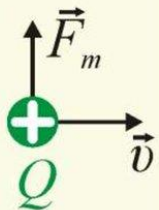


# 7. Сила Кулона и сила Лоренца



В электрическом поле на заряженную частицу действует сила Кулона

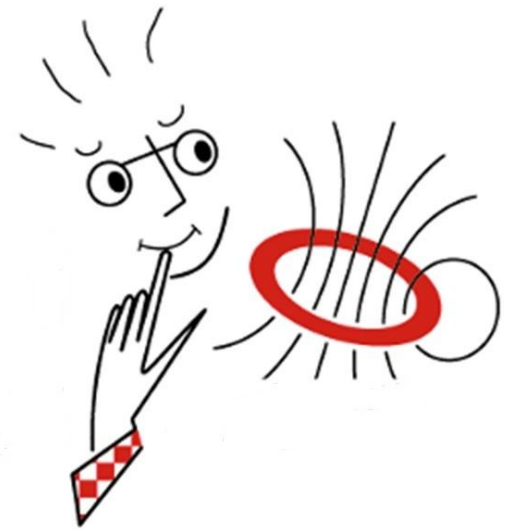
$$\vec{F}_e = Q\vec{E}$$



При движении в МП на нее действует сила

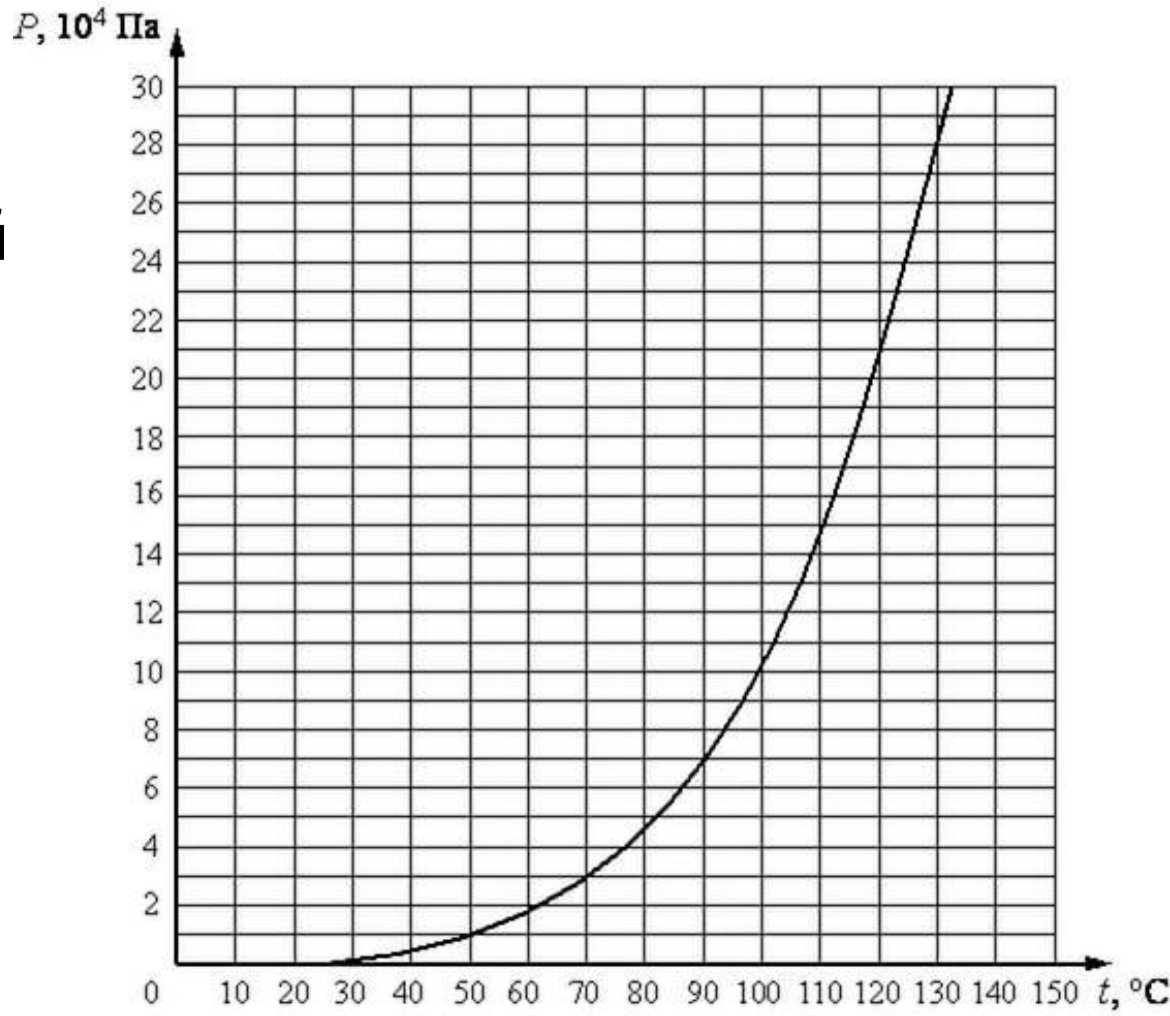
$$\vec{F}_m = Q[\vec{v}, \vec{B}]$$

**Одноименные заряды отталкиваются, а однонаправленные токи притягиваются. Почему?**



## 8. Влажность, переохлажденная жидкость, перенасыщенный пар

- ? 1. Сковорода
- ? 2. Солевая грелка
- ? 3. След от самолета
- ? 4. Управление погодой



