



Комплекс предметов «химия, физика, математика, биология»
11 класс (заключительный этап)
Химия. Вариант III

Задача 1. Сорбент из органических отходов (5 баллов)

Высокотемпературная обработка позволяет превращать органические отходы в уголь, который можно использовать в качестве сорбента. Чему равна общая площадь поверхности сорбента, полученного из 500 г целлюлозы ($C_6H_{10}O_5$)_n, если удельная поверхность угля составляет 40 м²/г, а эффективность переработки – 36%?

Задача 2. Газовый сенсор (5 баллов)

Газовый сенсор на основе нанокристаллического SnO₂ способен детектировать ≥ 0.3 ppm (миллионных доли) сероводорода в воздухе. Можно ли использовать такой сенсор для оценки чистоты воздуха рабочей зоны, если предельно допустимая концентрация H₂S составляет 10 мг/м³? Рассчитайте, во сколько раз предел обнаружения сероводорода сенсором больше/меньше ПДК. Примите молярный объем газов $V_m = 24$ л/моль.

Задача 3. Знакомый незнакомец (5 баллов)

Бинарное вещество **А** (массовая доля азота 97.66 %), взаимодействует с натрием с образованием вещества **Б**, используемого в подушках безопасности для мгновенного наполнения газом.

1. Определите формулы веществ **А** и **Б**. Ответ подтвердите расчётом. **(2 балла)**

Смесь концентрированных растворов соляной кислоты и **А**, подобно царской водке, прекрасно растворяет благородные металлы.

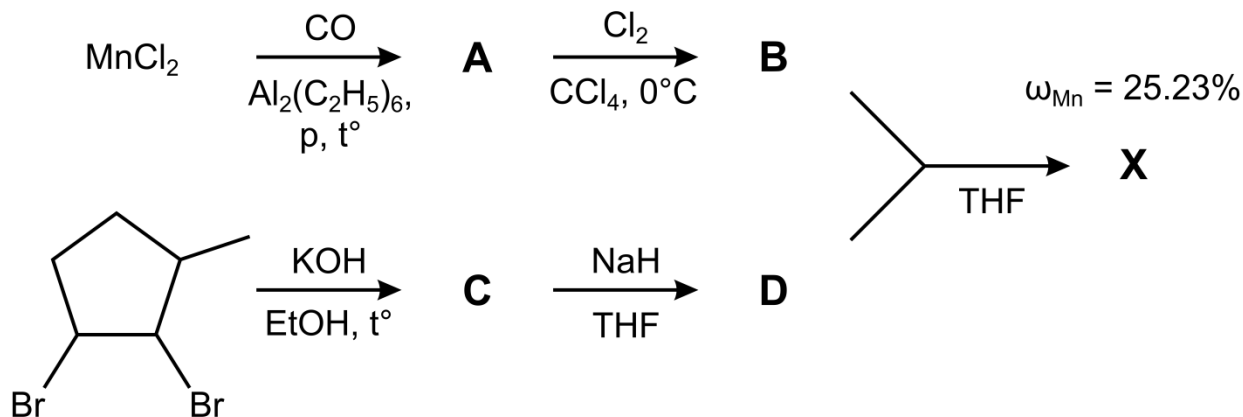
2. Напишите уравнение реакции растворения платины в такой смеси, если известно, что один из продуктов – такой же, как при взаимодействии платины с царской водкой, а на 1 моль платины образуется 2 моль соли аммония. **(3 балла)**

Задача 4. Безопасное топливо (10 баллов)

Российская Федерация входит в тройку мировых лидеров по добыче и экспорту нефти, большая часть которой используется для производства горючего топлива. В настоящее время одним из главных продуктов нефтепереработки является бензин.

1. Укажите класс соединений, составляющих основу бензина. Приведите не менее трех индивидуальных компонентов бензина. **(1 балл)**

Как и многие виды топлива, бензин легко подвергается самопроизвольному воспламенению. Этот процесс может крайне негативно сказываться на работе двигателя, когда вспышка возникает в процессе сжатия горючего. С целью улучшения качества топлива в бензин добавляются различные антидетонаторы, одним из которых является вещество **X**. Схема синтеза **X** представлена ниже:



- Установите вещества **A–D, X**. Состав **X** подтвердите расчетом. (3 балла)
- Изобразите структурные формулы соединений **A, B, X**. Укажите координационное число марганца в **X**. (3 балла)

Продукты неполного сгорания бензина представляют опасность для окружающей среды, вследствие чего выхлопные трубы автомобилей содержат каталитические нейтрализаторы. Как правило, они представляют собой керамическую матрицу-носитель, содержащую наночастицы благородных металлов **M, N** и **L**. Интересно, что первое место в мире по добыче металла **M** занимает Российская Федерация. Масштабное производство **M** располагается в городе Норильске.

Для анализа некоторого автомобильного катализатора смесь порошков металлов **M, N** и **L** массой 1.000 г растворили в концентрированной азотной кислоте. Спустя продолжительное время отфильтровали осадок массой 0.786 г. Его растворение в смеси азотной и соляной кислот при кипячении привело к образованию оранжево-желтого раствора и непрореагировавшего твердого вещества массой 0.201 г. После отделения осадка из фильтрата можно выкристаллизовать оранжевое вещество с массовой долей металла 37.64%.

- Установите **M, N** и **L**, если дополнительно известно, что металл **L** образует гранецентрированную кубическую решетку с параметром $a = 3.803 \text{ \AA}$ и имеет плотность 12.41 г/см^3 . Напишите уравнения всех протекающих реакций. (2 балла)
- Установите количественный состав автомобильного катализатора (в масс. %). (1 балл)

Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева

		Г р у п п ы												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII					
П е р и о д и ч е с к и е	1	1 H 1,008 Водород												2 He 4,00 Гелий
	2	3 Li 6,94 Литий	4 Be 9,01 Бериллий	5 B 10,81 Бор	6 C 12,01 Углерод	7 N 14,00 Азот	8 O 16,00 Кислород	9 F 19,00 Фтор						10 Ne 20,18 Неон
	3	11 Na 22,99 Натрий	12 Mg 24,31 Магний	13 Al 26,98 Алюминий	14 Si 28,09 Кремний	15 P 30,97 Фосфор	16 S 32,06 Сера	17 Cl 35,45 Хлор						18 Ar 39,95 Аргон
	4	19 K 39,10 Калий	20 Ca 40,08 Кальций	21 Sc 44,96 Скандий	22 Ti 47,90 Титан	23 V 50,94 Ванадий	24 Cr 52,00 Хром	25 Mn 54,94 Марганец	26 Fe 55,85 Железо	27 Co 58,93 Кобальт	28 Ni 58,69 Никель			
	5	29 Cu 63,55 Медь	30 Zn 65,39 Цинк	31 Ga 69,72 Галлий	32 Ge 72,59 Германий	33 As 74,92 Мышьяк	34 Se 78,96 Селен	35 Br 79,90 Бром						36 Kr 83,80 Криптон
	6	37 Rb 85,47 Рубидий	38 Sr 87,62 Стронций	39 Y 88,91 Иттрий	40 Zr 91,22 Цирконий	41 Nb 92,91 Ниобий	42 Mo 95,94 Молибден	43 Tc 98,91 Технеций	44 Ru 101,07 Рутений	45 Rh 102,91 Родий	46 Pd 106,42 Палладий			
	7	47 Ag 107,87 Серебро	48 Cd 112,41 Кадмий	49 In 114,82 Индий	50 Sn 118,69 Олово	51 Sb 121,75 Сурьма	52 Te 127,60 Теллур	53 I 126,90 Иод						54 Xe 131,29 Ксенон
	8	55 Cs 132,91 Цезий	56 Ba 137,33 Барий	57 La* 138,91 Лантан	72 Hf 178,49 Гафний	73 Ta 180,95 Тантал	74 W 183,85 Вольфрам	75 Re 186,21 Рений	76 Os 190,2 Осмий	77 Ir 192,22 Иридий	78 Pt 195,08 Платина			
	9	79 Au 196,97 Золото	80 Hg 200,59 Ртуть	81 Tl 204,38 Таллий	82 Pb 207,2 Свинец	83 Bi 208,98 Висмут	84 Po [209] Полоний	85 At [210] Астат						86 Rn [222] Радон
	10	87 Fr [223] Франций	88 Ra 226 Радий	89 Ac** [227] Актиний	104 Rf [261] Резерфордий	105 Db [262] Дубний	106 Sg [266] Сиборгий	107 Bh [264] Борий	108 Hs [269] Хассий	109 Mt [268] Мейтнерий	110 Ds [271] Дармштадтий			
	11	111 Rg [280] Рентгений	112 Cn [285] Коперниций	113 Nh [286] Нихоний	114 Fl [289] Флеровий	115 Mc [290] Московский	116 Lv [293] Ливерморий	117 Ts [294] Теннесий						118 Og [294] Оганесон

* Лантаноиды

58 Ce 140 Церий	59 Pr 141 Празеодим	60 Nd 144 Неодим	61 Pm [145] Прометий	62 Sm 150 Самарий	63 Eu 152 Европий	64 Gd 157 Гадолиний	65 Tb 159 Тербий	66 Dy 162,5 Диспрозий	67 Ho 165 Гольмий	68 Er 167 Эрбий	69 Tm 169 Тулий	70 Yb 173 Иттербий	71 Lu 175 Лютеций
------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	------------------------------------	--------------------------------	------------------------------	------------------------------	---------------------------------	--------------------------------

** Актиноиды

90 Th 232 Торий	91 Pa 231 Протактиний	92 U 238 Уран	93 Np 237 Нептуний	94 Pu [244] Плутоний	95 Am [243] Америций	96 Cm [247] Кюрий	97 Bk [247] Берклий	98 Cf [251] Калифорний	99 Es [252] Эйнштейний	100 Fm [257] Фермий	101 Md [258] Менделеевий	102 No [259] Нобелий	103 Lr [262] Лоуренсий
------------------------------	------------------------------------	----------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

РАСТВОРИМОСТЬ КИСЛОТ, СОЛЕЙ И ОСНОВАНИЙ В ВОДЕ

	H ⁺	Li ⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Ba ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Sr ²⁺	Al ³⁺	Cr ³⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Ag ⁺	Hg ²⁺	Pb ²⁺	Sn ²⁺	Cu ²⁺
OH ⁻		P	P	P	P	P	M	H	M	H	H	H	H	H	H	-	-	H	H	H
F ⁻	P	M	P	P	P	M	H	H	H	M	H	H	H	P	P	P	-	H	P	P
Cl ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	H	P	M	P	P
Br ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	H	M	M	P	P
I ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	P	?	P	P	H	H	H	M	?
S ²⁻	P	P	P	P	P	-	-	-	H	-	-	H	-	H	H	H	H	H	H	H
HS ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
SO ₃ ²⁻	P	P	P	P	P	H	H	M	H	?	-	H	?	?	M	H	H	H	?	?
SO ₄ ²⁻	P	P	P	P	P	H	M	P	H	P	P	P	P	P	P	M	-	H	P	P
HSO ₄ ⁻	P	P	P	P	P	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	H	?	?
NO ₃ ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	P
NO ₂ ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	?	?	?	?	M	?	?	?	?
PO ₄ ³⁻	P	H	P	P	-	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
HPO ₄ ²⁻	P	?	P	P	P	H	H	M	H	?	?	H	?	H	?	?	?	M	H	?
H ₂ PO ₄ ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	P	?	P	P	P	?	-	?	?
CO ₃ ²⁻	P	P	P	P	P	H	H	H	H	?	?	H	-	H	H	H	H	H	?	H
HCO ₃ ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	P	?	?	?	?	?	P	?	?
CH ₃ COO ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	P	P	-	P	P	P	P	P	-	P
SiO ₃ ²⁻	H	H	P	P	?	H	H	H	H	?	?	H	?	H	H	?	?	H	?	?
MnO ₄ ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	?	?	P	?	?	?	?	?
Cr ₂ O ₇ ²⁻	P	P	P	P	P	M	P	?	H	?	?	?	P	?	?	H	H	M	?	P
CrO ₄ ²⁻	P	P	P	P	P	H	P	P	H	?	?	?	H	H	H	H	H	H	H	H
ClO ₃ ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	P	P	P	P	P	?	P
ClO ₄ ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	P

«P» – растворяется (> 1 г на 100 г H₂O); «M» – мало растворяется (от 0,1 г до 1 г на 100 г H₂O);
 «H» – не растворяется (меньше 0,01 г на 1000 г воды); «-» – в водной среде разлагается
 «?» – нет достоверных сведений о существовании соединений

РЯД АКТИВНОСТИ МЕТАЛЛОВ / ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ РЯД НАПРЯЖЕНИЙ

Li Rb K Ba Sr Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd Co Ni Sn Pb (H₂) Sb Bi Cu Hg Ag Pt Au →
 активность металлов уменьшается



Комплекс предметов «химия, физика, математика, биология»
11 класс (заключительный этап)
Химия. Вариант III. Решения

Решение задачи 1. Сорбент из органических отходов (5 баллов)

$m_{\text{практ}}(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5) = 500 \cdot 0.36 = 180 \text{ г},$ **1 балл**

$v(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5) = 180 / 162 = 1.11 \text{ моль},$ **1 балл**

$v(\text{C}) = 1.11 \cdot 6 = 6.67 \text{ моль},$ **1 балл**

$m(\text{C}) = 6.67 \cdot 12 = 80 \text{ г},$ **1 балл**

$S(\text{C}) = 80 \cdot 40 = 3200 \text{ м}^2.$ **1 балл**

Ответ. 3200 м².

Решение задачи 2. Газовый сенсор (5 баллов)

Пусть $V_{\text{возд}} = 1 \text{ м}^3$, тогда сенсор способен детектировать

$V_{\text{min}}(\text{H}_2\text{S}) = 0.3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 0.3 \text{ см}^3 = 0.3 \text{ мл},$ **1 балл**

$v_{\text{min}}(\text{H}_2\text{S}) = 0.3 / 24 = 0.0125 \text{ ммоль},$ **1 балл**

$m_{\text{min}}(\text{H}_2\text{S}) = 0.0125 \cdot 34 = 0.425 \text{ мг},$ **1 балл**

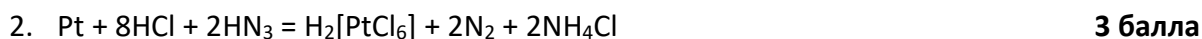
$m_{\text{ПДК}}(\text{H}_2\text{S}) / m_{\text{min}}(\text{H}_2\text{S}) = 10 / 0.425 = 23.5.$ **2 балла**

Ответ. Предел обнаружения меньше ПДК в 23.5 раза.

Решение задачи 3. Знакомый незнакомец (5 баллов)

1. А – HN_3 ($\omega(\text{N}) = 42/43 = 0.9766$), **1 балл, если есть расчет, 0.5 балла без расчета**

Б – NaN_3 . **1 балл**



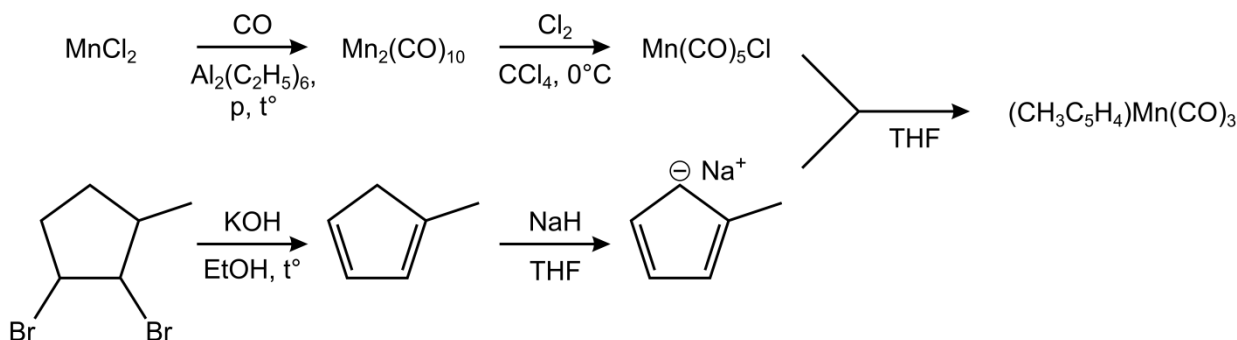
(2 балла, если не уравнено, 0 баллов, если неправильные продукты)

Решение задачи 4. Безопасное топливо (10 баллов)

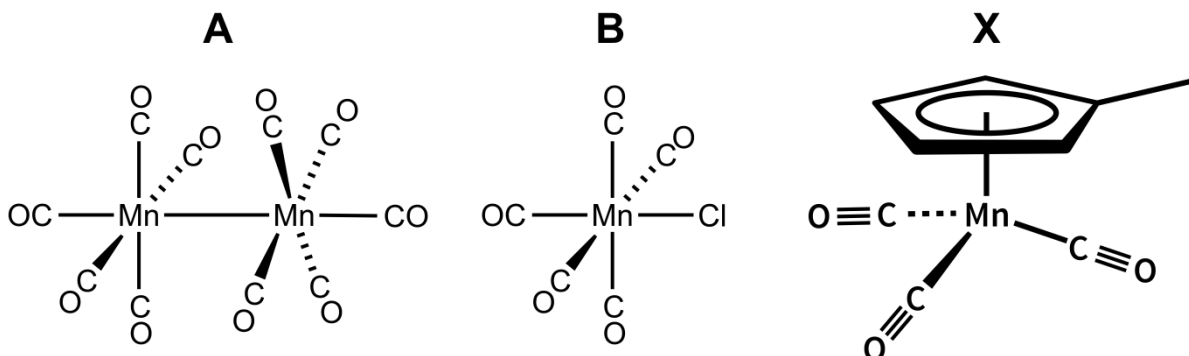
1. Бензин – это горючая смесь лёгких **углеводородов**. В качестве верных индивидуальных компонентов могут быть засчитаны любые разумные варианты алифатических углеводородов, то есть соединений, состоящих из молекул углерода и водорода. Например, н-гептан, н-октан, изооктан и др.
2. Восстановление безводных солей марганца (II) в присутствии триэтилалюминия – известный способ получения карбонила марганца ($Mn_2(CO)_{10}$ = **A**). Количество карбонильных лигандов можно предсказать по правилу 18 электронов, согласно которому наиболее устойчивы завершённые электронные оболочки. Марганец в степени окисления 0 имеет 7 электронов, для заполнения оболочки инертного газа ему не хватает 11. 10 из них может быть предоставлено пятью молекулами CO. Для завершения 18-электронной оболочки не хватает 1 электрона, который можно взять у соседнего атома марганца по обменному механизму, т. е. с образованием ковалентной связи Mn–Mn. Пропускание хлора через охлаждённый раствор $Mn_2(CO)_{10}$ в тетрахлористом углероде приводит к образованию хлоро(пентакарбонил)марганца ($Mn(CO)_5Cl$ = **B**).

