

**Разработано НИЯУ МИФИ**

**Методические рекомендации для учителей по подготовке обучающихся  
к прохождению теоретического этапа Московского конкурса  
межпредметных навыков и знаний «Интеллектуальный мегаполис.  
Потенциал»  
в номинации «Инженерный класс»  
по направлению «Медико-инженерное»  
на основе разбора демонстрационного варианта**

**Москва, 2022 г.**

## Содержание

Раздел 1. Введение .....	3
Раздел 2. Методические рекомендации по решению задач по предмету “Химия” .....	9
Раздел 3. Методические рекомендации по решению задач по предмету “Информатика” .....	21
Раздел 4. Методические рекомендации по решению задач по предмету “Физика” .....	28

## Раздел 1. Введение

Методические рекомендации для учителей по подготовке обучающихся к прохождению теоретического этапа Московского конкурса межпредметных навыков и знаний «Интеллектуальный мегаполис. Потенциал» в номинации «Инженерный класс» по направлению «Медико-инженерное» составлены НИЯУ МИФИ на основе разбора демонстрационного варианта и включают три основных раздела с рекомендациями по решению заданий по предметам «химия», «физика» и «информатика».

Демонстрационный вариант теоретического этапа по медико-инженерному направлению в 2022 году состоит из 15 заданий различного уровня сложности. Обобщённый план конкурсных материалов для проведения теоретического этапа Конкурса представлен ниже в таблице 1.1.

Таблица 1.1.

<b>№ задания</b>	<b>Уровень сложности</b>	<b>Уникальные кодификаторы Конкурса</b>	<b>Контролируемые требования к проверяемым умениям</b>	<b>Балл</b>
1.	базовый	Физика. 7.1.1	Решать задачи из области квантовой физики: владеть понятием фотона, использовать формулу Планка связи энергии фотона с его частотой. Оперировать понятиями «энергия и импульс фотона»	3
2.	базовый	Физика 1.2	Моделировать физические явления и	3

			<p>процессы. Оперировать понятиями «материальная точка», «абсолютно твёрдое тело», «идеальная жидкость», «точечный источник», «гипотеза», «физический закон», «физическая теория». Формулировать границы применимости физических законов</p>	
3.	базовый	Химия 1.5	<p>Решать задачи из области органической химии, в частности, с использованием азотсодержащих веществ и биологические важные вещества</p>	3
4.	базовый	Химия 1.1; 1.2	<p>Решать задачи на основные химические понятия: атом, ядро атома, изотопы, электрон, электронная оболочка, химический элемент, атомные s-, p- и d-орбитали, электронная конфигурация атома и т.д.; состав и строение</p>	3

			атома с использованием периодического закона и периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева; строение вещества	
5.	базовый	Химия 1.3	Решать задачи из области органической химии, в частности, на углеводороды	3
6.	базовый	Информатика 2.1	Решать алгоритмические задачи, связанные с анализом графов	3
7.	базовый	Информатика 2.2	Использовать графы и деревья при описании объектов и процессов	3
8.	повышенный	Физика 3.1.6; 7.1.1	Решать задачи из области молекулярной физики и термодинамики: оперировать понятием абсолютной температуры как меры средней кинетической энергии теплового движения частиц газа. Решать задачи из области квантовой физики: владеть понятием фотона, использовать формулу	4

			Планка связи энергии фотона с его частотой. Оперировать понятиями «энергия и импульс фотона». Решать задачи на равновесное тепловое излучение (излучение абсолютно чёрного тела), закон смещения Вина, гипотезу М. Планка о квантах	
9.	повышенный	Физика 5.3.1	Решать задач на Механические волны, условия их распространения. Оперировать понятиями периода, скорости распространения и длины волны, а также решать задачи на них. Решать задачи на поперечные и продольные волны	5
10.	повышенный	Физика 4.4.5; 6.3; 6.4	Решать задачи на электродинамику: силу Лоренца, её модуль и направление; движение заряженной частицы в однородном магнитном поле; Работу силы	5

			Лоренца. Решать задачи на энергию и импульс свободной частицы; связь массы с энергией и импульсом свободной частицы; энергию покоя свободной частицы	
11.	повышенный	Физика 7.3.2	Решать задачи из области квантовой физики: открытие радиоактивности; альфа-распад; электронный и позитронный бета-распад; гамма-излучение; закон радиоактивного распада	5
12.	повышенный	Химия 2.2.4	Решать задачи с высокомолекулярными соединениями, полимерами, пластмассами, волокнами, каучуками. Решать задачи на реакции полимеризации и поликонденсации	5
13.	повышенный	Химия 1.2.7	Решать задачи на поиск степени окисления и валентности химических	5

