

Задания наноолимпиады и их решения

Задачники

СБОРНИК ЗАДАНИЙ

Архив

Архив сборников заданий Олимпиады

- [Сборник заданий 2019 года.](#)
- [Сборник заданий 2018 года.](#)
- [Сборник заданий 2017 года.](#)
- [Сборник заданий 2016 года.](#)
- [Сборник заданий 2015 года.](#)
- [Сборник заданий 2014 года.](#)
- [Сборник заданий 2013 года.](#)
- Сборник заданий 2012 года: [упрощенные задания для школьников 7-8 классов](#); [9-11 классов](#); [задачи повышенной сложности для школьников 7-11 классов.](#)
- Сборник заданий 2007-2011 года: [химия и наука о материалах](#); [физика наносистем](#); [математика](#); [бионанотехнологии и медицина](#); [викторина](#), [тесты](#), [угадайки.](#)

Для подготовки к олимпиаде мы рекомендуем ознакомиться с материалами [заочной нанотехнологической школы](#), размещенной на портале Нанометр.Ру.

Авторами заданий являются научные сотрудники и преподаватели химического, физического, биологического факультетов, факультета наук о материалах МГУ имени М.В.Ломоносова и других организаций, привлеченных Оргкомитетом Олимпиады для разработки учебно-методических материалов. Авторство материалов сохранено за разработчиками. Запрещается использование данных материалов для коммерческих целей. Ссылка на принадлежность данных материалов Всероссийской Интернет-олимпиаде по нанотехнологиям обязательна при любом их упоминании.

<http://enanos.nanometer.ru/archive.html>





Юный эрудит (заочный тур) Задача 1. Нанообъекты

Для объектов из приведенного ниже списка определите, относятся они к нанообъектам или нет. Кратко поясните ответ и приведите определение «нанообъекта», которым Вы пользовались.

- нанотрубка
- наноспутник
- наночастица
- наноалмаз
- наноробот
- наносалфетка
- нанокерамика
- наносим-карта
- наномойка
- нанореактор
- нанотела
- нанопицца
- нанокраски
- наноноски

Всего – 7 баллов



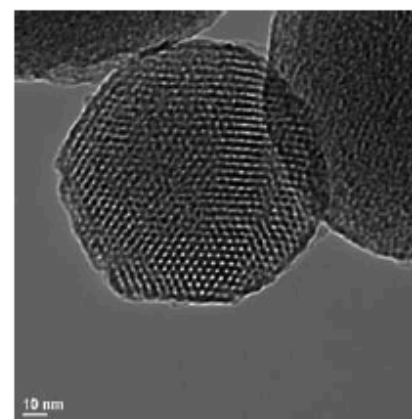
Юный эрудит (заочный тур) Задача 2. Масштаб

Наночастица и яблоко на изображениях кажутся одинаковыми.

1. А во сколько раз яблоко больше наночастицы? **(2 балла)**
2. Что будет, если яблоко увеличить во столько же раз? Какой объект имеет размеры? **(2 балла)**



Всего – 4 балла



1. Отношение $3 \text{ см} / 100 \text{ нм} = 300000 = 3 \cdot 10^5$.
2. Размер яблока будет $3 \text{ см} \cdot 3 \cdot 10^5 = 9 \text{ км}$.



Юный эрудит (заочный тур)
Задача 12. Самосборка

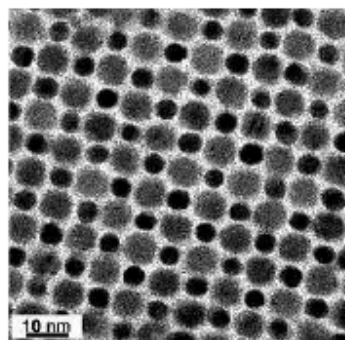
Самосборка – процесс формирования высокоупорядоченных массивов наноструктур (например, сверхрешеток). Это – типичный метод получения наноматериалов «снизу-вверх». Если в системе присутствуют наночастицы двух размеров, то в результате самосборки возможно образование сверхрешеток с расположением наночастиц, подобным расположению атомов в кристаллах.

Ниже приведен ряд микрофотографий сверхрешеток, сделанных при помощи туннельного просвечивающего микроскопа, на которых мы можем видеть высокоупорядоченное взаимное расположение темных областей двух размеров – «теней» наночастиц, формирующих сверхрешетки. Сопоставьте каждой из микрофотографий трехмерную структуру упаковки атомов в кристаллах.

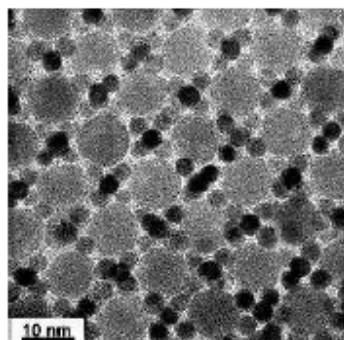
Ответ представьте в виде таблицы:

Микрофотография	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Структура										

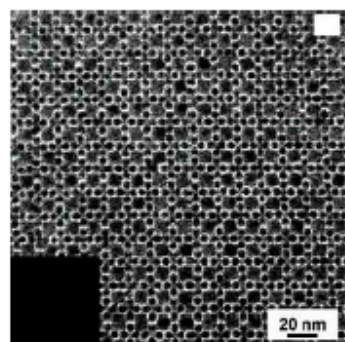
Микрофотографии:



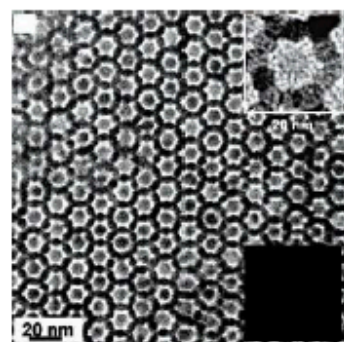
1



2



3



4



Юный эрудит (заочный тур)
Решение задачи 12. Самосборка

Микро-фотография	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Структура	CuAu	CaB ₅	AB ₁₃	CaCu ₂	AlB ₂	NaCl	MgZn ₂	AB	Fe ₄ C	Cu ₃ Au

1		б	<p>CuAu</p> <p>(I) микрофотография повернутому на угол 45° соответствует (II),</p>
2		к	<p>CaB₅</p>
3		е	<p>AB₁₃</p>



Юный эрудит (заочный тур)
Решение задачи 14. Кроссворд

1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11.

Кроссворд:

По горизонтали:
 12. МУТАЦИЯ
 13. ШЕСТИУГОЛЬНИК
 14. НАНОМЕТР
 15. ГИДРОФОБНОСТЬ
 16. ИММУНИТЕТ
 17. ИКОСАЭДР
 18. МЯЧ

По вертикали:
 1. УИНТЕР
 2. ДНК
 3. НАНОКЛАСТЕР
 4. ДРЕКСЛЕР
 5. МУТАЦИЯ
 6. ФЕРМЕНТ
 7. АРНОЛЬД
 8. ШЕСТИУГОЛЬНИК
 9. АРНОЛЬД
 10. ИКОСАЭДР
 11. НАНОМЕТР
 12. МУТАЦИЯ
 13. ШЕСТИУГОЛЬНИК
 14. НАНОМЕТР
 15. ГИДРОФОБНОСТЬ
 16. ИММУНИТЕТ
 17. ИКОСАЭДР
 18. МЯЧ

По горизонтали

2. ДНК – молекула, рис. 4.
5. Мутация – играет ведущую роль в 12г.
6. Фермент – биокатализатор.
8. Шестиугольник – главный структурный мотив графена (рис. 5).
11. Нанометр – 10^{-9} метра.
12. Формулировка Нобелевской премии по химии – 2018 для 17г: «за направленную эволюцию бг».
13. Гидрофобность – свойство поверхности, рис. 3.
16. Иммуитет – одним из главных его компонентов является 10в.
17. Арнольд – лауреат Нобелевской премии по химии – 2018, см. 12г (рис. 1.).
18. Икосаэдр – его симметрией обладает и рис. 7, и рис. 10.
20. Мяч – предмет, имеющий такую же форму, как рис. 10.