1-метил-1,3-циклопентадиен (**C**) получается элиминированием из соответствующего дибромметилциклопентана. При воздействии гидрида натрия, металлического натрия или бутиллития он легко депротонируется ввиду образования структуры с ароматическим фрагментом – $CH_3C_5H_4Na$ (**D**).

Взаимодействие CH_3CpNa с $Mn(CO)_5Cl$ в тетрагидрофуране приводит к образованию метилциклопентадиенилтрикарбонила марганца $(CH_3C_5H_4)Mn(CO)_3$. Это можно подтвердить расчетом: $\omega_{Mn} = (55 \text{ г/моль}) / (218 \text{ г/моль}) \cdot 100 \% = 25.23 \%$



3. Структурные формулы соединений **A**, **B** и **X** изображаются в соответствии с правилом 18 электронов. Если участником указывается кратность связи CO, то на рисунке важно отразить, что она равна 3, т.к. одна из ковалентных связей C–O образована по донорно-акцепторному механизму.



В $(\text{CH}_3\text{C}_5\text{H}_4)\text{Mn}(\text{CO})_3$ марганец имеет КЧ = 8.

4. Благородные металлы представлены элементами 8 – 11 групп четвёртого и пятого периодов периодической системы: Ru, Os, Rh, Ir, Pd, Pt, Ag, Au.

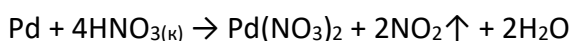
Металл **L** легко определяется из кристаллохимических данных:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{n \cdot M}{a^3} = \frac{Z \cdot M}{N_A \cdot a^3},$$

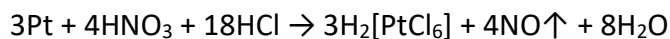
где Z – число формульных единиц, M – молярная масса металла, N_A – число Авогадро, a – параметр элементарной ячейки. Для ГЦК $Z = 4$, тогда

$$M = \frac{\rho \cdot N_A \cdot a^3}{Z} = \frac{12.41 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot 6.02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \cdot 3.803^3 \cdot 10^{-24} \text{ см}^3}{4} = 102.73 \frac{\text{г}}{\text{моль}},$$

что соответствует молярной массе родия. Тогда **L** = Rh. Вероятнее всего, речь в задаче идет о платиновых металлах. Среди платиновых металлов палладий – единственный растворяется в азотной кислоте. Подтвердить догадку о том, что **M** = Pd можно, также зная, что «Норникель» на 2023 год является основным мировым производителем палладия с долей рынка более 40 %.



Наконец, последний металл **N** = Pt, угадывается из характерного жёлто-оранжевого окрашивания гексахлороплатината(IV) водорода, который образуется при растворении платины в горячей царской водке:



5. Состав катализатора

$$\omega_{\text{Pd}} = ((1.000 \text{ г} - 0.786 \text{ г})/1.000 \text{ г}) \cdot 100 \% = 21.4 \%$$

$$\omega_{\text{Pt}} = ((0.786 \text{ г} - 0.201 \text{ г})/1.000 \text{ г}) \cdot 100 \% = 58.5 \%$$

$$\omega_{\text{Rh}} = ((0.201 \text{ г})/1.000 \text{ г}) \cdot 100 \% = 20.1 \%$$

Система оценивания:

Пункт	Элементы решения	Оценка
1.	Углеводороды – 0.25 балла, за каждый верный компонент – 0.25 балла.	1
2.	Химический состав A-D по 0.5 балла, X – 1 балл при наличии подтверждения расчётом (без – 0.5 балла)	3
3.	Структурные формулы соединений A, B, X по 0.9 баллов, верное КЧ марганца – 0.3 балла	3
4.	Металлы M, N, L по 0.4 баллов, уравнения реакций по 0.4 балла, неверно уравненные по 0.2 балла	2
5.	Количественный состав катализатора 1 балл (по 0.33 за каждую верную долю металла)	1
	ИТОГО:	10 баллов

Литература:

1. Podall H. E., Dunn J. H., Shapiro H. Reductive Carbonylation Synthesis of Metal Carbonyls. II. Synthesis of Manganese Carbonyl and Group VI-B Metal Carbonyls by the Alkylaluminum Method //Journal of the American Chemical Society. – 1960. – Т. 82. – №. 6. – С. 1325-1330.
2. Abel E. W., Wilkinson G. 291. Carbonyl halides of manganese and some related compounds //Journal of the Chemical Society (Resumed). – 1959. – С. 1501-1505.
3. Nesmeyanov A. N., Anisimov K. N., Kolobova N. E. Synthesis of cyclopentadienyl and methylcyclopentadienyltricarbonyl manganese // Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR, Division of chemical science. – 1963. – Т. 12. – С. 1734-1735.



Комплекс предметов «химия, физика, математика, биология»
11 класс (заключительный этап)
Физика. Вариант III

Список констант

Скорость света $c = 3,00 \cdot 10^8$ м/с

Постоянная Планка $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с

Заряд электрона: $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл,

Масса электрона: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг

Масса нуклона: $m_n = 1,7 \cdot 10^{-27}$ кг

Задача 1. Колебания молекул (5 баллов)

Известно, что атомы в молекулах располагаются не на строго фиксированном расстоянии друг от друга, а совершают колебания относительно положения равновесия с характерной частотой. В связи с этим, простейшей моделью двухатомной молекулы может быть осциллятор, в котором атомы представляются в виде шариков, связанных пружинкой.



1. Чему равна длина волны кванта света λ , который поглощается покоящейся молекулой F_2 , если при этом возбуждаются собственные колебания атомов в молекуле F_2 с частотой $\nu = 2,72 \cdot 10^{13}$ Гц. (1 балл)
2. Какую скорость u_0 должен иметь атом фтора, который налетает на покоящуюся молекулу F_2 как показано на рисунке, чтобы при абсолютно упругом центральном столкновении энергия колебательного движения молекулы $E_{\text{кол}}$ была равна энергии кванта с найденной длиной волны λ ? Масса атома фтора равна $m_F = 3,17 \cdot 10^{-26}$ кг. (4 балла)

Задача 2. Изотопы (5 баллов)

Изотоп тория ${}_{90}^{226}\text{Th}$ может претерпевать α -распад (период полураспада 31,0 мин), а изотоп тория ${}_{90}^{236}\text{Th}$ претерпевает β -распад (период полураспада 37,5 мин).

1. Схематично на рисунке изобразите в одних координатах траектории движения α -частиц и β -частиц, влетающих в магнитное поле с одинаковой скоростью V , перпендикулярно линиям магнитной индукции B . Ответ поясните. На схеме укажите направление вектора магнитной индукции B и вектора скорости V . (2 балла)
2. Определите отношение количества α -частиц к количеству β -частиц спустя 40,7 мин после начала распада, если начальные количества изотопов тория одинаковые. (3 балла)

Задача 3. Ударная ионизация (5 баллов)

Изначально в любом газе присутствует некоторая концентрация свободных электронов, образующихся, например, за счет ионизации молекул газа посредством космических лучей. Явление электрического пробоя в газах (газоразрядные трубки, молния и т.п.) возникает при больших напряженностях приложенного внешнего электрического поля – достаточных для ионизации молекул газа при их столкновении со свободными электронами, ускоренными полем, что ведет к лавинообразному увеличению концентрации электронов и протеканию электрического тока через ионизированный газ.