			элементов в простых и сложных веществах	
14.	повышенный	Химия 1.3.7; 1.3.8	<p>Решать задачи с использованием химических реакций. Оперировать понятиями «окислитель» и «восстановитель».</p> <p>Решать задачи с использованием окислительно-восстановительных реакций. Владеть понятием электролиза: электролиза водных растворов кислот, солей и щелочей (на инертных электродах)</p>	5
15.	повышенный	Информатика 1.2	<p>Решать задачи с использованием элементов комбинаторики, принципов включения и исключения</p>	5
<b>Сумма баллов:</b>				<b>60</b>



## Раздел 2. Методические рекомендации по решению задач по предмету «Химия»

Задания по предмету «Химия» представлены шестью заданиями: три задания базового уровня сложности, три задания повышенного уровня сложности.

### Задание 3. (3 балла)

#### **Контролируемые требования к проверяемым умениям:**

Решать задачи из области органической химии, в частности, с использованием азотсодержащих веществ и биологически важные вещества

**Уровень сложности – базовый**

#### **Текст задания демоварианта**

По описанию ниже определите о каком веществе идет речь. Реагируют с сильными кислотами, а также с азотистой кислотой. Способны вступать в реакции с металлами, основными оксидами, основаниями и солями более слабых кислот. Со спиртами вступают в реакцию этерификации, образуя сложные эфиры. В результате реакции поликонденсации могут образовывать полимеры.

1. диметиламин
2. валин
3. анилин
4. нитробензол

#### **Краткая теоретическая справка**

К азотсодержащим веществам, которые проходят в школьном курсе химии относят амины, аминокислоты, нуклеиновые кислоты, соединения, содержащие нитрогруппу. Если рассматривать аминокислоты, то следует помнить их амфотерную составляющую, что в состав входят карбоксильная и

аминогруппы, т.е. они проявляют двойственные свойства. Также способны образовывать полимеры за счет реакции поликонденсации и образования пептидной связи. Нуклеиновые кислоты состоят из нуклеотидов различного строения, в состав которых помимо углеводной части и остатка фосфорной кислоты входят азотистые основания двух видов пуриновые (большие) и пиримидиновые (малые). Между собой они соединяются водородными связями по принципу комплементарности, образуя вторичную структуру ДНК.

**Ответ: 2**

Задание 4. (3 балла)

**Контролируемые требования к проверяемым умениям:**

Решать задачи на основные химические понятия: атом, ядро атома, изотопы, электрон, электронная оболочка, химический элемент, атомные s-, p- и d-орбитали, электронная конфигурация атома и т.д.; состав и строение атома с использованием периодического закона и периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева; строение вещества

**Уровень сложности – базовый**

**Текст задания демоварианта**

Приведены символы химических элементов. С использованием Периодической системы определите, какой из двух элементов обладает большим «орбитальным» атомным радиусом и укажите сокращенную электронную формулу этого элемента. В ответе укажите порядковый номер выбранного элемента (столбец 1) и подберите соответствующую позицию с его электронной формулой из второго столбца.

1. Химический элемент ${}_Z\text{Э}$	2. Электронная формула
А) ${}_3\text{Li}$ , ${}_{11}\text{Na}$	1) $[\ ] 3s^1$
Б) ${}_{19}\text{K}$ , ${}_{29}\text{Cu}$	2) $[\ ] 4s^1$
В) ${}_5\text{B}$ , ${}_6\text{C}$	3) $[\ ] 3d^{10}4s^1$
	4) $[\ ] 2s^22p^1$

Заполните таблицу, записав выбранные цифры под соответствующими буквами.

### ***Решение задания***

В пункте А представлены два элемента: литий и натрий, оба они элементы I группы главной подгруппы Периодической таблицы Менделеева. В группе при увеличении порядкового номера (заряда ядра) «орбитальный» атомный радиус увеличивается. Т.е. большим «орбитальным» атомным радиусом обладает натрий, его порядковый номер 11 и сокращенная электронная формула [ ]  $3s^1$  (номер 1 из второго столбца задания).

Б) калий и медь находятся в одном периоде – четвертом, а в периоде с увеличением заряда ядра радиус уменьшается. Большим «орбитальным» атомным радиусом обладает калий, его порядковый номер 19 и сокращенная электронная формула [ ]  $4s^1$  (номер 2).