# 9. ТЕПЛОЕМКОСТЬ ГАЗОВ

- ? 1. Изохорный процесс:  $C_V = 3/2 \cdot \nu RT$
- ? 2. Изобарический процесс:  $C_p = 5/2 \cdot \nu RT$
- ? 3. Изотермический процесс:  $C_T = 0$
- ? 4. Адиабатический процесс:  $C_A = \infty$
- ? 5.  $P = -aV+b$ :  $C < 0$  (на участке).



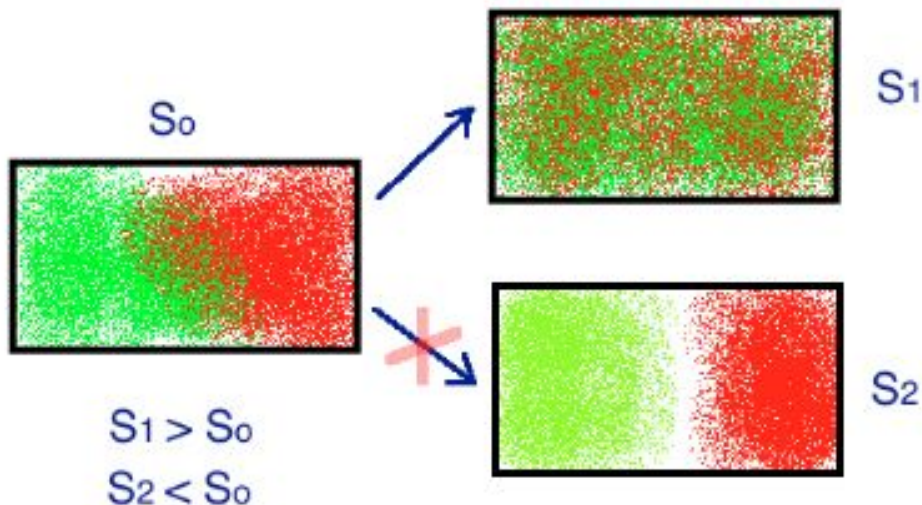
# 10. ТЕМПЕРАТУРА

- ? 1. Необходимо достижение распределения Максвелла (Больцмана)  $\tau_{\text{хар}} \approx 1/(n\sigma v)$  или  $V_{\text{поршня}} \ll V_{\text{зв}}$
- ? 2. Низкотемпературная плазма – двухтемпературное вещество
- ? 3. Инверсионная (лазерная) среда –  $T(\text{К}) < 0$  (формально)
- ? 4. Гиперзвуковой поток ( $M \gg 1$ ) –  $T_{\text{колеб}} > T$  (в аэродинамической трубе),  $T_{\text{колеб}} < T$  (в полете)



# 11. ОБРАТИМЫЕ И НЕОБРАТИМЫЕ ПРОЦЕССЫ. ЭНТРОПИЯ

$dS = dQ/T$   
 $S = k \cdot \ln W$   
 $W$  – число микросостояний



## Закономерности изменения энтропии

1. Энтропия возрастает при переходе вещества из твёрдого состояния в жидкое и далее в газообразное.

Вещество	H <sub>2</sub> O (к)	H <sub>2</sub> O (ж)	H <sub>2</sub> O (г)
S°, Дж/К·моль	39,0	70,8	188,7

1. Энтропия тем больше, чем сложнее химический состав вещества.

