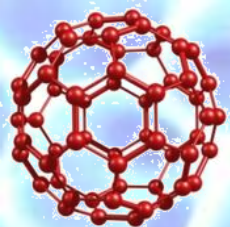


Лекция 3

# **УГЛЕРОДНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ**



# Элемент-строитель образуют длинные цепочки

## Энергии гомоядерных связей (кДж/моль)

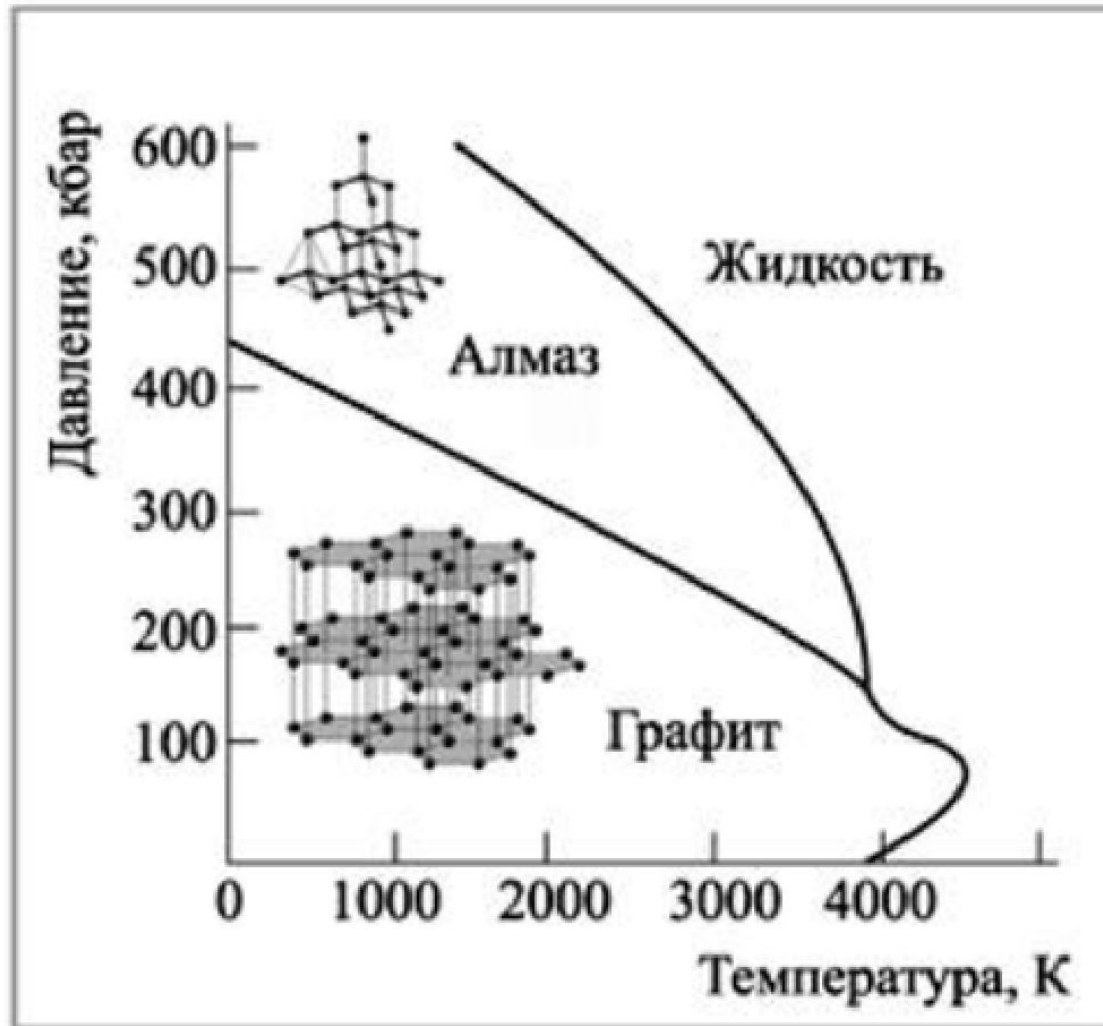
|                  |     |     |     |       |     |     |
|------------------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|
| Химическая связь | C-C | N-N | O-O | Si-Si | P-P | S-S |
| Энергия связи    | 348 | 163 | 146 | 226   | 201 | 264 |

## Энергии связей углерод-углерод (кДж/моль)

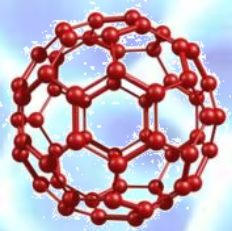
|                                    |                 |                 |     |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|-----|
| Химическая связь                   | C-C             | C=C             | C≡C |
| Энергия связи                      | 348             | 612             | 838 |
| Гибридное состояние атома углерода | sp <sup>3</sup> | sp <sup>2</sup> | sp  |