1. Во сколько раз отличается кинетическая энергия молекулы кислорода, приобретенная в результате центрального соударения, от начальной кинетической энергии налетающего электрона? Минимальная напряженность внешнего однородного электрического поля, необходимая для возникновения пробоя в газе, составляет $E = 2 \cdot 10^6$ В/м, а первый потенциал ионизации молекулы кислорода равен $U_1 = 12,2$ В. В расчетах полагать, что молекула изначально покоилась, а электроны полностью останавливаются после столкновения с молекулами кислорода. Масса молекулы кислорода $m_{O_2} = 5,3 \cdot 10^{-26}$ кг. **(2 балла)**
2. Какова средняя длина свободного пробега электронов λ в кислороде при данных условиях? **(3 балла)**

Задача 4. Сенсоры водорода (10 баллов)

На отборочном этапе Вы познакомились с мостом Уитстона. Такой мост был использован группой электрохимического наноструктурирования при разработке новых сенсоров, детектирующих водород. На рис. 1а представлена принципиальная электрическая схема моста, где $R_1 = R_2 = 1$ кОм, $R_4 = 25$ Ом, а R_3 может меняться при попадании водорода на сенсор из анодного оксида алюминия (АОА). При изменении сопротивления R_3 на вольтметре появляется разность потенциалов, по величине которой рассчитывают концентрацию водорода. В отсутствие водорода показание вольтметра $U_0 = 0$. Сенсор работает при повышенной температуре, а нагрев осуществляется самим резистором R_3 .

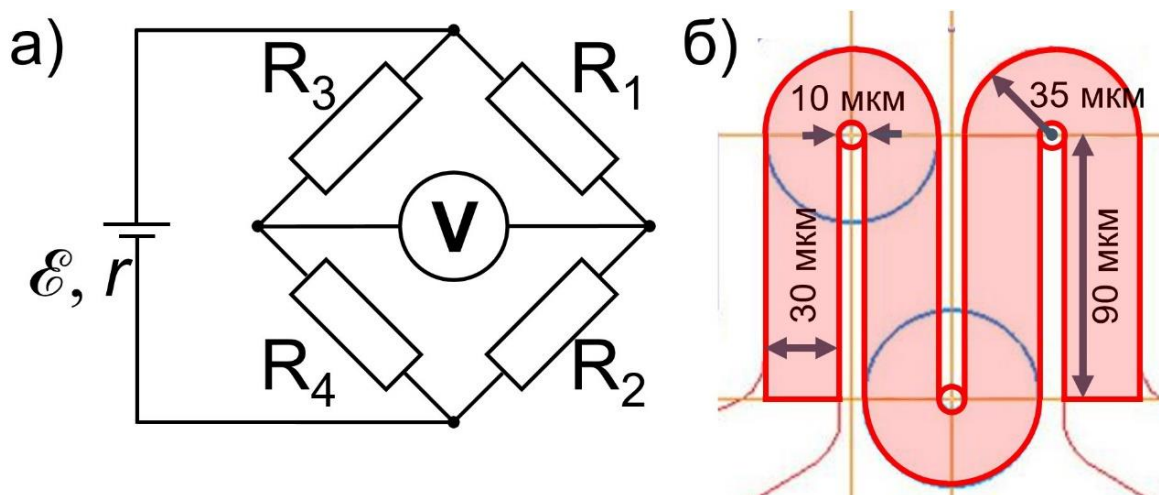


Рисунок 1. Электрическая схема термокаталитического сенсора (а); геометрические параметры микронагревателя (б).

Сенсор подключили к источнику питания с ЭДС $\mathcal{E} = 3$ В и внутренним сопротивлением r . Далее в камеру подавали смесь водорода и воздуха и измеряли напряжение.

1. При подаче смеси показания вольтметра составили $U_v = 250$ мВ. Определите сопротивление R_3 в цепи, полагая внутреннее сопротивления источника $r = 0$ Ом. **(2 балла)**
2. Рассчитайте R_3 с учётом внутреннего сопротивления источника $r = 0,5$ Ом. **(3 балла)**
3. Найдите площадь планарного микронагревателя (закрашенная область на рис. 1б). **(2 балла)**
4. За какое время подложка сенсора из АОА в воздушной атмосфере нагреется от 25 °С до 450 °С? Толщина подложки АОА $h = 30$ мкм; удельная теплоёмкость АОА $c = 1090$ Дж/кг·К, плотность АОА $\rho = 3,2$ г/см³, площадь подложки равна площади микронагревателя над ней, сопротивление резистора в отсутствие водорода $R'_3 = 25$ Ом. Тепловыми потерями и теплоёмкостью материала резистора пренебречь. Считать, что сопротивление нагревателя не зависит от температуры. **(3 балла)**



Комплекс предметов «химия, физика, математика, биология»
11 класс (заключительный этап)
Физика. Вариант III. Решения

Решение задачи 1. Колебания молекул (5 баллов)

1. Поскольку квант света поглощается, а молекула изначально покоилась, то импульс и энергия кванта целиком передаются молекуле. Запишем закон сохранения импульса: $p_{\text{фотона}} = p_{\text{молекулы}}$, и закон сохранения энергии $E_{\text{фотона}} = E_{\text{пост}} + E_{\text{колеб}}$. Энергия поступательного движения пренебрежимо мала. Отсюда

$$E_{\text{колеб}} = hv = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3.00 \cdot 10^8}{2.72 \cdot 10^{13}} = 1.1 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 11 \text{ мкм.}$$

2. При абсолютно упругом соударении налетающий атом остановится, а левый атом в молекуле получит его импульс и энергию. По закону сохранения импульса

$$mu_0 = (m + m)u_{\text{ц.м.}}$$

где m – масса атома водорода, u_0 – скорость налетающего атома водорода, $u_{\text{ц.м.}}$ – скорость центра масс молекулы водорода.

Так как скорость центра масс равна

$$u_{\text{ц.м.}} = \frac{u_0}{2},$$

то энергия поступательного движения молекулы равна

$$E_{\text{пост.}} = \frac{2mu_{\text{ц.м.}}^2}{2} = \frac{mu_0^2}{4},$$

а энергия колебательного движения молекулы равна (по закону сохранения энергии)

$$E_{\text{колеб.}} = E_{\text{полная}} - E_{\text{пост.}} = \frac{mu_0^2}{2} - \frac{mu_0^2}{4} = \frac{mu_0^2}{4}$$

Таким образом,

$$E_{\text{колеб.}} = \frac{mu_0^2}{4} = hv$$

$$u_0 = \sqrt{\frac{4hv}{m}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 2.72 \cdot 10^{13}}{3.17 \cdot 10^{-26}}} \approx 1500 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Решение задачи 2. Изотопы (5 баллов)

1. На заряженные частицы, движущиеся в магнитном поле перпендикулярно вектору магнитной индукции, действует сила Лоренца. В результате траектория движения окажется дугой. Так как α -частица и β -частица имеют противоположные по знаку заряды, то отклоняться они будут в разные стороны. Поскольку отношение массы к заряду у α -частицы гораздо больше, чем у β -частицы, то и радиус кривизны у α -частицы тоже будет существенно больше.

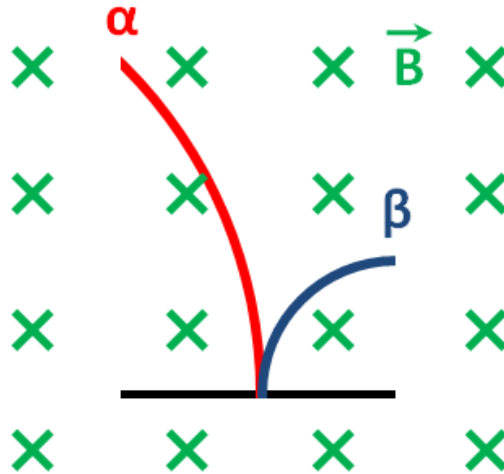


Рисунок 1. Траектория частиц.

2. Количество α -частиц равно количеству распавшегося изотопа урана ${}^{230}_{92}\text{U}$, а количество β -частиц равно количеству распавшегося изотопа урана ${}^{237}_{92}\text{U}$. Пусть начальная концентрация каждого изотопа равна N_0 . Через время t каждого из изотопов останется

$$N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

Значит, изотопа тория ${}^{226}_{90}\text{Th}$ распалось

$$N_{226} = N_0 - N(t) = N_0 - N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{31.0}} = N_0 \left(1 - 2^{-\frac{t}{31.0}}\right),$$

а изотопа тория ${}^{236}_{90}\text{Th}$ распалось

$$N_{236} = N_0 - N(t) = N_0 - N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{37.5}} = N_0 \left(1 - 2^{-\frac{t}{37.5}}\right).$$

Таким образом, отношение количества α -частиц к количеству β -частиц равно

$$\frac{n_\alpha}{n_\beta} = \frac{N_0 \left(1 - 2^{-\frac{t}{31.0}}\right)}{N_0 \left(1 - 2^{-\frac{t}{37.5}}\right)} = \frac{1 - 2^{-\frac{40.7}{31.0}}}{1 - 2^{-\frac{40.7}{37.5}}} = 1.13$$

Решение задачи 3. Ударная ионизация (5 баллов)

1. Запишем законы сохранения энергии и импульса для электрона и молекулы кислорода, применяя для них модель твердых частиц и учитывая остановку электрона после столкновения (молекулу считаем покоившейся до столкновения):

$$m_e v_1 = m_{O_2} v_2$$

$$\frac{m_e v_1^2}{2} = \frac{m_{O_2} v_2^2}{2} + W$$

где W – энергия ионизации.