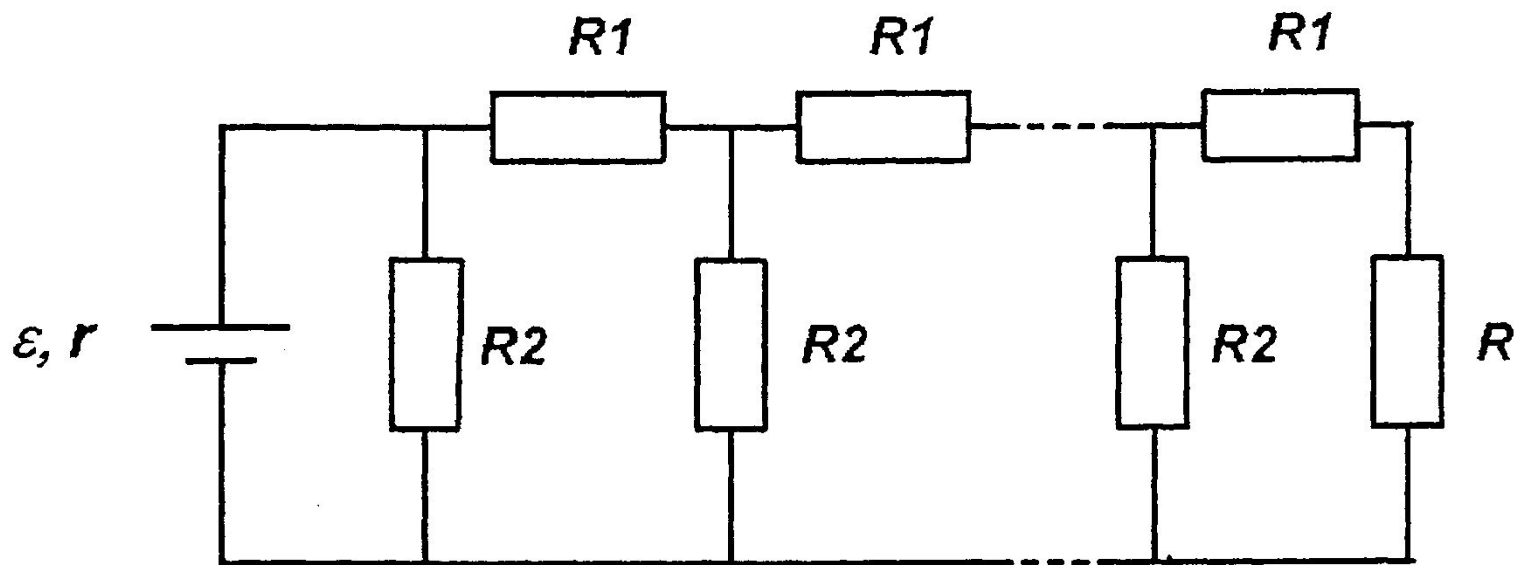
Вещество	WCl <sub>2</sub>	WCl <sub>4</sub>	WCl <sub>6</sub>
S°, Дж/К·моль	130	207	254

1. Энтропия уменьшается с увеличением твердости вещества.

Вещество	С (алмаз)	С (графит)
S°, Дж/К·моль	2,44	5,7

# 12. Эквивалентная ЭДС

- ? Найдите ток, текущий через сопротивление  $R = 17 \text{ Ом}$ , в схеме, изображенной на рисунке. Внутреннее сопротивление источника  $r = 3 \text{ Ом}$ , ЭДС  $\varepsilon = 10 \text{ В}$ . Звено с сопротивлениями  $R_1 = 1 \text{ Ом}$  и  $R_2 = 6 \text{ Ом}$  повторяется 17 раз.



# 13. КВАНТОВАНИЕ МОМЕНТА ИМПУЛЬСА

?  $Mvr = nh/2\pi$  (Нильс Бор, 1913)

$$E_n = -me^4/2h^2n^2 = -13,6 \text{ эВ}/n^2$$

Я обнаружил серьезное затруднение: как может электрон знать, с какой частотой он должен колебаться, переходя из одного стационарного состояние в другое? Мне кажется, что электрон знает заблаговременно, где он собирается остановиться (**Резерфорд**).

«Если мы собираемся сохранить эти проклятые квантовые скачки, то я жалею, что вообще имел дело с квантовой теорией! (**Шредингер**)



# 14. ПРИНЦИП НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

?  $\Delta x \cdot \Delta p \geq h/2\pi$

? Падающий карандаш ( $m = 10$  г,  $l = 10$  см),

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$\theta(t) = Ae^{t/\tau} + Be^{-t/\tau} \quad \theta(t) = \frac{1}{2}(\theta_0 + \omega_0\tau)e^{t/\tau} + \frac{1}{2}(\theta_0 - \omega_0\tau)e^{-t/\tau}$$

$$\theta(t) \approx \frac{1}{2}(\theta_0 + \omega_0\tau)e^{t/\tau}.$$

$$\theta(t) \geq \frac{1}{2}\left(\theta_0 + \frac{\hbar\tau}{ml^2\theta_0}\right)e^{t/\tau} \quad \theta_0 = \sqrt{\frac{\hbar\tau}{ml^2}} \quad \theta(t) \geq \sqrt{\frac{\hbar\tau}{ml^2}}e^{t/\tau}$$

$$t \leq \frac{1}{4}(0.1 \text{ s}) \ln(9 \cdot 10^{61}) \approx 3.5 \text{ s}.$$





# 15. РАЗМЕРНОСТЬ ПРОСТРАНСТВА, ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ