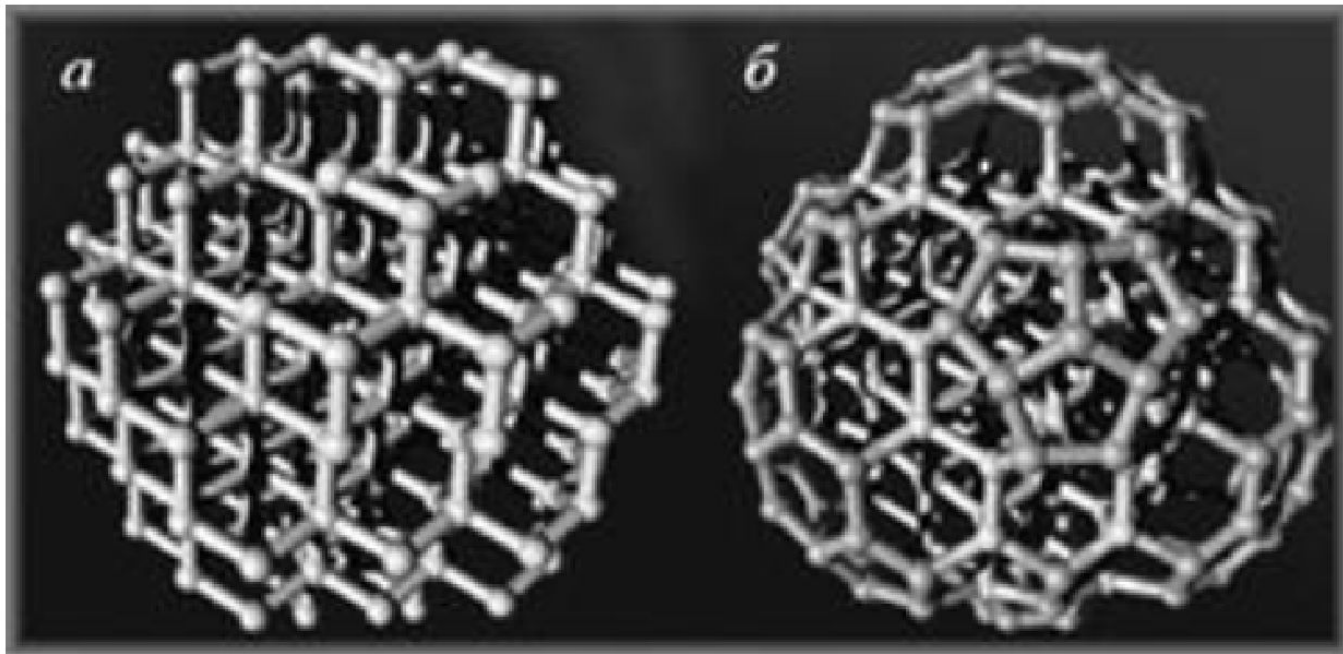
# устойчивых аллотропных формы

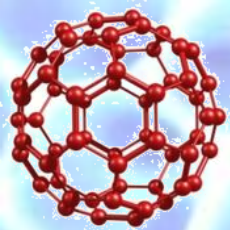






# НанодIAMазы





# Наноалмазы

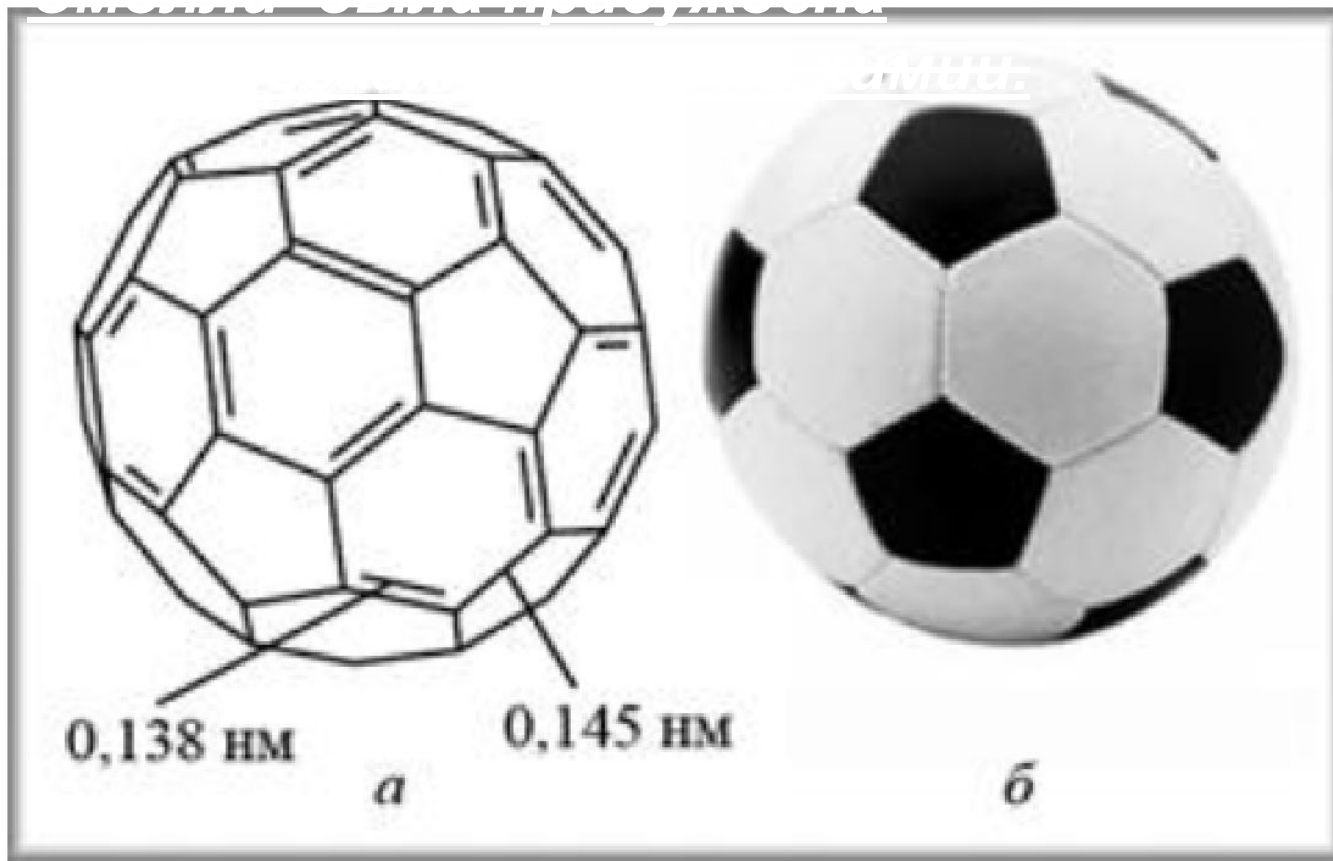
## Теплоты образования алмаза и наноалмаза