Из приведенных з.с.и. и з.с.э., учитывая, что $m_e \ll m_{O_2}$, имеем:

$$W = \frac{m_{O_2} v_2^2}{2} \left(\frac{m_{O_2} - m_e}{m_e} \right) \approx \frac{m_{O_2} v_2^2}{2} \cdot \frac{m_{O_2}}{m_e} = \frac{m_e v_1^2}{2}$$

Т.е. практически вся кинетическая энергия электрона идет на ионизацию молекулы, а ее собственная кинетическая энергия при этом практически не изменяется (этим можно обосновать допущение, что молекулу изначально считаем неподвижной).

$$n = \frac{m_e}{m_{O_2}} = \frac{9.1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}{5.3 \cdot 10^{-26} \text{ кг}} = 1.7 \cdot 10^{-5}$$

2. При движении в однородном электрическом поле между двумя последовательными столкновениями (т.е. на средней длине свободного пробега λ) электрон приобретает кинетическую энергию:

$$\frac{m_e v_1^2}{2} = eE\lambda$$

Из последних двух выражений имеем:

$$W = eU_1 = eE\lambda$$

Откуда искомая средняя длина свободного пробега электронов:

$$\lambda = \frac{U_1}{E} = \frac{12,2 \text{ В}}{2 \cdot 10^6 \text{ В/м}} = 6,1 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 6,1 \text{ мкм.}$$

Решение задачи 4. Сенсоры водорода (10 баллов)

- 1 – 2. Решим задачу в общем виде.

Перейдём к эквивалентной схеме (см. рис. 2).

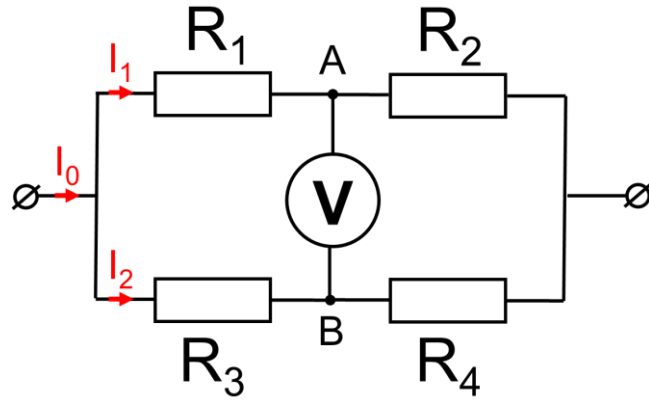


Рисунок 2. Эквивалентная схема

Потенциал в точке А: $\phi_A = U - I_1 R_1$, в точке Б: $\phi_B = U - I_2 R_3$, где $U = \mathcal{E} - I_0 r$ – напряжение во внешней цепи.

Так как $R_1 = R_2$, то $I_1 R_1 = I_1 R_2 \Rightarrow I_1 R_1 = 0,5U \Rightarrow \phi_A = U - I_1 R_1 = 0,5U$.

$$I_2 = \frac{U}{R_3 + R_4} \Rightarrow \phi_B = U - \frac{UR_3}{R_3 + R_4} = \frac{UR_4}{R_3 + R_4}.$$

Тогда:

$$U_V = \phi_B - \phi_A = \frac{U}{2} - \frac{UR_4}{R_3 + R_4} = U \frac{(R_3 - R_4)}{2(R_3 + R_4)} \quad (1)$$

По закону Ома для полной цепи:

$$I_0 = \frac{\mathcal{E}}{\Sigma R + r},$$

где $\Sigma R = \left(\frac{1}{2R_1} + \frac{1}{R_3 + R_4} \right)^{-1} = \frac{2R_1(R_3 + R_4)}{2R_1 + R_3 + R_4}$ – полное сопротивление в цепи.

$$\begin{aligned} \Sigma R + r &= \frac{2R_1(R_3 + R_4) + r(2R_1 + R_3 + R_4)}{2R_1 + R_3 + R_4} \Rightarrow U = \mathcal{E} \frac{Er(2R_1 + R_3 + R_4)}{2R_1(R_3 + R_4) + r(2R_1 + R_3 + R_4)} = \\ &= \frac{2R_1 \mathcal{E}(R_3 + R_4)}{2R_1(R_3 + R_4) + r(2R_1 + R_3 + R_4)}. \end{aligned}$$

Подставляя (1), получаем:

$$U_V = \frac{R_1 \mathcal{E}(R_3 - R_4)}{2R_1(R_3 + R_4) + r(2R_1 + R_3 + R_4)}.$$

1) Пренебрегая r :

$$U_V = \frac{\mathcal{E}(R_3 - R_4)}{2(R_3 + R_4)} \Rightarrow R_3 = \frac{R_4(\mathcal{E} + 2U_V)}{(\mathcal{E} - 2U_V)}; R_3 = 35 \text{ Ом.}$$

2) Учитывая r :

$$R_3 = \frac{ER_1 R_4 + U_V(2R_1 R_4 + 2R_1 r + R_4 r)}{ER_1 - U_V(2R_1 + r)}; R_3 = 35,1 \text{ Ом.}$$

3. Площадь микронагревателя состоит из четырёх прямоугольников длиной $a = 90$ мкм и шириной $b = 30$ мкм, а также из трёх полукругов радиусом $r_1 = 35$ мкм, у которых отсутствует половина малого круга диаметром $d = 10$ мкм.

Площадь прямоугольника

$$S_1 = ab; S_1 = 2700 \text{ мкм}^2.$$

Площадь полукруга без центральной части:

$$S_2 = \frac{\pi r_1^2}{2} - \frac{\pi d^2}{2 \cdot 4} = \frac{\pi}{2} (35^2 \text{ мкм}^2 - 5^2 \text{ мкм}^2) \approx 1885 \text{ мкм}^2.$$

Площадь всего микронагревателя

$$S_0 = 4S_1 + 3S_2; S_0 = 4 \cdot 2700 \text{ мкм}^2 + 3 \cdot 1885 \text{ мкм}^2 = 16455 \text{ мкм}^2.$$

4. Закон Джоуля-Ленца для резистора R'_3 :

$$Q = I_3^2 R'_3 \Delta t,$$

по закону Ома $I_3 = \frac{U_3}{R'_3} \Rightarrow Q = \frac{U_3^2}{R'_3} \Delta t$. Так как в отсутствие водорода мост сбалансирован, то $U = U_3 + U_4$, и так как $R'_3 = R_4$, то $U_3 = U_4 = \frac{U}{2}$.

$$U = \mathcal{E} - I_0 r = \mathcal{E} - \frac{\mathcal{E} r (2R_1 + R'_3 + R_4)}{2R_1(R'_3 + R_4) + r(2R_1 + R'_3 + R_4)} = \frac{2R_1 \mathcal{E} (R'_3 + R_4)}{2R_1(R'_3 + R_4) + r(2R_1 + R'_3 + R_4)};$$

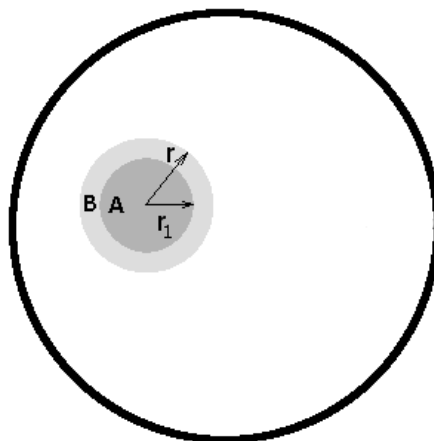
$U = 2,97$ В (можно пренебречь внутренним сопротивлением источника и использовать $U = \mathcal{E}$, но за это полный балл ставиться не будет) $\Rightarrow U_3 = 1,485$ В (или 1,5 В без учёта r).

$Q = c_{\text{АОА}} m_{\text{АОА}} \Delta T$; $m = \rho V = \rho S_0 h \Rightarrow c \rho S_0 h \Delta T = \frac{U_3^2}{R'_3} \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{c \rho S_0 h \Delta T R'_3}{U_3^2}$; $\Delta t = 8,3$ мс (без учёта r 8,1 мс).



Комплекс предметов «химия, физика, математика, биология»
 11 класс (заключительный этап)
 Математика. Вариант IV

Задача 1. Мицеллярный синтез (5 баллов)



При проведении синтеза в мицеллах были получены сферические наночастицы, сердцевина которых состоит из металла **A**, а оболочка – из металла **B** (см. рис.).