По вертикали

1. Уинтер – лауреат Нобелевской премии по химии – 2018 за разработку метода получения 10в, (рис. 2.).
3. Нанокластер – рис. 7.
4. Дрекслер – автор апокалиптического сценария превращения всего на Земле в серую слизь под действием неуправляемых самовоспроизводящихся нанороботов.



Юный эрудит (заочный тур)
Решение задачи 15. Нанofilворд

1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.

Нанofilворд:

По горизонтали:
 1. АДСОРБЕНТ
 2. АЭРОГЕЛЬ
 3. БАКТЕРИОФАГ
 4. ВИСКЕР
 5. АДСОРБЕНТ
 6. АЭРОГЕЛЬ
 7. БАКТЕРИОФАГ
 8. ВИСКЕР
 9. АДСОРБЕНТ
 10. АЭРОГЕЛЬ
 11. БАКТЕРИОФАГ
 12. ВИСКЕР
 13. АДСОРБЕНТ
 14. АЭРОГЕЛЬ
 15. БАКТЕРИОФАГ
 16. ВИСКЕР
 17. АДСОРБЕНТ
 18. АЭРОГЕЛЬ
 19. БАКТЕРИОФАГ
 20. ВИСКЕР
 21. АДСОРБЕНТ
 22. АЭРОГЕЛЬ
 23. БАКТЕРИОФАГ
 24. ВИСКЕР
 25. АДСОРБЕНТ
 26. АЭРОГЕЛЬ
 27. БАКТЕРИОФАГ
 28. ВИСКЕР
 29. АДСОРБЕНТ
 30. АЭРОГЕЛЬ
 31. БАКТЕРИОФАГ
 32. ВИСКЕР
 33. АДСОРБЕНТ
 34. АЭРОГЕЛЬ
 35. БАКТЕРИОФАГ
 36. ВИСКЕР
 37. АДСОРБЕНТ
 38. АЭРОГЕЛЬ
 39. БАКТЕРИОФАГ
 40. ВИСКЕР
 41. АДСОРБЕНТ
 42. АЭРОГЕЛЬ
 43. БАКТЕРИОФАГ
 44. ВИСКЕР
 45. АДСОРБЕНТ
 46. АЭРОГЕЛЬ
 47. БАКТЕРИОФАГ
 48. ВИСКЕР
 49. АДСОРБЕНТ
 50. АЭРОГЕЛЬ
 51. БАКТЕРИОФАГ
 52. ВИСКЕР
 53. АДСОРБЕНТ
 54. АЭРОГЕЛЬ
 55. БАКТЕРИОФАГ
 56. ВИСКЕР
 57. АДСОРБЕНТ
 58. АЭРОГЕЛЬ
 59. БАКТЕРИОФАГ
 60. ВИСКЕР
 61. АДСОРБЕНТ
 62. АЭРОГЕЛЬ
 63. БАКТЕРИОФАГ
 64. ВИСКЕР
 65. АДСОРБЕНТ
 66. АЭРОГЕЛЬ
 67. БАКТЕРИОФАГ
 68. ВИСКЕР
 69. АДСОРБЕНТ
 70. АЭРОГЕЛЬ
 71. БАКТЕРИОФАГ
 72. ВИСКЕР
 73. АДСОРБЕНТ
 74. АЭРОГЕЛЬ
 75. БАКТЕРИОФАГ
 76. ВИСКЕР
 77. АДСОРБЕНТ
 78. АЭРОГЕЛЬ
 79. БАКТЕРИОФАГ
 80. ВИСКЕР
 81. АДСОРБЕНТ
 82. АЭРОГЕЛЬ
 83. БАКТЕРИОФАГ
 84. ВИСКЕР
 85. АДСОРБЕНТ
 86. АЭРОГЕЛЬ
 87. БАКТЕРИОФАГ
 88. ВИСКЕР
 89. АДСОРБЕНТ
 90. АЭРОГЕЛЬ
 91. БАКТЕРИОФАГ
 92. ВИСКЕР
 93. АДСОРБЕНТ
 94. АЭРОГЕЛЬ
 95. БАКТЕРИОФАГ
 96. ВИСКЕР
 97. АДСОРБЕНТ
 98. АЭРОГЕЛЬ
 99. БАКТЕРИОФАГ
 100. ВИСКЕР

1. Адсорбент – материал с большой удельной (то есть, приходящейся на единицу массы) поверхностью, на которой происходит адсорбция (поглощение) веществ из соприкасающихся с ней газов или жидкостей. Самые эффективные адсорбенты состоят из наночастиц, поскольку чем меньше радиус, тем больше удельная площадь поверхности.
2. Аэрогель – высокопористый материал, расстояние между стенками соседних пор в котором, как правило, составляет 4 – 10 нм. Он представляет собой гель, в котором жидкая фаза (например, вода) полностью заменена воздухом без нарушения структуры геля.
3. Бактериофаг – вирус, избирательно поражающий бактериальные клетки. Его оболочка состоит из головки диаметром 45 – 140 нм и хвоста толщиной 10 – 40 и длиной 100 – 200 нм.
4. Вискер – нитевидный нанокристалл, у которого длина более чем в 100 раз превышает диаметр.



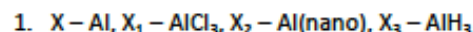
Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 2. Активные порошки

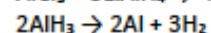
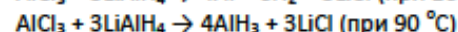
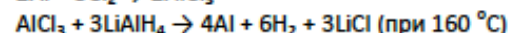
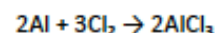
При взаимодействии простого вещества элемента X с хлором были получены бесцветные чешуйчатые кристаллы вещества X_1 , дымящие на воздухе. Известно, что для получения 0.89 г X_1 теоретически требуется 224 мл хлора (н.у.). При действии на X_1 алюмогидридом лития в 1,3,5-триметилбензоле (мезитиле) при 160 °С был получен серый порошок X_2 с температурой плавления 590 °С. Если реакцию проводить при температуре 90 °С, то образуется белый порошок X_3 , который при прокаливании разлагается с образованием вещества X_2 . Оба вещества – X_2 и X_3 – энергично реагируют с водой уже при комнатной температуре. Если нагреть X_2 до температуры плавления, расплав превращается в блестящую застывшую каплю с металлическим блеском. Расплавить ее удастся только при более высокой температуре. Свежеприготовленный порошок X_2 воспламеняется на воздухе уже при слабом нагревании. Однако при хранении в закрытой склянке его реакционная способность понижается.

1. Определите состав всех веществ, если дополнительно известно, что из 1.00 г X_3 можно получить не более 0.9 г X_2 . (3 балла)
2. Запишите уравнения реакций. (4 балла)
3. Объясните причину высокой реакционной способности X_2 и уменьшение ее при хранении. (1 балл)
4. Предложите два других способа получения X_2 . (2 балла)

Всего – 10 баллов



2. Уравнения реакций:



3. В высокую реакционную способность наноалюминия вносит вклад избыточная поверхностная энергия наночастиц, которая при хранении уменьшается из-за окисления поверхности.
4. Другие способы получения Al(nano) – осаждение из газовой фазы, взрывное диспергирование.



В последнее время широкую популярность получили фотокатализаторы на основе мезопористого диоксида титана. Одной из его важнейших характеристик является удельная площадь поверхности $S_{уд}$ (отношение площади поверхности к массе образца). Для определения данного параметра используют метод сорбции-десорбции азота при 77 К: экспериментально измеряют объём адсорбированного азота и рассчитывают $S_{уд}$ в предположении, что молекулы N_2 образуют монослой.