| Вид алмаза       | $Q_{\text{обр}}(298 \text{ K}), \text{ кДж/моль}$ | $\Delta H_{\text{обр}}(298 \text{ K}), \text{ кДж/моль}$ |
|------------------|---|--|
| Обычный алмаз    | -1,8  | +1,8   |
| Наноалмаз (5 нм) | +4,0  | -4,0   |

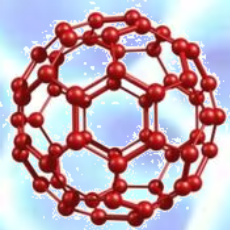


# Бакминстера (buckyballs)

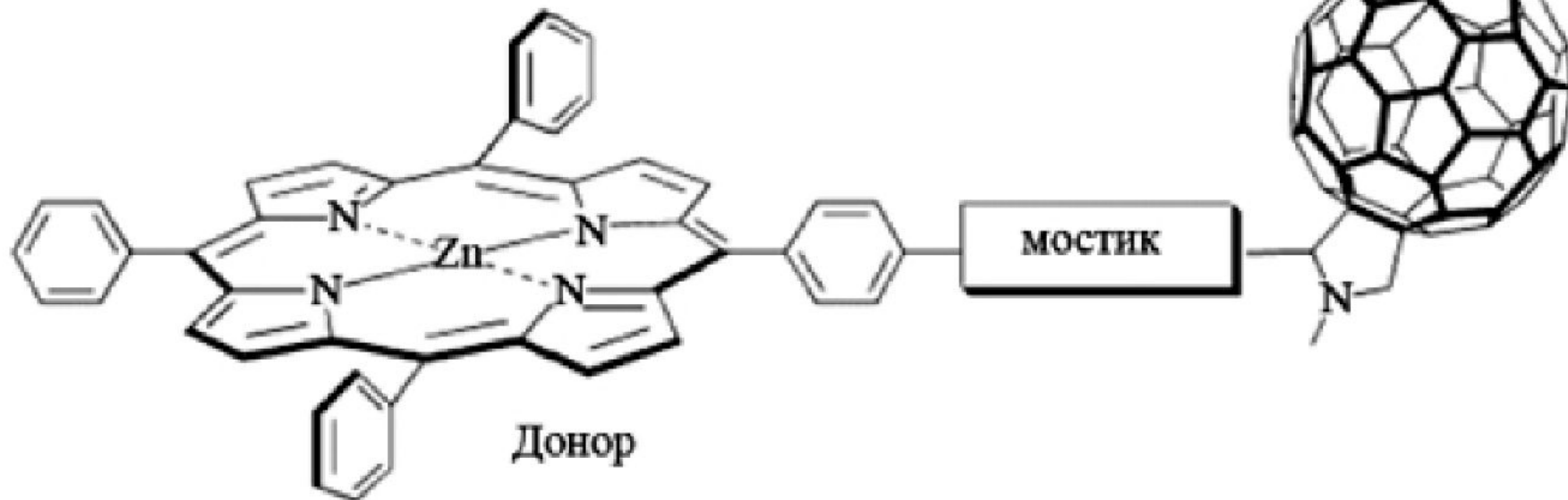
В 1996г. первооткрывателям  
фуллеренов Р.Керр, Х.Крото, Р.  
Смитта была присуждена