1. Рассчитайте объемную долю металла **A** в полученных наночастицах, ω , если соотношение концентраций металлов (в граммах на литр раствора) в исходном растворе, заключенном во внутреннюю полость мицелл, составляет $c_A/c_B = 0,8$. Соотношение плотностей металлов считать равным $\rho_A/\rho_B = 1,2$. **(4 балла)**
2. Рассчитайте r_1 и толщину оболочки d , если радиус полученной наночастицы равен $r = 8$ нм. **(1 балл)**

Задача 2. Длина углеродной нанотрубки (5 баллов)

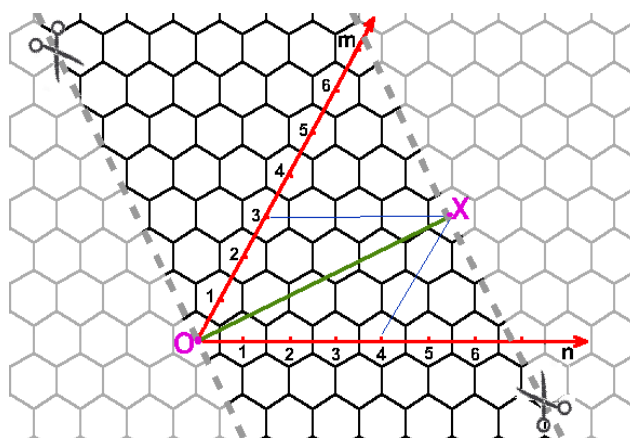
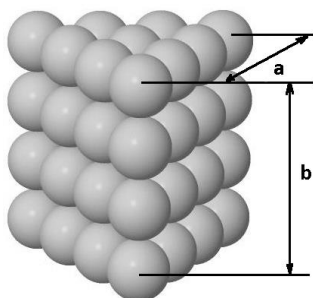


Рис. УНТ можно задать одной парой шестиугольников на шестиугольной сетке, для чего необходимо через центры этих шестиугольников (точки **O** и **X**, взаимное расположение которых в «скошенной» системе координат задается двумя целыми неотрицательными числами, n и m – индексами хиральности) прочертить линии разреза, перпендикулярные отрезку **OX**, вырезать по ним полоску листа и затем соединить ее края. Здесь приведен пример для «выкройки» трубки с $n = 4$ и $m = 3$

На рисунке дано определение индексов хиральности для углеродной нанотрубки (УНТ). Рассчитайте длину (в нм) открытой углеродной нанотрубки (УНТ) с индексами хиральности (3, 3), если известно, что она составлена из 33 шестиугольников. Длину связи С-С в УНТ считать равной 0,14 нм.

Задача 3. Доля поверхностных атомов в призме (5 баллов)



Рассмотрим металлический нанокластер в форме треугольной призмы, на ребра основания которой приходится по $a = 9$ атомов металла, а на боковые ребра – $b = 14$ атомов металла.

1. Любым способом рассчитайте, сколько атомов металла (N) содержится в таком нанокластере? (1 балл)

Удалим все атомы металла, находящиеся на поверхности нанокластера.

2. Сколько атомов металла (M) было удалено? Ответ поясните. (2 балла) Сколько атомов металла приходится на каждый из типов ребер нового кластера, a' и b' ? (1 балл)
3. Рассчитайте долю (в %) поверхностных атомов в исходном кластере (как величину отношения M/N). (1 балл)

Задача 4. Тетраэдрический фуллерен C_{2024} (10 баллов)

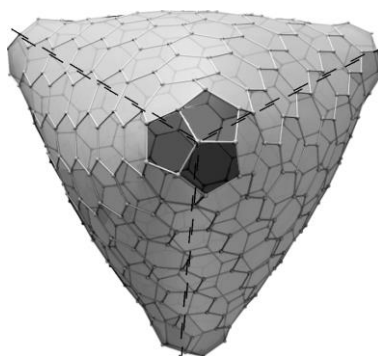


Рис. 1. Пример модели гигантского фуллерена в форме правильного тетраэдра

Боковую поверхность некоторого гигантского фуллерена (см. пример на рис. 1) можно сопоставить граням правильного тетраэдра T , «склеенного» из правильных треугольников, вырезанных из листа шестиугольников (рис 2). При этом, чтобы из тетраэдра T получить

фуллерен, необходимо суммарно удалить 8 атомов углерода, так, чтобы углы выкройки смогли сомкнуться в пятиугольники (рис. 1).

Для фуллерена C_{2024} , основываясь на схеме построения отвечающего ему тетраэдра T , и полагая, что толщиной листа шестиугольников можно пренебречь, а длина ребра шестиугольника равна 0,14 нм, рассчитайте:

1. длину ребра треугольной «выкройки», **(5 баллов)**
2. размер внутренней полости фуллерена как диаметр вписанной в тетраэдр T сферы, **(2 балла)**
3. значения индексов (n,m) (см. рис. 2), задающих ребро треугольной «выкройки», если $n - m \leq 2$. **(3 балла)**

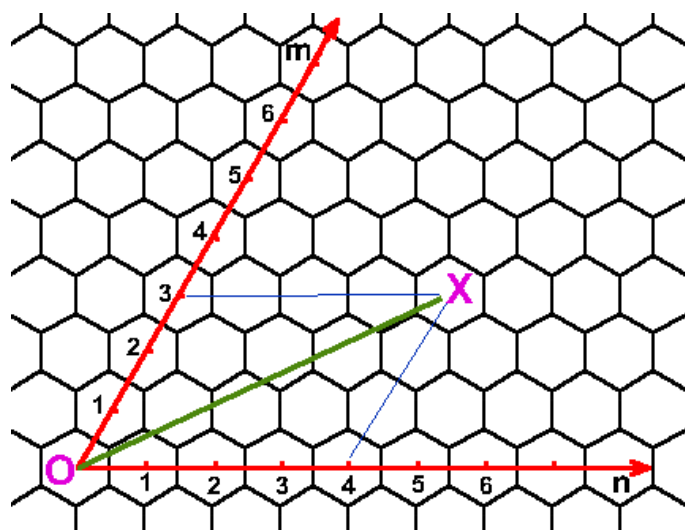


Рис. 2. Взаимное расположение пары шестиугольников (их центры отмечены точками O и X) на сетке из правильных шестиугольников можно описать двумя неотрицательными числами (n, m) , являющимися координатами центра одного из них относительно центра другого в косоугольной системе координат. На рисунке приведен пример для $(4,3)$. В случае тетраэдра T отрезок OX задает сторону равностороннего треугольника «выкройки»

Дополнительные материалы

$\pi \approx 3,1$

$\sqrt[3]{2} \approx 1,26, \sqrt[3]{3} \approx 1,44, \sqrt[3]{5} \approx 1,71, \sqrt[3]{7} \approx 1,91, \sqrt[3]{11} \approx 2,22$

$\sqrt{2} \approx 1,4, \sqrt{3} \approx 1,7, \sqrt{5} \approx 2,2, \sqrt{7} \approx 2,7$



**Комплекс предметов «химия, физика, математика, биология»
 11 класс (заключительный этап)
 Математика. Вариант IV. Решения**

Решение задачи 1. Мицеллярный синтез (5 баллов)

1. По определению, объемная доля металла **A** в частице равна $\omega = V_A/V_{AB} = V_A/(V_A + V_B)$, где V_A , V_B , и V_{AB} — это объемы металлов **A**, **B** и объем наночастицы целиком.

Найдем эти объемы.

В сферической мицелле радиуса **R** объемом $V_M = \frac{4}{3}\pi R^3$ содержится металл **A** объемом

$$V_A = \frac{m_A}{\rho_A} = \frac{c_A V_M}{\rho_A} = \frac{4c_A \pi R^3}{3\rho_A}$$

и металл **B** объемом

$$V_B = \frac{m_B}{\rho_B} = \frac{c_B V_M}{\rho_B} = \frac{4c_B \pi R^3}{3\rho_B}$$

Тогда

$$\omega = \frac{V_A}{V_{AB}} = \frac{4c_A \pi R^3 / 3 / \rho_A}{4c_A \pi R^3 / 3 / \rho_A + 4c_B \pi R^3 / 3 / \rho_B} = \frac{c_A / \rho_A}{c_A / \rho_A + c_B / \rho_B} = \frac{c_A / c_B \cdot \rho_B / \rho_A}{c_A / c_B \cdot \rho_B / \rho_A + 1}$$

Подставляя значения, данные в условии, получаем:

$$\omega = \frac{0,8/1,2}{0,8/1,2 + 1} = 0,4.$$

2. Условие $V_A = \omega V_{AB}$ можно переписать как

$$\frac{4}{3}\pi r_1^3 = \omega \frac{4}{3}\pi r^3,$$

Тогда

$$r_1 = \sqrt[3]{\omega r}.$$

Подставляя значения, получаем:

$$r_1 = \sqrt[3]{0,4 \cdot 8} = \sqrt[3]{2/5} \cdot 8 \approx 1,26/1,71 \cdot 8 \approx 5,9 \text{ нм.}$$

Теперь найдем **d**: $d = r - r_1$, $d = 8 - 5,9 = 2,1 \text{ нм.}$

Решение задачи 2. Длина углеродной нанотрубки (5 баллов)