1. Определите удельную площадь поверхности мезопористого диоксида титана, если 1.00 г данного материала адсорбировал 0.15 мл жидкого азота. Плотность жидкого азота равна 0.808 г/мл, радиус молекулы азота равен 0.16 нм. (3 балла)
2. Оцените средний диаметр частиц мезопористого диоксида титана, обладающего такой удельной поверхностью. Для простоты форму частиц можно считать сферически симметричной. Плотность диоксида титана равна 4.05 г/см³. (3 балла)
3. Объясните, почему для мезопористого диоксида титана как фотокатализатора удельная площадь поверхности является одним из наиболее важных параметров. Какую роль при этом играет размер частиц? Приведите пример фотокаталитической химической реакции. (2 балла)

Всего – 8 баллов



1. Количество адсорбированного азота равно

$$v = \frac{m}{M} = \frac{\rho V}{M}$$

Это соответствует $N = v \cdot N_A = \frac{\rho V N_A}{M}$ молекулам азота.

Так как они образуют монослой, то занимаемая площадь равна

$$S = s_{N_2} \cdot N = \pi r_{N_2}^2 \cdot \frac{\rho V N_A}{M} = \pi \cdot (0,16 \cdot 10^{-9} \text{ м})^2 \cdot \frac{808 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}}{0,028 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 210 \text{ м}^2$$

По условию, масса оксида титана равна 1 г, поэтому удельная площадь поверхности равна 210 м²/г.

2. Предположим, что количество частиц оксида титана в одном грамме равно n . Тогда суммарная площадь поверхности частиц равна

$$S_n = S_1 \cdot n = 4\pi r^2 n,$$

а суммарный объём равен

$$V_n = V_1 \cdot n = \frac{4}{3} \pi r^3 n$$

Кроме того, известно, что площадь поверхности равна 210 м², а объём равен

$$V_n = \frac{m}{\rho}$$

Составим систему уравнений и решим её.

$$\begin{cases} 210 = 4\pi r^2 n \\ \frac{m}{\rho} = \frac{4}{3} \pi r^3 n \end{cases}$$

$$r = \frac{m}{70\rho} = \frac{10^{-3} \text{ кг}}{70 \text{ м}^2 \cdot 4050 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 3,5 \cdot 10^{-9} \text{ м} = 3,5 \text{ нм}$$

Значит, диаметр наночастиц равен 7 нм.

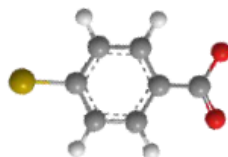


Наночастицы золота синтезировали по следующей методике: раствор HAuCl_4 смешали в определенном соотношении с раствором ароматической кислоты X в избытке щелочи при комнатной температуре, затем добавили твердый NaBH_4 . Образовавшуюся смесь коллоидных частиц разного размера разделили путем многократного центрифугирования. В результате были получены частицы фиксированного состава, молекулярную массу которых определяли с помощью масс-спектрометрии и гель-электрофореза. Частица, содержащая 204 атома золота и некоторое число остатков кислоты, имела массу 52348 Да, а частица, в которой было на 7 атомов золота и на 3 остатка меньше, весила 50513 Да. Частицы Y массой 26782 Да оказались настолько устойчивыми, что из них удалось вырастить монокристалл и определить пространственную структуру методом рентгеноструктурного анализа.

1. Установите структурную формулу органической кислоты X, если известно, что она содержит серу, а ее молекула симметрична. (2 балла)
2. Сколько атомов золота и остатков кислоты входят в состав самой устойчивой частицы Y? (2 балл)
3. Наночастицы состоят из металлического ядра и остатков кислоты, связанных с атомами на поверхности. Оцените радиусы частицы Y и ее ядра, считая их сферическими. Радиус атома золота равен 0.144 нм, плотноупакованные сферы занимают 74% пространства. Размер молекулы X оцените самостоятельно, используя справочные данные о длинах связей. (4 балла)

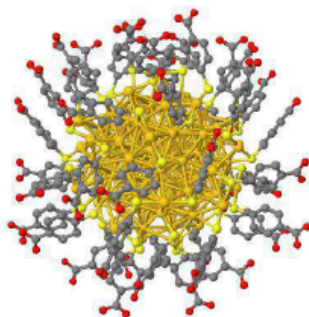
Указание. Атомные массы всех элементов считайте целыми.

Всего – 8 баллов Оценим линейный размер остатка:



$$l(\text{S}-\text{C}) + 2l(\text{C}-\text{C}) + l(\text{C}-\text{O}) + 1/2 \cdot l(\text{C}=\text{O}) = 0.182 + 2 \cdot 0.140 + 0.154 + 1/2 \cdot 0.132 = 0.682 \text{ нм.}$$

Полный радиус частицы: $0.744 + 0.682 = 1.426 \text{ нм} \approx 1.4 \text{ нм.}$



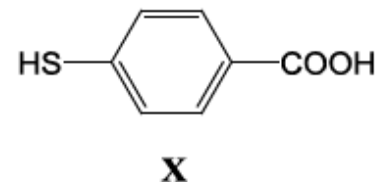
$\text{Au}_{102}(\text{pMBA})_{44}$



1. Семь атомов золота и три остатка кислоты имеют массу:

$$7 \cdot 197 + 3M = 52348 - 50513,$$

откуда $M = 152$ Да. Это – молекулярная масса аниона. Такую массу имеет анион меркаптобензойной кислоты $^-\text{S}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COO}^-$. Из трех изомерных кислот, отличающихся взаимным расположением двух функциональных групп, симметричной является только 4-меркаптобензойная кислота (pMBA):

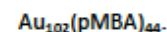


2. Пусть Y содержит a атомов Au и b остатков X, тогда

$$197a + 152b = 26782.$$

Уравнение решается подбором с учетом того, что a – четное, но не делится на 4. Кроме того, из анализа состава более крупных частиц следует, что атомов золота – примерно в 2.5 раза больше, чем анионов.

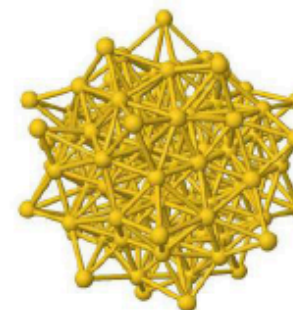
$$a = 102, b = 44.$$



3. Пусть R – радиус металлического ядра, $r = 0.144$ нм – радиус атома золота, тогда

$$\frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{102 \cdot \frac{4}{3} \pi r^3}{0.74}$$

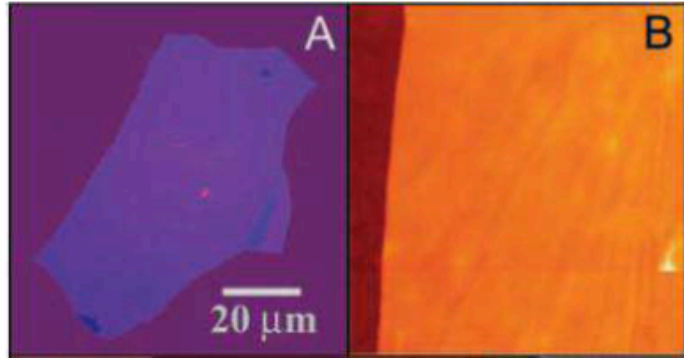
откуда $R = 0.744$ нм.



Au_{102}



В одной из пионерских статей К.С. Новоселова и А.К. Гейма, опубликованной в журнале Science в 2004 году, описаны уникальные свойства графена. В журнале приведены изображения многослойной пленки графена, находящейся на кремниевой пластине. Верхний слой пластины окислен и представляет из себя слой SiO₂. На рисунке представлены изображения, полученные в оптическом микроскопе (А) и в атомно-силовом микроскопе (В).



(А) Изображение, полученное в оптическом микроскопе (в белом свете) относительно большой многослойной чешуйки графена толщиной 3 нм поверх окисленной пластины Si. (В) Изображение, полученное на атомно-силовом микроскопе (АСМ), области размером 2 x 2 мкм этой чешуйки вблизи её края. Цвета: темно-коричневый, поверхность SiO₂; оранжевый, высота 3 нм над поверхностью SiO₂.