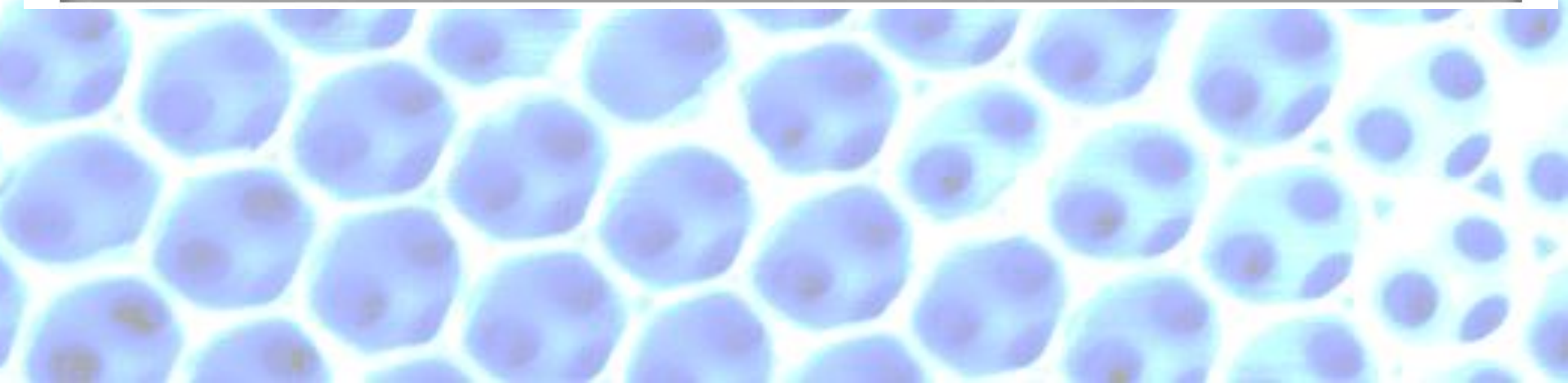
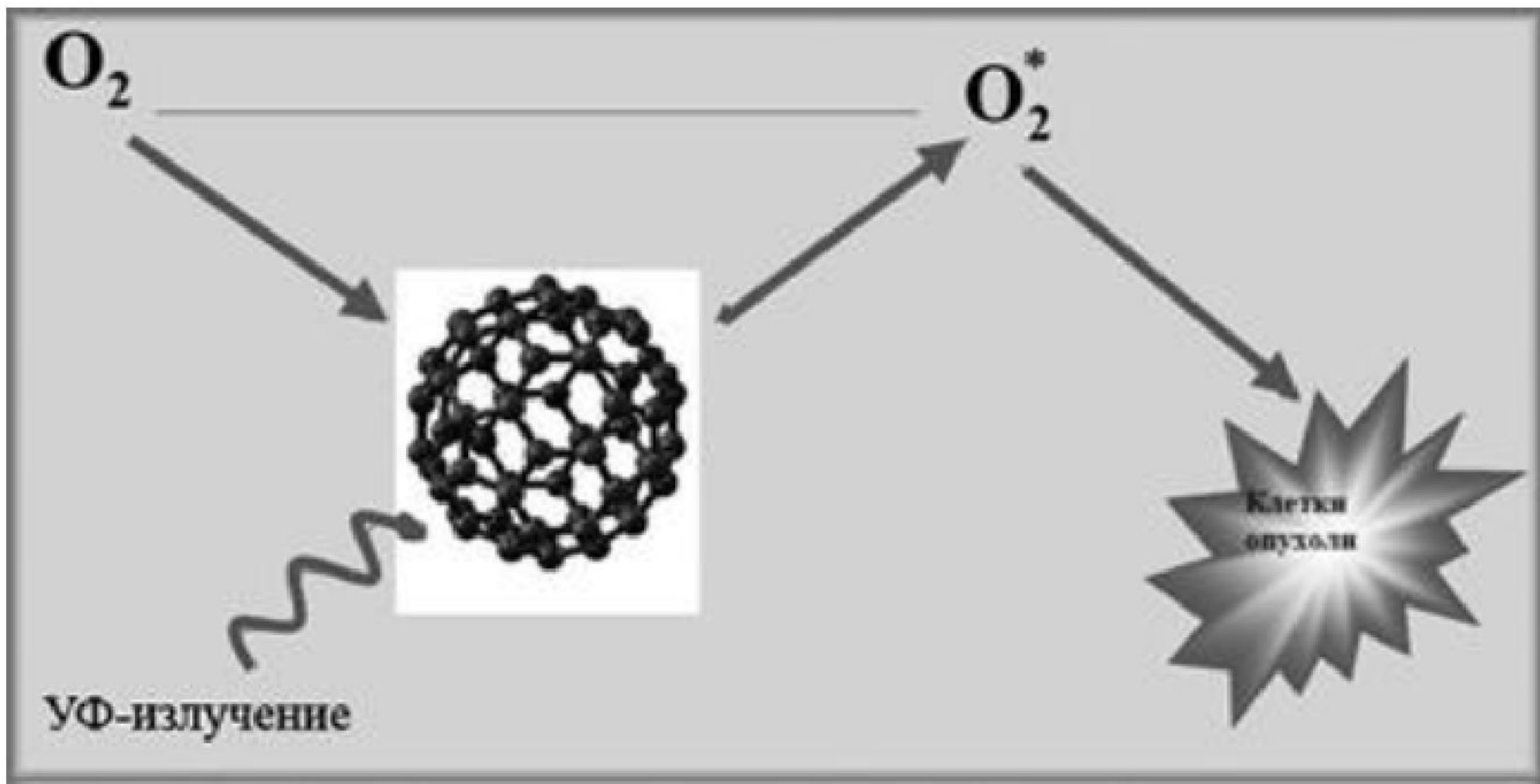