В) Бор и углерод элементы одного периода – второго. По аналогии с пунктом Б, у бора меньший порядковый номер (5) и больший радиус. Электронная формула [ ]  $2s^2 2p^1$ .

**Ответ:** А – 11, 1; Б – 19, 2; В – 5,4;

Задание 5. (3 балла)

### **Контролируемые требования к проверяемым умениям:**

Решать задачи из области органической химии, в частности, на углеводороды

**Уровень сложности** – базовый

### **Текст задания демоварианта**

Нефть является сырьем для получения разнообразных продуктов, имеющих большое практическое значение. Из представленных продуктов выберите полученный не из нефти.

1. Деготь
2. Мазут

3. Керосин
4. Лигроин

### **Краткая теоретическая справка**

В данной задаче рассматриваются темы: способы обработки нефти, строение ректификационной колонны, на какие фракции разделяется нефть при перегонке. Особое место уделено в данной тематике бензину и октановому числу, способу его повышения, детонационная устойчивость и детонация. Что такое крекинг и реформинг. Рассматриваются вопросы такого полезного ископаемого как каменный уголь и способы его переработки, практическое применение продуктов

**Ответ: 1**

Задание 12. (5 баллов)

### **Контролируемые требования к проверяемым умениям:**

Решать задачи с высокомолекулярными соединениями, полимерами, пластмассами, волокнами, каучуками. Решать задачи на реакции полимеризации и поликонденсации

**Уровень сложности – повышенный**

### **Текст задания демоварианта**

Какое количество этилена в м<sup>3</sup> (н.у.) потребуется для получения 10 м<sup>3</sup> вспененного полистирола (пенопласта) плотностью 25 кг/м<sup>3</sup>? Полистирол получают реакцией полимеризации стирола в присутствии катализатора (без выделения побочных продуктов). Стирол получают дегидрированием промежуточного продукта этилбензола, получаемого взаимодействием бензола с этиленом в присутствии катализатора. За один цикл в стирол превращается 40% этилбензола (реакция обратимая). Ответ округлите до десятых.

## Краткая теоретическая справка

Если рассматривать высокомолекулярные соединения помимо белков и НК, то в химической промышленности распространены различные виды полимеров, т.е. высокомолекулярных соединений. Это реакции полимеризации или поликонденсации. В школьном курсе рассматриваются различные полимеры: пластмассы, волокна, каучуки. Встречаются понятия вулканизация (сшивание), эбонит, резина, полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, полистирол, стирол.

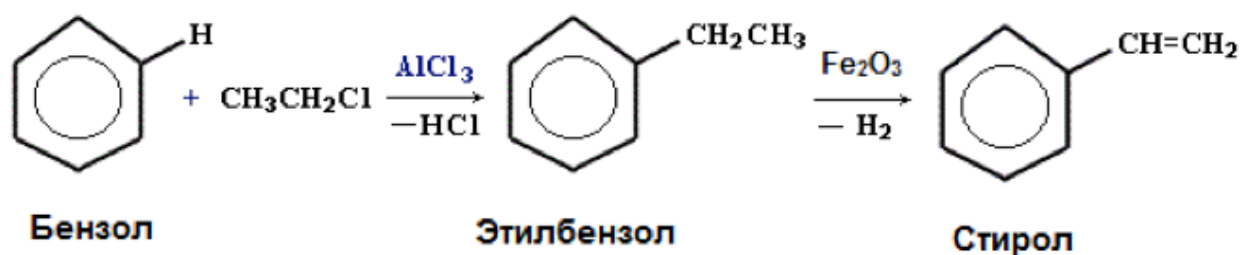


Рис 1.1. Реакция полимеризации

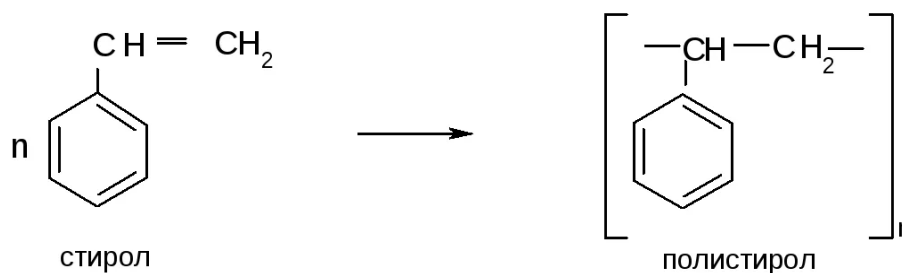


Рис 1.2. Реакция поликонденсации

1. Сколько кг полистирола в  $10 \text{ м}^3$  пенопласта плотностью  $25 \text{ кг/м}^3$ .  
 $25 \text{ г/м}^3 * 10 \text{ м}^3 = 250 \text{ кг}$
2. Сколько кг этилена требуется по реакции для получения 250 кг стирола  
 $28 \text{ г/моль} - 104 \text{ г/моль}$   
 $X \text{ г/моль} - 250 \text{ кг}$   
 $X = 67,3 \text{ кг}$
3. Сколько кг этилена потребуется с учетом выхода продукта 40%?  
 $40\% - 63,7 \text{ кг}$   
 $100\% - X$   
 $X = 168,25 \text{ кг}$