Длина зубчатой углеродной нанотрубки, которая задается парой чисел (n, n) , определяется числом зубчатых «поясов» из n шестиугольников, $X/n = 33/3 = 11$, на которые ее можно мысленно разделить. На каждый такой пояс приходится малая диагональ углеродного шестиугольника, длина которой составляет

$$l = \sqrt{3}a = 0,14 \cdot \sqrt{3} = 0,14 \cdot 1,7 = 0,238 \text{ нм.}$$

Но, поскольку данные пояса смещены друг относительно друга на половину длины малой диагонали, то добавление каждого последующего пояса будет увеличивать длину трубки не на целую диагональ, а лишь на ее половину. Таким образом, длина УНТ, выраженная через число малых диагоналей, равна

$$N = 1 + 0,5(33/3 - 1) = 0,5 \cdot 11 + 0,5 = 6.$$

Следовательно, длина УНТ составляет

$$L = Nl, L = 6 \cdot 0,238 = 1,43 \text{ нм.}$$

Решение задачи 3. Доля поверхностных атомов в призме (5 баллов)

- Общее число атомов в треугольной призме равно числу атомов в одном треугольнике со стороной a , умноженном на общее число слоев, b :

$$N = 0,5ab(a + 1), N = 0,5 \cdot 9 \cdot 14(9 + 1) = 630.$$

- На поверхностный слой приходится $M = 2 \cdot 0,5a(a + 1) + 3ab - 6a - 3b + 6$ (суммируем атомы на двух треугольных и трех прямоугольных гранях, вычитаем из них атомы 9 ребер и прибавляем атомы шести вершин, поскольку они были вычтены на предыдущем шаге).

$$\text{Итого } M = 2 \cdot 0,5 \cdot 9(9 + 1) + 3 \cdot 9 \cdot 14 - 6 \cdot 9 - 3 \cdot 14 + 6 = 378.$$

$$\text{В свою очередь, } a' = a - 3 = 9 - 3 = 6,$$

$$\text{и } b' = b - 2 = 14 - 2 = 12.$$

- Рассчитаем отношение $M/N = 378/630 = 0,6$.

Решение задачи 4. Тетраэдрический фуллерен C_{2024} (10 баллов)

- Найдем площадь, приходящуюся на один атом треугольной «выкройки»: на один правильный шестиугольник с длиной ребра $a = 0,14$ нм и площадью $3\sqrt{3}a^2/2$ приходится 2 атома углерода (в каждой из шести вершин находится по атому, но каждый из них принадлежит одновременно трем соседним шестиугольникам), следовательно, на один атом приходится площадь, равная $3\sqrt{3}a^2/4$.

Всего в «выкройке» тетраэдра $2024 + 8 = 2032$ атома углерода, что отвечает площади

$$S = 2032 \cdot 3 \sqrt{3} a^2 / 4 = 508 \cdot 3 \sqrt{3} a^2 = 1524 \sqrt{3} a^2 = 1524 \cdot 1,7 \cdot 0,14^2 \approx 50,8 \text{ нм}^2$$

В то же время, площадь поверхности правильного тетраэдра составляет

$$S = \sqrt{3} A^2, \text{ где } A - \text{длина ребра тетраэдра.}$$

$$\text{Тогда } A = \sqrt{\frac{S}{\sqrt{3}}} = \sqrt{\frac{1524 \sqrt{3} a^2}{\sqrt{3}}} = 2a \sqrt{381}, \quad A \approx 2 \cdot 0,14 \cdot 19,5 \approx 5,46 \text{ нм.}$$

2. Диаметр сферы, вписанной в правильный тетраэдр, можно рассчитать как

$$d = \frac{1}{\sqrt{6}} A = \frac{1}{\sqrt{6}} \cdot 2a \sqrt{381} = 2a \sqrt{381/6} = 2a \sqrt{63,5} \approx 16a.$$

Тогда $d = 16 \cdot 0,14 = 2,24$ нм.

3. Длина ребра «выкройки» равна длине отрезка **ОХ**, который задается одной из трех возможных пар координат: (m, m) , $(m + 1, m)$ или $(m + 2, m)$, так как, по условию, $n - m \leq 2$.

Длина отрезка, задаваемого индексами (n, m) , равна

$$L = a \sqrt{3} \sqrt{n^2 + nm + m^2}, \text{ где } a - \text{длина связи C-C.}$$

Обозначим разность индексов как x . Тогда, приравняв два выражения для длины ребра «выкройки», получаем:

$$a \sqrt{508 \cdot 3} = a \sqrt{3} \sqrt{m^2 + m(m + x) + (m + x)^2}$$

$$508 = m^2 + m^2 + mx + m^2 + 2mx + x^2$$

$$508 = 3m^2 + 3mx + x^2$$

при $x = 0$

$$m = \sqrt{508/3} = \sqrt{169,3333} \approx 13,01 - \text{нет целочисленного решения.}$$

при $x = 1$

$$4. \quad 3m^2 + 3m - 507 = 0$$

$$m = \frac{-3 + \sqrt{6093}}{6} \approx \frac{-3 + 78,06}{6} \approx 12,5 - \text{нет целочисленного решения.}$$

при $x = 2$

$$3m^2 + 6m - 504 = 0$$

$$m = \frac{-6 + \sqrt{6084}}{6} = \frac{-6 + 78}{6} = 12 - \text{единственное целочисленное значение.}$$

Фуллерену C_{2024} отвечают индексы $(14, 12)$.



Комплекс предметов «химия, физика, математика, биология»
11 класс (заключительный этап)
Биология. Вариант III

Задача 1. Клеточный метаболизм (5 баллов)

1. Приведены реакции и процессы, происходящие в организме человека в ходе энергетического обмена. Расставьте их в том порядке, в каком они происходят в организме. Запишите ответ, как соответствующую последовательность букв. **(4 балла)**
 - А. Распад полисахаридов до моносахаридов
 - Б. Синтез двух молекул АТФ в процессе гликолиза
 - В. Восстановление кислорода
 - Г. Транспорт глюкозы в цитоплазму клетки
 - Д. Синтез ацетил-Ко-А
2. Какой/какие из этих процессов происходят в митохондриях? **(1 балл)**

Задача 2. Как устроены белки? (5 баллов)

Этот белок участвует в сложной задаче слияния мембранных везикул, образующихся в клетке и обеспечивающих внутриклеточный транспорт. Для этого он соединяется с мембраной за счет гидрофобных взаимодействий с участками белка, свернутыми в альфа-спираль таким образом, что гидрофобные остатки аминокислот располагаются только с одной стороны спирали. Подобными же способностями формировать амфипатическую (гидрофобную с одной и гидрофильную с другой стороны) альфа-спираль обладают и многие трансмембранные белки, при этом альфа-спирали могут образовывать пору в мембране, ориентируясь своими гидрофильными поверхностями внутрь поры, а гидрофобными — к липидам мембраны. Гидрофобными являются радикалы аланина, валина, лейцина, изолейцина, пролина, метионина, фенилаланина и триптофана.

1. Какой это белок? **(2 балла)**
 - а. Коллаген
 - б. Фиброин шелка
 - в. Белок слияния пероксисом
 - г. Кератин
2. Какой из фрагментов аминокислотной последовательности соответствует этому белку? Объясните, почему вы так думаете. **(3 балла)**

- а. ...-Gly-Ala-Pro-Gly-Pro-Pro-Gly-Thr-Pro-Gly-Ala-Pro-Gly-Hyp-Pro-...
- б. ...-Gly-Ala-Gly-Thr-Gly-Ala-Gly-Thr-Gly-Ala-...
- в. ...-Phe-Leu-Asn-His-Leu-Gln-Ala-Ala-Ala-Lys-Phe-Tyr-Asp-Asn-Lys-Leu-Ala-...
- г. ...-Cys-Leu-Phe-Ser-Leu-Ser-Cys-Arg-Thr-Ser-Cys-Ser-Ser-Arg-Phe-Cys-...

Задача 3. Как покрасить фламинго (5 баллов)

Мистер Твистер, бывший министр, как мы знаем из поэмы Маршака – миллионер. И его дочь Сьюзи может позволить себе всё, что захочет. Например, зоопарк. Однажды Сьюзи прочитала в журнале про то, что фламинго становятся розовыми не сами по себе, а оттого, что едят рачков, которые содержат пигмент. А если таких рачков в рационе фламинго нет, то птицы быстро становятся грязновато-белыми.

– Я хочу, - заявила Сьюзи Твистер сотрудникам своего зоопарка, – чтобы вы сделали мне разноцветных фламинго. Красить их не надо, их надо просто правильно кормить. Значит так, фламинго у нас будут:

1. зеленые – мы будем добавлять в корм фламинго листья салата,
2. желтые – желтую морковь,
3. оранжевые – простую морковь, она даже дешевле,
4. фиолетовые – добавим свеклу,
5. коричневые – благородно красно-коричневого цвета, да! Мы используем кошениль, которой красят Пепси-Колу,
6. синие – у меня есть синяя китайская тушь, я вам ее принесу, смешаете ее с кормом,
7. черные – возьмем детскую акварель, я ее в детстве ела, она безвредна,
8. красные – купите пищевой краситель, его можно добавлять не только в еду, но и в воду, он хорошо растворяется.