1. Как изменились бы изображения чешуйки (А) и (В), если бы она лежала непосредственно на кремниевой пластине? Объясните. (3 балла)
2. Какова минимальная толщина слоя оксида, если наблюдается такая картина, как на рис. (А)? (3 балла)
3. Почему чешуйка графена на рис. А имеет синий цвет, а слой SiO₂ – фиолетовый? Какую картину можно наблюдать в оптический микроскоп, если чешуйка будет а) в 3 раза толще и б) в 3 раза тоньше? (4 балла)

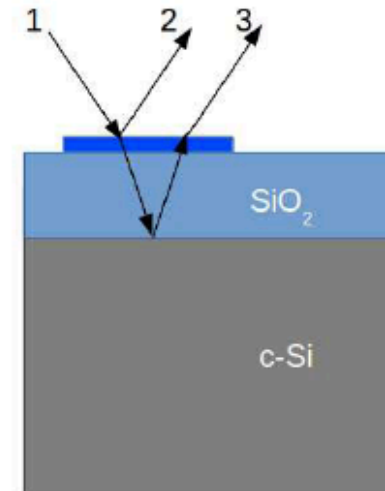
Всего – 10 баллов

$$2hn + 2h_{\text{Graphene}}n_{\text{Graphene}} = \frac{\lambda}{2} = 310\text{нм}$$

Если чешуйка будет в 3 раза толще, то дополнительно набегит 48 нм, и чешуйка окрасится в зеленый цвет, т. к. будет выполняться условие минимума для красного цвета $\lambda = 680$ нм. А если в 3 раза тоньше, т. е. 1 нм, то никакой разницы в цвете мы не заметим, и чешуйка сольется с подложкой.

Справочные данные показателей преломления в видимой области

| Вещество | n ($\lambda = 400$ нм) |
|------------------|---------------------------|
| Графен | 2.70 |
| SiO ₂ | 1.47 |
| c-Si | 5.56 |



1. Чешуйки будут не видны в оптическом микроскопе, в атомно-силовом микроскопе картина не изменится.
2. Появление характерной фиолетовой окраски у оксидного слоя – результат интерференции света в этом слое. Толстая пленка оксида уже не имеет такой окраски. Лежащая на поверхности чешуйка имеет малую толщину, чтобы свет интерферировал в таком малом слое.

Запишем оптическую разность хода лучей 2 и 3 и приравняем условию минимума:

$$2hn = \frac{m\lambda}{2},$$

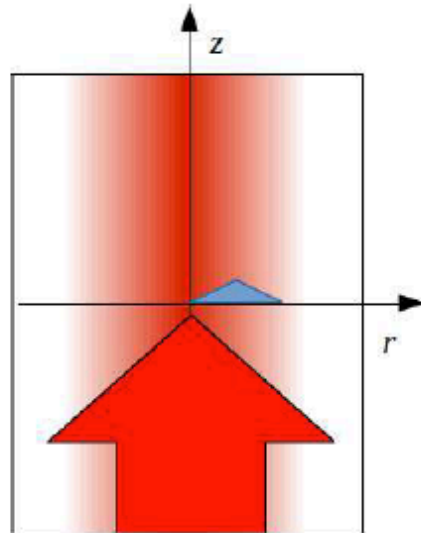
т. к. отражение происходит от оптически более плотной среды дважды, то скачок фазы $\lambda/2$ не набегает.

При освещении белым светом будет наблюдаться окрашивание пленки, если выполняется условие минимума при интерференции. Минимальная толщина пленки оксида соответствует $m = 1$, а цвет, являющийся дополнительным к фиолетовому, – желтый. Ему соответствует длина волны $\lambda = 580$ нм.

$$h = \frac{\lambda}{4n} \approx 100\text{нм}$$

3. Чешуйка вносит дополнительную разность хода $2h_{\text{Graphene}}n_{\text{Graphene}} \approx 16\text{нм}$.

Это может привести к тому, что минимум будет наблюдаться для длины волны 620 нм, соответствующей оранжевому диапазону видимого излучения.



В 2018 году Нобелевская премия по физике была присуждена за изобретение оптического пинцета и его применение в биологических системах. С помощью оптического пинцета можно манипулировать отдельными наночастицами.

Один из подходов, объясняющих возможность удерживать наночастицу лазерным лучом, – геометрическая оптика.

Наночастица имеет форму тонкой треугольной призмы, в основании которой – равносторонний треугольник. Основание равностороннего треугольника 200 нм. Угол между боковыми сторонами треугольника $\alpha = 120^\circ$. Показатель преломления призмы $n = \sqrt{3}$.

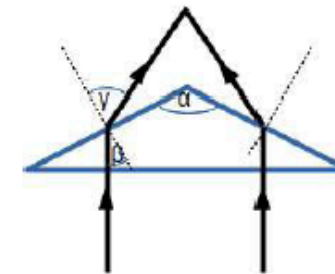
Наночастица облучается лазерным пучком, имеющим гауссово распределение интенсивности $I(r) = I_0 \cdot \exp\left(\frac{-r^2}{2\sigma^2}\right)$, $\sigma = 200$ нм. Центр пучка совпадает с осью z . Наночастица сместилась от центра пучка, так что левый край совпадает с осью z , а излучение падает нормально на боковую грань (см. рис.).

1. Изобразите ход лучей на рисунке. (1 балл)
2. Используя рисунок, объясните возникновение градиентной силы. (2 балла)
3. Найдите угол возникающей градиентной силы относительно оси z , с учетом данных задачи. (6 баллов) Интегралы можно рассчитать численно.
4. Какая еще сила действует на наночастицу со стороны лазерного пучка? (1 балл)

Всего – 10 баллов



1.



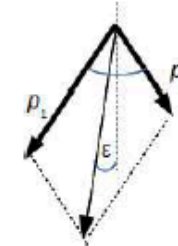
$$\frac{\sin(\gamma)}{\sin(\beta)} = n$$

2. Свет можно рассматривать, как поток фотонов, имеющих импульс. По закону сохранения импульса, векторная сумма импульсов фотонов и наночастицы должна быть равна нулю, т. к. начальный импульс системы был тоже равен нулю. Таким образом, импульс частицы равен по модулю и противоположно направлен импульсу вышедших фотонов. Импульс связан с интенсивностью:

$$p = \frac{I}{c}$$

Интенсивность, проходящая через левую половину призмы больше, чем через правую. Следовательно, можно говорить о градиентной силе, направленной к оси пучка, где интенсивность максимальна.

3.



$$\operatorname{tg}(\epsilon) = \frac{p_1 - p_2}{p_1 + p_2} \operatorname{tg}\left(\gamma - \left(\frac{\pi - \alpha}{2}\right)\right)$$

Численное интегрирование дает $p_1 = 0.0959$, $p_2 = 0.0751$

$$\operatorname{tg}(\epsilon) = \frac{0.0959 - 0.0751}{0.0959 + 0.0751} \operatorname{tg}(30^\circ), \epsilon \approx 4^\circ$$

4. Сила давления света.



Как известно, при переходе от макроскопических объектов к наночастицам многие свойства одного и того же вещества существенно меняются (так называемый размерный эффект). Так, например, теплоемкость наночастиц металлов заметно возрастает по сравнению с теплоемкостью объемных образцов, в то время как температура плавления наоборот уменьшается.

1. Оцените линейный размер нанокристалла меди, при котором размерный эффект становится существенным. В качестве оценки энергии электронов использовать энергию Ферми при комнатной температуре, а также учесть, что эффективная масса электрона для меди совпадает с массой свободного электрона. (5 баллов)

Некоторые из проявлений размерного эффекта могут быть объяснены перестройками структуры кристаллической решетки при уменьшении линейных размеров кристаллов до нескольких нанометров. Действительно, столь малым кристаллам (нанокристаллам) оказывается энергетически выгодно перестроить свою структуру так, чтобы площадь поверхности была наименьшей, т.е. упаковка атомов становится более плотной.