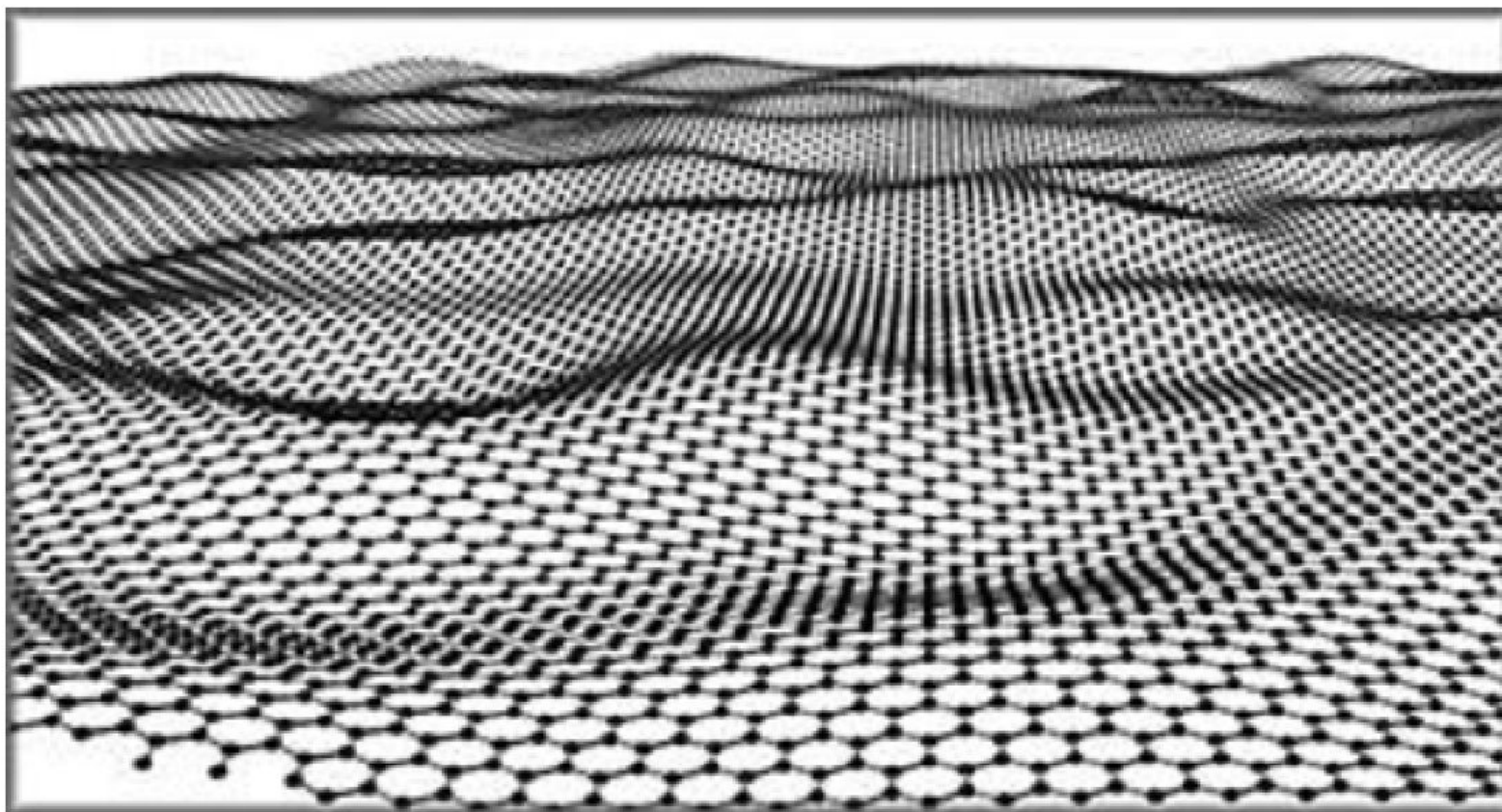


# Солнечные батареи

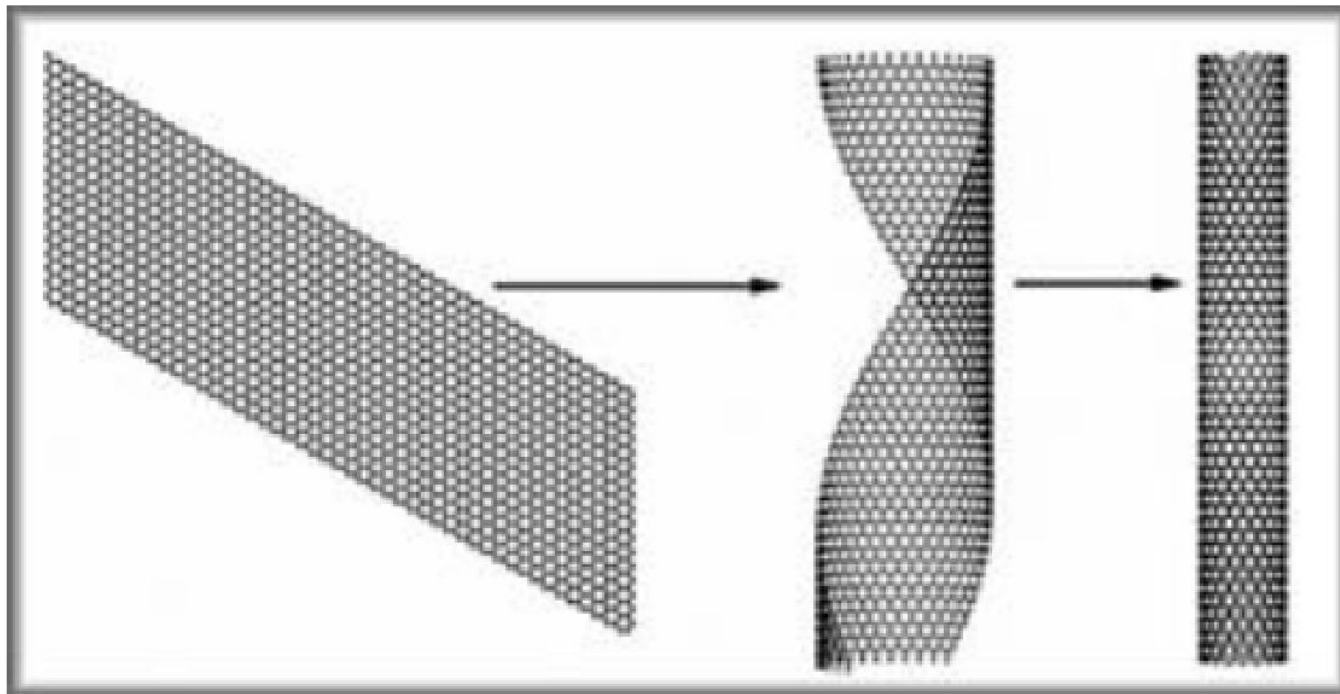