Выполняйте!

Как вы думаете, получится ли покрасить фламинго таким образом? Может быть, какие-то цвета всё-таки удастся получить? Какие? В отличие от Сьюзи, вы знаете, что рачки содержат красный жирорастворимый пигмент. **(3 балла за правильно выбранные цвета и 2 балла за объяснение)**

Варианты ответа

- | | |
|-----------------|------------|
| а. грязно-белый | г. красный |
| б. розовый | д. синий |
| в. оранжевый | е. зеленый |

Задача 4. Разноцветные коты (10 баллов)

У кошек ген, отвечающий за черную и красную (рыжую) окраски шерсти, сцеплен с полом и находится в X хромосоме. При этом аллели, ответственные за черную и красную окраску, неполно доминируют друг над другом, при их сочетании получается черепаховый окрас шерсти. Ген, отвечающий за белую окраску, доминантный, безусловно доминирует над остальными генами (W белая окраска у кошки, w окраска другого цвета, зависит от сочетания генов) и находится в аутосоме.

В одном небольшом австралийском городе несколько поколений проводили наблюдения за изолированной популяцией бездомных кошек. В частности, оценивали их окрас. Было установлено, что в популяции присутствуют коты (только на них были получены статистически значимые результаты, вероятно кошки были более осторожны) белого, различных темных и красных окрасов. Согласно актуальным данным, в окрестностях города было замечено 6 белых, 16 красных и 38 черных оттенков котов.

1. Какой процент животных черепахового окраса будет наблюдаться в данной популяции, какого они пола? **(5 баллов)**
2. Какова частота встречаемости генов белого, красного и черного цветов? Результат объясните. **(5 баллов)**



Комплекс предметов «химия, физика, математика, биология»
11 класс (заключительный этап)
Биология. Вариант III. Решения

Решение задачи 1. Клеточный метаболизм (5 баллов)

1. А-Г-Б-Д-В.
2. Д и В (выбор синтеза двух молекул АТФ в процессе гликолиза считается грубой ошибкой).

Решение задачи 2. Как устроены белки? (5 баллов)

1. в. Белок слияния пероксисом. Пероксисомы — везикулярные структуры клетки.
2. в. ...-Phe-Leu-Asn-His-Leu-Gln-Ala-Ala-Ala-Lys-Phe-Tyr-Asp-Asn-Lys-Leu-Ala-...

Если отметить на последовательности гидрофобные аминокислоты, окажется, что гидрофобные участки чередуются с гидрофильными. При сворачивании в альфа-спираль гидрофобные участки окажутся по одну сторону, этой стороной фрагмент белка и будет взаимодействовать с гидрофобными областями мембраны. Необходимо учитывать, что период альфа-спирали — 3,6 аминокислотных остатков. В варианте в. имеются участки гидрофобных аминокислот (Ala), в том числе с объемными остатками (Phe, Leu), которые разделены участками с гидрофильными и заряженными аминокислотами. Вариант а. - содержит большое количество пролина, это свойственно для коллагена, б. - содержит большое количество глицина и аланина, что свойственно для фиброина шелка, кроме того, чередование гидрофобных и гидрофильных остатков здесь идет через 1, т. е. нет выраженных гидрофобных и гидрофильных участков для создания амфипатической структуры при сворачивании в альфа-спираль. Вариант г. - содержит большое количество цистеина, что свойственно для кератина.

Решение задачи 3. Как покрасить фламинго (5 баллов)

1	2	3	4	5	6	7	8
а	б	в	г	а	а	а	а

Фламинго накапливают в перьях жирорастворимые каротиноиды, от чего приобретают свой цвет. В зависимости от количества каротиноидов цвет будет меняться от розового до ярко-красного через оранжевый. Причем ярко-красный достигается поеданием овощей, типа тыквы, помидоров, свеклы, там концентрация пигмента выше.

Все водорастворимые красители в перьях не накапливаются, поэтому и кошениль, и акварель, и пищевой краситель никакой окраски не дадут. Китайская тушь окрашена минеральными пигментами, например, цветной глиной, или сажей, поэтому вообще не всасывается кишечником.

Что касается хлорофилла, то он, хотя и имеет гидрофобный фрагмент для заякоривания в мембране, сам по себе достаточно гидрофильный. Однако в перьях накапливаются не все гидрофобные соединения, а избирательно только каротиноиды (фламинго, конечно, едят и соержжащие хлорофилл водоросли, однако они не зеленеют от этого).

В некоторых ответах вместо китайской туши фигурировала косметическая гидрофобная тушь. В принципе идея добавить в пищу фламинго гидрофобный краситель, чтобы их покрасить, кажется перспективной, но как было сказано выше – организм фламинго избирательно накапливает каротиноиды. Такие эксперименты проводились, но потерпели неудачу. Получить синих фламинго не удалось.

Решение задачи 4. Разноцветные коты (10 баллов)

Задачу можно решать различными способами. В случае «нестандартных» решений оно будет засчитываться, если решение будет разумным и не противоречит современным представлениям.

Считаем нашу популяцию идеальной и панмиксической по всем исследуемым генам.

Поскольку белый окрас доминирует над остальными цветами можно упростить нашу «генетическую систему» до вида Ww , где W – белый окрас, а w – все остальные. Частоту встречаемости $p(W)$ для гена W можно рассчитать из выражения:

$$p(W)^2 + 2p(W)q(w) + q(w)^2 = 1$$

Доля белых котов среди других котов в популяции составила $6/(6+16+38) = 10\%$, считаем что количество котов и кошек равно, тогда общее количество белых животных в популяции составляет тоже 10% (эта величина не зависит от пола и если среди котов она 10%, то среди кошек тоже 10% и во всей популяции тоже 10%). $p(W)^2 + 2p(W)q(w) = 0,1$. $q(w)^2 = 1 - 0,1 = 0,9$, Соответственно, частота встречаемости w составит около 0,95. Частота встречаемости гена белого окраса будет составлять, приблизительно, $1 - 0,95 = 0,05$ или 5%. **(2 балла)**

Если исключить из популяции белых животных, то цвет оставшихся кошек определяется одним геном с двумя аллелями сцепленным с полом. Для него нужно использовать другое уравнение Харди-Вайнберга, не связанное с белым цветом, поскольку это другой ген. Всего таких наблюдаемых котов было $60 - 6 = 54$, а доля красных котов составляет $16/54 \approx 0,3$, доля черных $38/54 \approx 0,7$. **(1 балл)**

Далее можно воспользоваться формулой для закона Харди-Вайнберга, сцепленного с полом:

$$p(W)^2 + 2p(W)q(w) + q(w)^2 = 1$$

$$0,5p(B)^2 + p(B)s(R) + 0,5s(R)^2 + 0,5p(B)u(Y) + 0,5s(R)u(Y) = 1$$

где $p(B)$ – частота встречаемости гена окраски черного цвета;

$s(R)$ – частота встречаемости гена окраски красного (рыжего) цвета;

$u(Y)$ – частота встречаемости хромосомы Y , в обычных условиях равно 0,5

Два последних компонента – это доля котов в популяции.

Если вы не знакомы с этой формулой, то можно воспользоваться общими соображениями и прийти к правильному ответу (фактически выведя данное уравнение).

Генотип котов XY, поэтому считаем, что в данной популяции соотношение мужских гамет будет следующим: $0,5Y:0,5X$, где X хромосома, с геном, содержащим аллели В (кошки темных окрасов) или R (кошки красных окрасов). Соотношение гамет можно получить из соотношения котов красных и черных окрасов (0,3 и 0,7, соответственно). Женских гамет с генами В или R будет в два раза больше, чем соответствующих мужских, поскольку женская особь имеет две X-хромосомы.

	доля	женские	
мужские		0,3 s(R)	0,7 p(B)
	0,15 s(R)	0,045 s ² (R)	0,105 p(B)s(R)
	0,35 p(B)	0,105 p(B)s(R)	0,245 p ² (B)
	0,5 u(Y)	0,15 s(R)u(Y)	0,35 p(B)u(Y)

Тогда частоту встречаемости гена окраски красного (рыжего) цвета можно найти из выражения описывающих долю рыжих котов: $s(R)u(Y)=0,15$, $s(R)=0,3$; а частоту встречаемости гена окраски черного цвета можно найти из выражения описывающих долю котов темных окрасов: $p(B)u(Y)=0,35$, $p(B)=0,7$. **(2 балла)**

Два аллеля одного гена в нормальных условиях могут быть только у кошек (у них две X хромосомы), соответственно, черепаховый цвет может быть только у кошек. А их процент составляет: $2p(B)s(R)=0,21$ около 21%. Также засчитывается ответ, если долю черепаховых животных рассчитали от исходной популяции с учетом белых животных (21% рассчитали в 90% новой популяции), что составляет около 19%. **(5 баллов)**