2. Оцените относительное изменение плотности нанокристалла вольфрама по сравнению с плотностью объемного вольфрама, если известно, что при переходе от макро- к нанокристаллам структура кристаллической решетки вольфрама изменяется от кубической объемноцентрированной к кубической гранецентрированной, а постоянная решетки при этом уменьшается на 2 %. (5 баллов)

Всего – 10 баллов

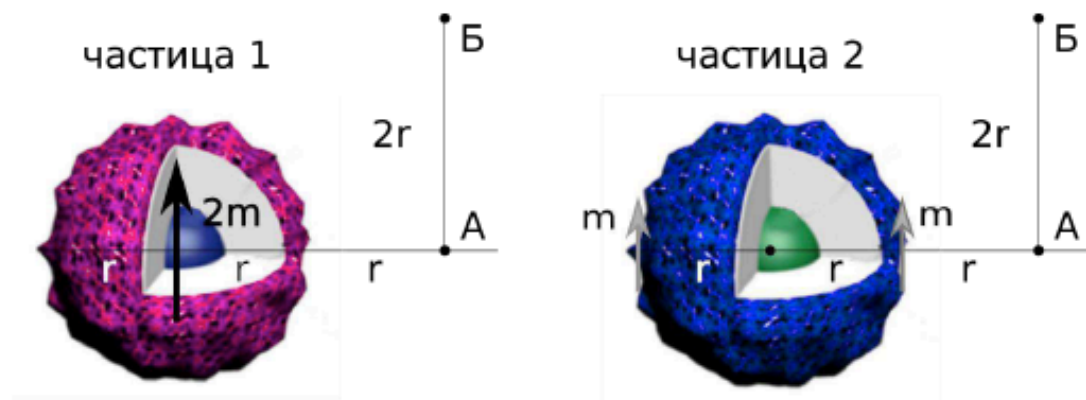


1. Для ответа на первый вопрос можно воспользоваться общим правилом, согласно которому размерные эффекты становятся существенными при уменьшении линейных размеров объектов до величины порядка длины волны де Бройля:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m^*E}}$$

где m^* – эффективная масса электронов, а E – их энергия. Подставляя значение энергии Ферми для меди при комнатной температуре ($7 \text{ эВ} \approx 11.2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$) и массу свободного электрона, получаем оценку длины волны де Бройля $\sim 0.5 \text{ нм}$, что и является оценкой линейного размера нанокристалла меди, при котором размерный эффект для него становится существенным.

2. Для ответа на второй вопрос достаточно рассмотреть элементарную ячейку макро- и нанокристаллов вольфрама. При таком подходе плотность есть отношение массы всех атомов, входящих в элементарную ячейку, к объему этой ячейки. Для ОЦК решетки объемного вольфрама число атомов в элементарной ячейке – 2, в то время как для ГЦК решетки нанокристалла вольфрама это значение равно 4. Таким образом, в отсутствие уменьшения постоянной решетки плотность нанокристалла возросла бы вдвое. С учетом уменьшения постоянной решетки объем элементарной ячейки в случае нанокристалла будет также уменьшаться в $1/(0.98^3) \approx 1.06$ раз. Результирующее относительное изменение плотности будет, таким образом, составлять $2/(0.98^3) \approx 2.13$ раз.



Для “подкрашивания” определенных органов на изображениях магнитно-резонансной томографии (МРТ) ученые используют магнитные наночастицы. Такие наночастицы, как правило, имеют диаметр d 100-200 нм, хотя собственно магнитная часть может быть значительно меньше по размерам. Так, частицы могут содержать магнитные атомы гадолиния в центре, окруженные немагнитной оболочкой, либо, наоборот, атомы гадолиния могут находиться на поверхности. Для простоты рассмотрим частицу 1 с магнитным точечным диполем в центре наночастицы (магнитный момент равен $2m$), и частицу 2 с двумя магнитными диполями на поверхности наночастицы с магнитным моментом m .

1. Почему магнитные частицы “подкрашивают” изображение МРТ? (2 балла)
2. Почему диаметр наночастиц лежит в диапазоне 100-200 нм? (1 балл)
3. Во сколько раз отличаются магнитные поля, создаваемые частицами 1 и 2 в точках А (3 балла) и Б (4 балла)?

Справочная информация:

Напряженность поля точечного магнитного момента определяется формулой:

$$H = \frac{m}{\mu r^3} \sqrt{1 + 3 \cos^2 \theta}, \quad (1)$$

где m – магнитный момент, μ – магнитная восприимчивость среды, r – расстояние от диполя до точки измерения, а θ – угол между направлением диполя и радиус-вектором точки измерения. Для простоты все магнитные поля в одной точке, создаваемые разными диполями, можно считать сонаправленными.

Всего – 10 баллов

В тексте условия была допущена опечатка. Проверка проводилась с учетом этого обстоятельства.

1. Наночастицы создают вокруг себя магнитное поле. В результате суммарное поле изменяется и нарушаются условия для магнитного резонанса. В итоге на изображениях появляются темные поля. Такой контраст называют негативным.
2. Наночастицы в данном диапазоне наименее заметны для иммунной системы и значительное время циркулируют в кровотоке. Меньшие наночастицы отфильтровываются почками, большие – печенью.
3. Начнем с простого случая точки А.

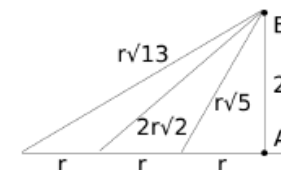
В этом случае, угол θ равен $\pi/2$, следовательно, $\cos \theta = 0$. Получаем для наночастицы первого типа:

$$H_1 = \frac{2m}{\mu_0(2r)^3} = \frac{1}{4} \frac{m}{\mu_0 r^3} \quad (1)$$

Для наночастицы второго типа:

$$H_2 = \frac{m}{\mu_0 r^3} + \frac{m}{\mu_0(3r)^3} = \frac{28}{27} \frac{m}{\mu_0 r^3} \quad (2)$$

Отсюда ответ: поле для второй частицы больше в $112/27 = 4.15$ раза.



Случай точки Б.

Рассмотрим прямоугольный треугольник с вершинами А,Б и центр наночастицы 1. По теореме Пифагора, квадрат гипотенузы будет равен $4+4 = 8 r^2$. Следовательно, $\cos^2 \theta = 1/2$ (вспомним теорему о равенстве накрест-лежащих углов).

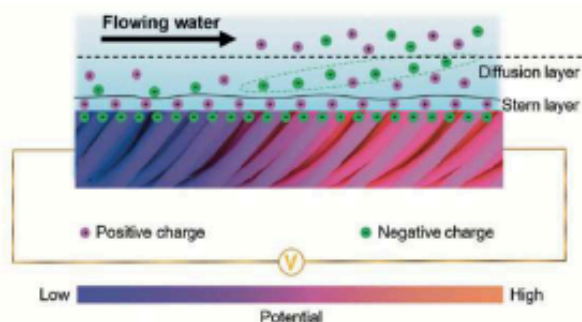
Отсюда:

$$H_1 = \frac{2m}{\mu_0 r^3 \sqrt{8}} \sqrt{1 + 3 \cdot (1/4)} = \frac{m}{\mu_0 r^3} \frac{\sqrt{7}}{32\sqrt{2}} = 0.0585 \frac{m}{\mu_0 r^3} \quad (3)$$

Для второй наночастицы квадраты гипотенузы будут равны $1+4 = 5 r^2$ и $4+9 = 13 r^2$, соответственно. Таким образом, получим:

$$H_2 = \frac{m}{\mu_0(r\sqrt{5})^3} \sqrt{1 + 3 \cdot (4/5)} + \frac{m}{\mu_0(r\sqrt{13})^3} \sqrt{1 + 3 \cdot (4/13)} \\ = \frac{m}{\mu_0 r^3} \left(\frac{\sqrt{17}}{25} + \frac{5}{169} \right) = 0.195 \frac{m}{\mu_0 r^3} \quad (4)$$

Ответ: 3.33



Необычный наногенератор, способный получать энергию из кровотока, предложили китайские ученые. Генератор представляет из себя одномерную структуру из многостенных углеродных нанотрубок. Из-за наличия заряда в жидкости на поверхности структуры образуется двойной электрический слой из неподвижных катионов натрия и анионов хлора с радиусом $r = 0.2$ нм, которые могут перемещаться в тонком диффузионном слое вдоль поверхности. В момент сердечного сокращения скорость кровотока на поверхности структуры, v , достигает 1 мкм/с. Найдите разность потенциалов, U , на границах структуры из нанотрубок длиной $L = 1$ мм, если известно, что во время сердечных сокращений ионы хлора около центра структуры неподвижны. Вязкость крови, h , составляет 5 мПа·с. (10 баллов)

Всего – 10 баллов



Воспользуемся формулой Стокса для движения шара в вязкой среде:

$$F_v = 6\pi R\eta v. \quad (1)$$

Здесь F – сила вязкого трения, R – радиус шара (его также называют радиусом Стокса), v – скорость потока.