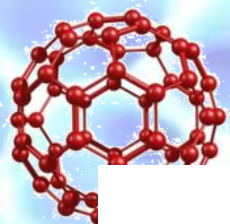






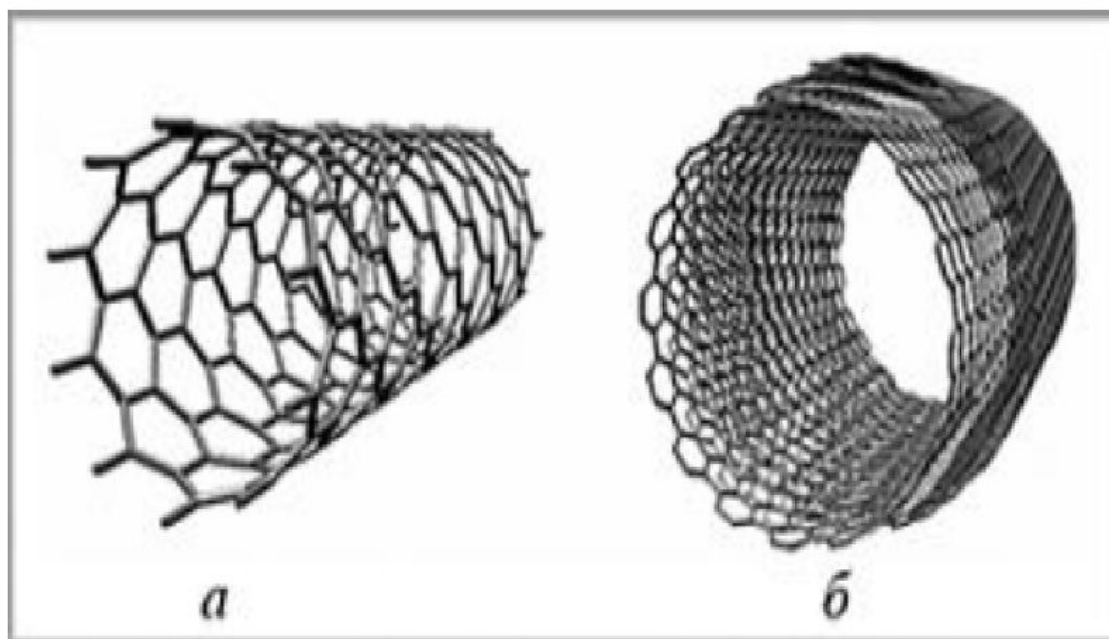
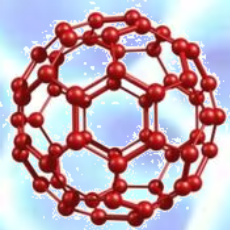