Сила вязкого трения уравновешивается кулоновской силой:

$$F_E = U q/L \quad (2)$$

Таким образом, приравнивая силы, получаем:

$$U = \frac{6\pi R\eta v L}{q} = \frac{18.8 \cdot 2 \cdot 10^{-10} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-3}}{1.6 \cdot 10^{-19}} = 117 \text{ мВ} \quad (3)$$



Прошло уже 90 лет с открытия Александром Флемингом первого антибиотика – пенициллина. Сложно сосчитать, сколько раз антибиотики спасали человечество от всевозможных заболеваний. Но первое применение пенициллина положило начало гонке вооружений между бактериями и человеческим разумом. Бактерии начали быстро эволюционировать, придумывая все более изощренные способы борьбы с антибиотиками, а человечество – все более совершенные антибиотики. На сегодняшний день проблема антибиотикорезистентности, то есть устойчивости многих опасных штаммов бактерий к существующим антибиотикам, нависла над нами, как дамклов меч.

1. Чем отличаются грамположительные и грамотрицательные бактерии? Какие из них чаще оказываются патогенными? (0.5 балла)
2. Что обычно представляет собой антибиотик? Приведите примеры групп антибиотиков (0.5 балла)
3. Подумайте, какие механизмы могут использовать бактерии для борьбы с антибиотиками? (до 0.5 балла за механизм, максимум 1)
4. Придумайте, как мы можем усовершенствовать антибиотики, чтобы бороться с антибиотикорезистентностью. (до 1 балла за идею, максимум 3)
5. В качестве агента по борьбе с бактериями можно применять наночастицы серебра. Оцените, насколько возможно возникновение резистентности к наночастицам? (1 балл)

Всего – 6 баллов

1. Грамотрицательные бактерии не окрашиваются кристаллическим фиолетовым при окрашивании по Граму, а грамположительные бактерии – окрашиваются и не отмываются. Большинство Грам (-) бактерий имеют вторую прочную мембрану, препятствующую проникновению краски внутрь, а Грам (+) бактерий имеют только однослойную клеточную мембрану. Большинство патогенов является Грам (+), например, стрептококки и стафилококки.
2. Антибиотики — это молекулы, подавляющие рост бактерий. Наиболее распространены бета-лактамы (пенициллиновая группа) антибиотики, макролиды и тетрациклины.
3. Примеры: (1) укрепление внешней мембраны, (2) выработка ферментов, расщепляющих или инактивирующих антибиотик, (3) синтез каналов или транспортеров, выводящих антибиотик наружу, (4) быстрая репарация повреждений, вызванных антибиотиком, (5) создание альтернативных биохимических путей при блокировании одного из них антибиотиком, (6) мутация рецепторов связывания с антибиотиком и др.
4. Примеры: (1) защита действующего вещества капсулами, (2) модификация химической формулы, (3) комбинация существующих антибиотиков с блокаторами ферментов и каналов, ответственных за резистентность, или молекулами, образующими пору в мембране бактерий и др. Принимается любая идея, имеющая биологический смысл.
5. Пока наночастицы выглядят довольно перспективным средством борьбы с бактериями, но все же несовершенным. Наночастицы серебра могут воздействовать на бактерии двумя способами: (1) механически, (2) с помощью ионов серебра. От механических повреждений (1) можно защититься, выработав прочную клеточную стенку, но большинство патогенов Грам (+) ее не имеют. Считается, что от ионов серебра (2) защититься довольно сложно. Но теоретически бактерии могут «придумать» молекулы, которые бы связывали ионы серебра. К тому же, существуют бактерии, которые уже могут восстанавливать ионы серебра Ag^+ до серебра Ag^0 , формируя наночастицы.

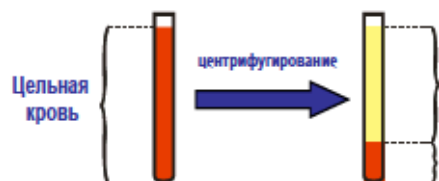


Кровь – одна из важнейших тканей в организме, выполняющая ряд функций и состоящая из жидкой среды – плазмы – и клеток – форменных элементов крови (эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов). Что вы знаете о крови? Ниже Вам будет задано несколько вопросов о крови, попробуйте на них ответить.

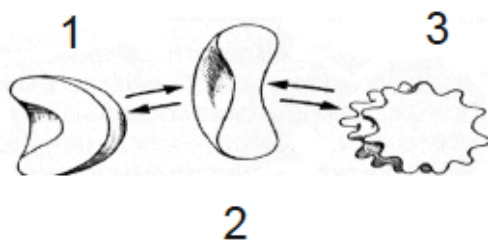
1. К какому виду ткани относится кровь: (1 балл)

- а) эпителиальной
- б) соединительной
- в) нервной
- г) мышечной

2. Часто в медицине вместо одного из компонентов крови – плазмы – используют сыворотку крови. Чем они отличаются, как и для чего используют сыворотку крови? (2 балла)

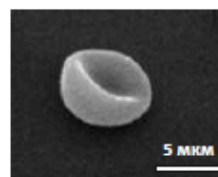


3. Известно, что эритроциты способны обратимо изменять свою морфологию (например, при изменении ионной силы или pH). Ниже на рисунке приведены три основных формы эритроцитов. Назовите их. (2 балла)

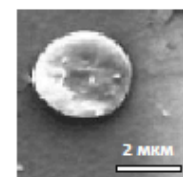


4. Ниже приведено несколько фотографий форменных элементов крови. Сопоставьте название клетки его изображению. (3 балла)

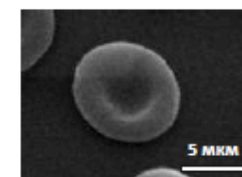
- тромбоцит (активированный)
- тромбоцит (неактивированный)
- лимфоцит
- эритроцит (дискоцит)
- эритроцит (стоматоцит)
- эритроцит (эхиноцит)



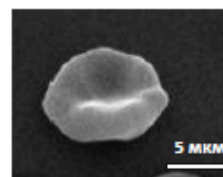
а



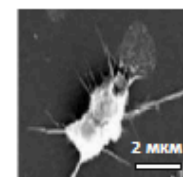
б



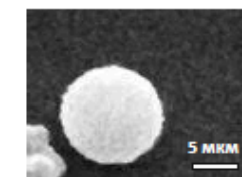
в



г



д



е

5. Кратко ответьте, какие компоненты крови способны выполнять транспортную функцию? (1 балл)

Для того, чтобы наночастицы попали в органы-мишени, их, как правило, вводят внутривенно. К сожалению, ионный состав плазмы приводит к тому, что металлические наночастицы агрегируют между собой и подвергаются воздействию иммунной системы, после чего в большинстве случаев оказываются в печени, а затем постепенно выводятся из организма.

6. Предложите способ введения металлических наночастиц (будем считать их экспериментальным аналогом наноробота) в кровь, позволяющий избежать их агрегации и удаления иммунной системой. (Предлагая механизм, постарайтесь опираться на данные о строении и функционировании компонентов крови.) (максимум 5 баллов).