**Рис. 12. Структура графенового монослоя**



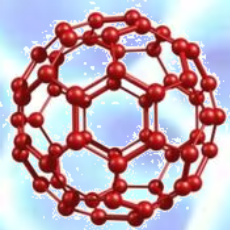
**Рис. 13. Образование одностенной трубки при сворачивании графенового слоя**





**Рис. 14. Одностенные (а) и многостенные (б) углеродные нанотрубки**





Удельная поверхность открытых одностенных углеродных нанотрубок равна  $1000 \text{ м}^2/\text{г}$ , а плотность составляет  $1.3 \text{ г}/\text{см}^3$ . Считая, что у всего материала отношение объема к поверхности – такое же, как и у одной трубки, оцените диаметр нанотрубки.

## Решение

Возьмем 1 г материала, его объем равен  $1/1.3 = 0.77 \text{ см}^3 = 7.7 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$ , а площадь поверхности, по условию, составляет  $1000 \text{ м}^2$ . Отношение объема к поверхности:

$$V/S = 7.7 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 / 1000 \text{ м}^2 = 7.7 \cdot 10^{-10} \text{ м}.$$

Открытые одностенные нанотрубки можно представить в виде цилиндра диаметром  $d$  и длиной  $l$ . Для цилиндра отношение объема к поверхности равно:

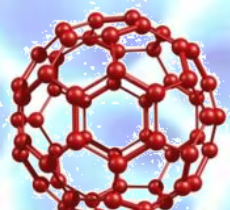
$$\frac{V}{S} = \frac{(\pi d^2 / 4)l}{\pi dl} = \frac{d}{4}$$

Отсюда  $d = 4 \cdot 7.7 \cdot 10^{-10} = 3.1 \cdot 10^{-9} \text{ м} \approx 3 \text{ нм}$ .

На самом деле, у материала отношение  $V/S$  больше, чем у одной трубки, так как трубки не могут плотно заполнить весь объем, и между ними существует свободное пространство. Поэтому реальный диаметр таких нанотрубок – меньше, чем 3 нм.

**Ответ.** 3 нм.

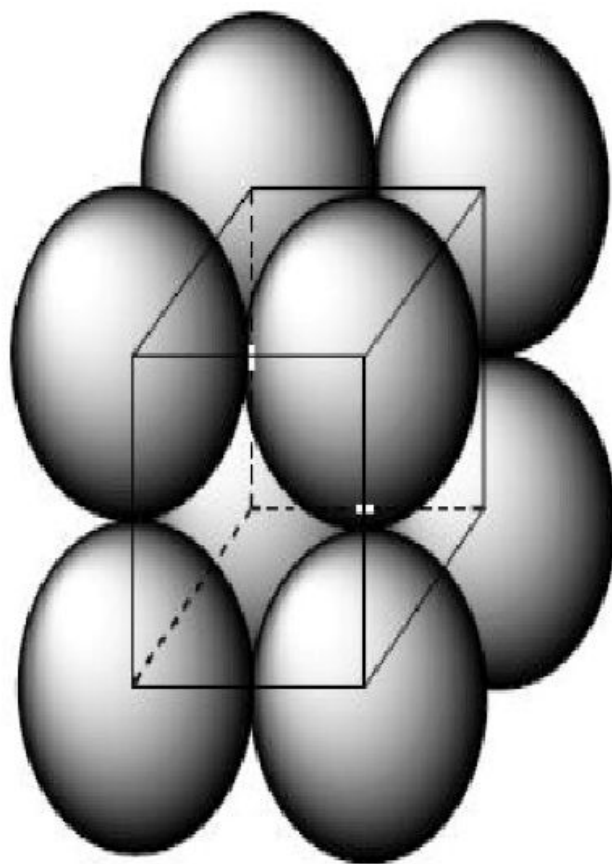


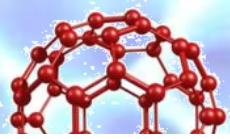


Найдите расстояние между центрами соседних молекул фуллерена в его низкотемпературной модификации (плотность  $1.7 \text{ г/см}^3$ ), которая имеет примитивную кубическую решетку, где молекулы находятся только в вершинах кубической элементарной ячейки.



В примитивной кубической решетке каждая молекула в вершине куба принадлежит 8 соседним элементарным ячейкам. На одну ячейку приходится  $8 \cdot 1/8 = 1$  молекула  $C_{60}$ .