Всего – 14 баллов



1.
 - б) соединительной
2. Сыворотка крови — это плазма крови, лишённая фибриногена. В сыворотке сохранена большая часть антител, а за счёт отсутствия фибриногена резко увеличивается стабильность, что делает ее более удобной для использования.

Сыворотку используют для диагностики, а также при биохимическом анализе крови. Кроме того, существуют иммунные сыворотки, содержащие антитела к определенным антигенам. Их используют для создания иммунитета к различным заболеваниям или ядам, а также при диагностике или научных исследованиях (например, сыворотки меченые различными флуоресцентными красителями и радионуклидами).

3. 1 – стоматоцит
2 – дискоцит
3 – эхиноцит
4.
 - а) эритроцит (стоматоцит)
 - б) тромбоцит (неактивированный)
 - в) эритроцит (дискоцит)
 - г) эритроцит (эхиноцит)
 - д) тромбоцит (активированный)
 - е) лимфоцит
5. Одна из основных функций крови – транспортная. К ее выполнению в той или иной степени способно большинство ее компонентов, однако можно выделить наиболее приспособленные для этого. Это – **эритроциты**, способные переносить на поверхности различные вещества, а также транспортировать различные газы. Кроме того, транспортную функцию выполняют белки плазмы, такие как **липопротеины**, **альбумины** и некоторые **глобулины**.
6. Можно условно разделить нашу задачу на две части: 1) введение наночастиц; и 2) защита от действия иммунной системы.

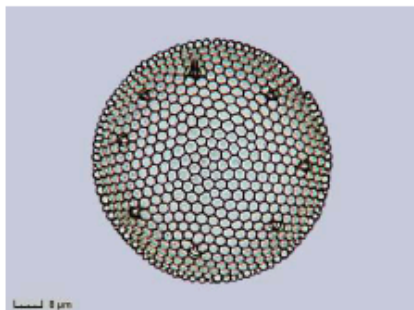
Общие замечания. Ответом на заданный вопрос можно считать модульную конструкцию, в состав которой входит металлическая наночастица. Наночастица модифицируется так, чтобы к ней можно прикрепить модуль, отвечающий за распознавание модуля иммунной системой, затем прикрепляется транспортный модуль (который может включать вышеописанные компоненты крови), также могут присутствовать другие модули, например, отвечающие за попадание непосредственно в орган-мишень, если есть такая необходимость.

Введение наночастиц. Если нельзя ввести наночастицы напрямую в кровь, то можно выделить компоненты крови и попытаться ввести туда наночастицы, а затем ввести

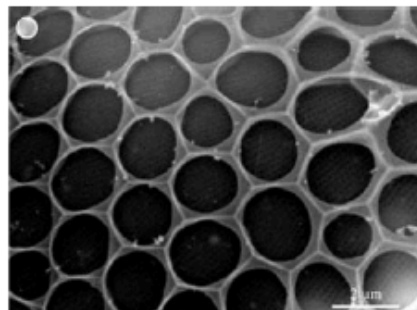
такие компоненты в кровь. Самыми перспективными в этом отношении являются компоненты, наиболее приспособленные для транспорта веществ – эритроциты и белки плазмы (липопротеины, альбумины и некоторые виды глобулинов). Эритроциты и белки можно выделить из крови пациента, а можно использовать донорские, затем поместить их в среду другого ионного состава, в которой эритроциты и белки не разрушаются, а металлические наночастицы остаются наночастицами, а затем инкубировать их с необходимыми наночастицами. Также, особенно в случае с белками, возможна дополнительная модификация наночастиц различными белковыми и небелковыми компонентами для облегчения соединения (здесь возможны различные варианты связей).

Защита от действия различных факторов иммунной системы. В настоящее время подобная процедура уже отработана, если не с наночастицами, то с различными веществами и лекарствами. Как правило, производится модификация наночастиц различными пептидами или другими веществами, позволяющими иммунной системе считать данный объект частью организма.

В целом, ответ на вопрос может включать другие гипотезы, но идеи о модификации наночастиц, а также о присоединении таких частиц к выделенным компонентам крови должны присутствовать.



а



б

Рис. 1. Примеры радиолярий рода *Stephanopyxix*. а) Внешний вид. б) Изображение скелета, полученное при помощи сканирующей электронной микроскопии.

Радиолярии – это простейшие одноклеточные организмы, входящие в состав планктона. Они имеют ажурный внутренний скелет (рис. 1), который в ряде случаев состоит из наночастиц диоксида кремния размером 50 – 150 нм.

1. В структуре выпуклого многогранника, отвечающего внутреннему скелету некоторого экземпляра радиолярии *Stephanopyxix*, существуют только пяти-, шести- и семиугольники, а в каждой вершине сходятся ровно по три грани. Оцените общее число граней для этого скелета, если его форма близка к сферической, диаметр составляет $D = 43,13$ мкм, а длина любого ребра – $d = 1,5$ мкм. (2,5 балла)
2. Воспользовавшись теоремой Эйлера¹, рассчитайте число пяти-, шести- и семиугольных граней во внутреннем скелете радиолярии рода *Stephanopyxix*, если доля семиугольников для него составляет $\delta = 15\%$ от общего числа граней. (3,5 балла)

¹ Теорема Эйлера для выпуклого многогранника: $V - E + F = 2$, где V , E , F – это, соответственно, число вершин, ребер и граней.

Всего – 6 баллов

1. Площадь поверхности сферы составляет $S = \pi D^2 = 5844$ мкм².

В то же время, площадь многогранника равна сумме площадей составляющих его многоугольников, помноженных на общее число многоугольников каждого вида:

$$S = F_3 \cdot S_3 + F_6 \cdot S_6 + F_7 \cdot S_7.$$

Площадь любого равностороннего многоугольника можно приблизить суммой площадей равносторонних треугольников $S_3 = 0,5d^2 \sin 60^\circ = 0,974$ мкм²:

$$\begin{aligned} S &= 5F_3 \cdot S_3 + 6F_6 \cdot S_3 + 7F_7 \cdot S_3 = S_3(5(12 + F_7) + 6F_6 + 7F_7) = 6S_3(10 + 2F_7 + F_6) \\ S &= 6S_3(F_3 + F_6 + F_7 - 2) = 6S_3(F - 2) = 6S_3(F - 2) \end{aligned}$$

Что можно приблизить как $S = 6S_3(F - 2) \approx 6S_3F$.

Тогда общее число граней $F = S/(6S_3) = 5844/(6 \cdot 0,974) = 1000$.

2. Запишем теорему Эйлера для скелетного многогранника:

$$V = 5F_3/3 + 6F_6/3 + 7F_7/3 \text{ (каждый } n\text{-угольник дает } n \text{ вершин, но каждая вершина принадлежит трем многоугольникам),}$$

$$E = 5F_3/2 + 6F_6/2 + 7F_7/2 \text{ (каждый } n\text{-угольник дает } n \text{ ребер, но каждое ребро принадлежит двум многоугольникам),}$$

$$F = F_3 + F_6 + F_7.$$

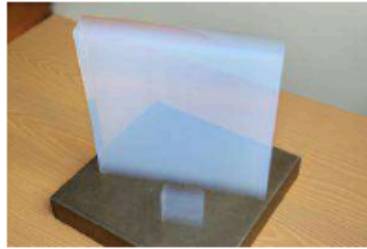
$$\begin{aligned} 5F_3/3 + 6F_6/3 + 7F_7/3 - (5F_3/2 + 6F_6/2 + 7F_7/2) + F_3 + F_6 + F_7 &= 2 \\ F_3 - F_7 &= 12 \end{aligned}$$

Рассчитаем число граней разных типов:

$$F_7 = \delta F = 15/100 \cdot 1000 = 150.$$

$$F_3 = 12 + F_7 = 162$$

$$F_6 = F - F_7 - F_3 = 1000 - 150 - 162 = 688.$$



Аэрогелями называют класс аморфных высокопористых материалов, имеющих объемную макроструктуру с характерным размером наноструктурных элементов 4 – 10 нм и представляющих собой гель, в котором жидкая фаза полностью замещена газообразной.

1. Рассчитайте истинную плотность¹ твердой фазы ρ_x и объемную долю ω (%) воздуха в структуре аэрогеля (2.5 балла), если известно, что:
 - аэрогель имеет удельную² площадь поверхности, равную $S_{уд} = 343 \text{ м}^2/\text{г}$;
 - структура твердой фазы представляет собой совокупность бесконечно длинных цилиндров радиуса $r = 2,2 \text{ нм}$;
 - кажущаяся³ плотность аэрогеля ρ_{ag} превышает плотность воздуха в $\Phi = 66$ раз.

Какой из перечисленных ниже материалов был использован для создания аэрогеля? (0.5 балла)

| углеродное волокно | диоксид титана | диоксид кремния | оксид алюминия | воздух |
|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1,5 г/см ³ | 4,23 г/см ³ | 2,65 г/см ³ | 3,95 г/см ³ | 1,2 мг/см ³ |

2. Оцените среднее расстояние между отдельными цилиндрами твердой фазы. (2 балла)

¹ Истинная плотность – это масса единичного объема сплошного материала без пор, полостей и включений.

² Удельная величина – это величина, отнесенная к единице массы образца.

³ Кажущаяся (средняя) плотность – это масса единичного объема материала с учетом пор, полостей и включений.

Всего – 5 баллов

1.

- 1) По определению, удельная площадь поверхности равна

$$S_{уд} = \frac{S_x}{m} = \frac{S_x}{\rho_x V_x},$$

где S_x – площадь поверхности твердой фазы, $m = m_{ag} = m_x$ – масса аэрогеля (т.к. ρ_{ag} превышает ρ_x в 66 раз, то массой воздуха в объеме аэрогеля можно пренебречь), а V_x – объем твердой фазы.

Для бесконечно длинного цилиндра ($h \gg r$) получаем

$$S_{уд} = \frac{2\pi r^2 + 2\pi r h}{\pi r^2 h \rho_x} \approx \frac{2}{r \rho_x},$$

тогда плотность твердой фазы составляет

$$\rho_x = 2/(r S_{уд}) = 2/(2,2 \cdot 10^{-7} \cdot 343 \cdot 10^4) = \underline{2,65} \text{ г/см}^3.$$

- 2) Плотность $\rho_x = 2,65 \text{ г/см}^3$ соответствует диоксиду кремния.

- 3) Объемная доля воздуха составляет

$$\omega = \frac{V_x}{V_{ag}} \cdot 100\% = \frac{V_{ag} - V_x}{V_{ag}} \cdot 100\% = \frac{m/\rho_{ag} - m/\rho_x}{m/\rho_{ag}} \cdot 100\% = \frac{\rho_x - \Phi \rho_x}{\rho_x} \cdot 100\%,$$

$$\omega = \frac{2,65 - 66 \cdot 0,0012}{2,65} \cdot 100\% \approx \underline{97\%}$$

2. На куб со стороной A нм в среднем приходится $\pi r^2 A$ нм² твердой фазы.

Это составляет $(1 - \omega/100)$ от его объема: $\pi r^2 A = (1 - \omega/100)A^3$.

Тогда $A = \sqrt{\pi r^2 / (1 - 0,01\omega)} = \sqrt{3,14 \cdot 2,2^2 / (1 - 0,01 \cdot 97)} \approx 22,6 \text{ нм}$ и среднее расстояние между цилиндрами $d = A - 2r = 22,6 - 2 \cdot 2,2 = \underline{18,2} \text{ нм}$.



1. Форму какого многогранника имеет фуллерен C_{60} (бакибол)? Сколько у этого многогранника ребер, сколько и каких граней? (1 балл)

Про молекулу говорят, что она имеет поворотную ось симметрии n -го порядка ($n > 1$), если при повороте на угол, кратный $360^\circ/n$, молекула совпадает сама с собой.

2. Определите, какие поворотные оси и в каком количестве содержит молекула бакибола. Поясните, как они расположены в ней относительно вершин, ребер и граней многогранника. (3 балла)

Симметрия молекулы помогает определить количество возможных геометрических изомеров (таких молекул одинакового состава, которые не переводятся друг в друга никакими поворотами в пространстве).

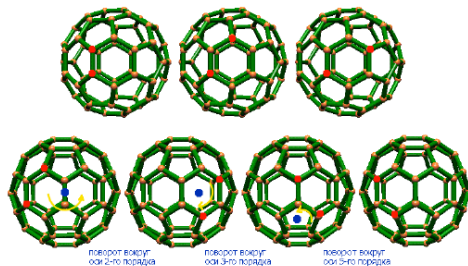
3. Найдите количество изомеров частицы, образующейся при хлорировании бакибола C_{60} если в ней:

- атом хлора расположен над одной из вершин бакибола; (0.5 балла)
- два атома хлора расположены над атомами углерода, принадлежащими одному из ребер бакибола; (1 балл)
- два атома хлора расположены над атомами углерода, принадлежащими одной из граней бакибола. Рассмотрите все возможные расположения атомов хлора на одной грани, и поясните, какие из них являются изомерными, а какие переходят (объясните, как) друг в друга при различных поворотах вокруг осей симметрии. (3.5 балла)

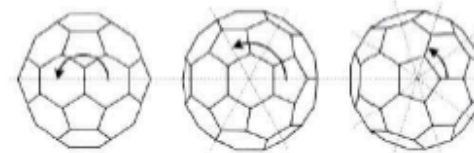
Ответы поясните или проиллюстрируйте рисунками. При решении можно использовать футбольный мяч как модель бакибола.

Всего – 9 баллов

Для шестиугольной грани возможны три удовлетворяющих условию расположения «меченых» хлором атомов: 1) на одном ребре (как пункт б), 2) через атом и 3) через два атома (напротив друг друга). Остальные расположения атомов переводятся либо в первый или третий тип поворотом вокруг оси 3-го порядка, либо во второй тип – комбинацией поворотов вокруг осей 2-го, 3-го и 5-го порядка.



- Бакибол C_{60} : усеченный икосаэдр, 90 ребер, 32 грани (12 пятиугольников, 20 шестиугольников).
- Бакибол содержит поворотные оси 2-го, 3-го и 5-го порядков.

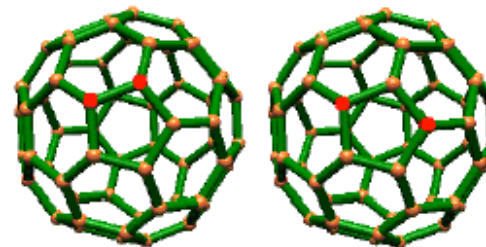


Ось второго порядка лежит на ребре, соединяющем вершины двух пятиугольников, таких ребер будет $12 \cdot 5 / 2 = 30$; ось проходит одновременно через два противоположных ребра, следовательно, осей второго порядка будет $30 / 2 = 15$.

Оси 3-го порядка проходят через центры противоположных шестиугольников, поэтому таких осей будет $20 / 2 = 10$.

Оси 5-го порядка проходят через центры противоположных пятиугольников, поэтому их будет $12 / 5 = 6$.

- Все атомы углерода в бакиболе, как несложно убедиться, эквивалентны (переводятся друг в друга при вращении вокруг поворотных осей симметрии), поэтому, существует только один изомер, в котором атом хлора находится над атомом углерода бакибола.
 - Аналогично, все ребра пятиугольников эквивалентны. Однако у шестиугольников есть два типа ребер – принадлежащих пятиугольнику, и принадлежащий другому шестиугольнику. Поэтому для такой частицы будет два изомера – по одному для каждого типа ребер.
 - Для пятиугольной грани возможны всего два удовлетворяющих условию расположения «меченых» хлором атомов: 1) на одном ребре (как пункт б) и 2) через 1 атом, все остальные переводятся в эти два типа поворотом вокруг оси 5-го порядка:





<http://enanos.nanometer.ru>

Да пребудет с вами Сила!