Объем одного моля фуллерена составляет:

$$V_m = M / \rho = 720.6 / 1.7 = 424 \text{ см}^3/\text{моль}.$$

Объем одной элементарной ячейки:

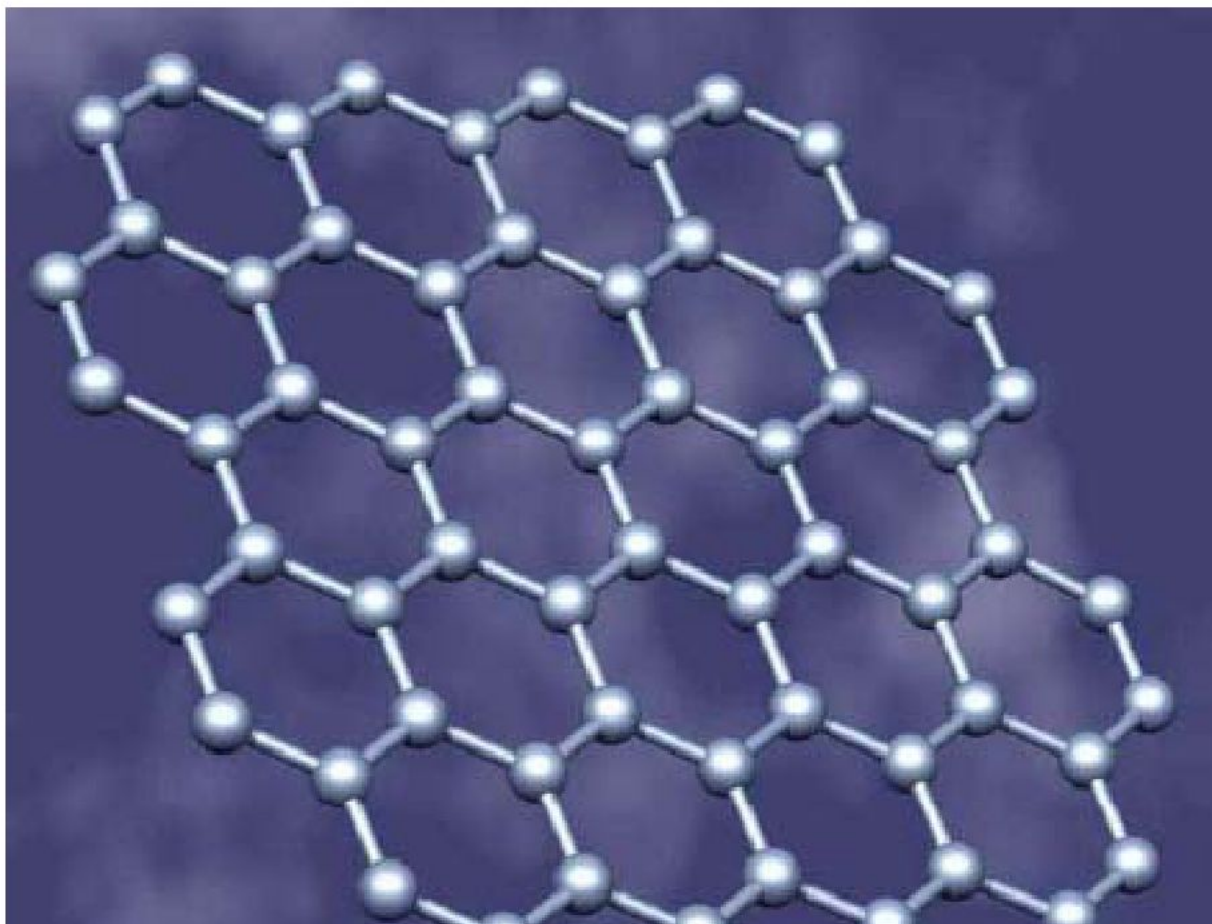
$$V_{\text{яч}} = V_m / N_A = 424 / 6.02 \cdot 10^{23} = 7.04 \cdot 10^{-22} \text{ см}^3 = 0.704 \text{ нм}^3.$$

Расстояние между центрами соседних молекул равно ребру элементарной ячейки:

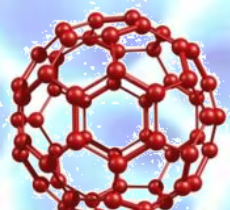
$$a = V_{\text{яч}}^{1/3} = 0.89 \text{ нм}.$$

**Ответ.** 0.89 нм.

Монослой графита – двумерную сетку правильных шестиугольников из атомов углерода – называют графеном.







В 2004 г. А. Гейм и К. Новоселов, работающие в Англии, смогли выделить такой слой из монокристалла графита и разместить его в виде пленки на поверхности кремниевой подложки. В октябре 2010 г. это достижение было отмечено Нобелевской премией по физике.

Рассчитайте массу графенового квадрата размером  $10 \times 10$  мм. Длину связи  $C-C$  в графите найдите в справочной литературе.

Для насыщения свободных валентностей углерод в графене способен образовывать связи с газообразными веществами. Чему равно максимальное число атомов водорода, которые может присоединить указанный выше графеновый квадрат?