4. Переводим массу этилена в объем (н.у.)

$$168,25 \text{ кг} = 16825 \text{ г}$$

$$28 \text{ г/моль} - 22,4 \text{ л}$$

$$168250 \text{ г} - x$$

$$X = 134600 \text{ л} = 134,6 \text{ м}^3.$$

**Ответ:** 134,6 м<sup>3</sup>.

Задание 13. (5 баллов)

**Контролируемые требования к проверяемым умениям:**

Решать задачи на поиск степени окисления и валентности химических элементов в простых и сложных веществах

**Уровень сложности** – повышенный

**Текст задания демоварианта**

Укажите степени окисления атомов углерода в соединениях:

А) CaC<sub>2</sub>; Б) Fe(CO)<sub>5</sub>; В) (CuOH)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; Г) CH<sub>4</sub>; Д) CH<sub>2</sub>O

В качестве ответа заполните таблицу.

**Краткая теоретическая справка**

Степень окисления — это условный заряд атома в соединении, вычисленный в предположении, что все связи в соединении ионные (то есть все связывающие электронные пары полностью смещены к атому более электроотрицательного элемента).

Численно она равна количеству смещенных электронов от данного атома в соединении к наиболее отрицательному элементу (+Z) или к нему, если его электроотрицательность больше (-Z).

Понятие валентность используется для количественного выражения электронного взаимодействия в ковалентных соединениях, то есть в соединениях, образованных за счет образования общих электронных пар.

Степень окисления используется для описания реакций, которые сопровождаются отдачей или присоединением электронов.

В отличие от валентности, являющейся нейтральной характеристикой, степень окисления может иметь положительное, отрицательное, или нулевое значение. Положительное значение соответствует числу отданных электронов, а отрицательная числу присоединенных. Нулевое значение означает, что элемент находится либо в форме простого вещества, либо он был восстановлен до 0 после окисления, либо окислен до нуля после предшествующего восстановления.

В большинстве случаев валентность и степень окисления численно совпадают, хотя это разные характеристики.

- CO (монооксид углерода) - валентность атома углерода равна III, а степень окисления +2
- HNO<sub>3</sub> (азотная кислота) - валентность атома азота равна IV, а степень окисления +5
- H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (пероксид водорода) - валентность водорода равна I, валентность атома кислорода равна II, а степень окисления водорода равна +1, а степень окисления кислорода равна -1. Аналогично во всех пероксидах валентность кислорода равна II, а степень окисления -1.
- N<sub>2</sub>H<sub>4</sub> (гидразин) - валентность азота равна III, а степень окисления равна +2.
- Валентности неметаллов указаны в скобках: H<sub>2</sub> (I), N<sub>2</sub> (III), O<sub>2</sub> (II), F<sub>2</sub> (I), Cl<sub>2</sub> (I), Br<sub>2</sub> (I), I<sub>2</sub> (I), а степени окисления равны 0.

Степень окисления простых веществ всегда равна нулю

### **Решение задания**

Расставим степени окисления элементов в соединениях.

А) CaC<sub>2</sub> Кальций металл, элемент второй группы главной подгруппы. Его степень окисления в соединении всегда +2. Т.к. молекула электронейтральна, на два атома углерода приходится суммарный заряд -2, значит, степень окисления углерода -1.

Б)  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  пентакарбонил железа. Это комплексная соединение, в котором степень окисления железа равна 0. Весь комплекс также имеет заряд 0, следовательно  $(\text{CO})^0$  и степени окисления кислорода и углерода такие же, как в молекуле угарного газа.  $\text{C}^{+2}\text{O}^{-2}$ .

В)  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$  – карбонат гидроксомеди (II), соль угольной кислоты  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , в которой степень окисления водорода +1, кислорода -2, а углерода +4.

Г)  $\text{CH}_4$  – метан. В этом соединении надо учесть электроотрицательности атомов. Для углерода по шкале Полинга это 2,6, а для водорода 2,2. Более электроотрицательный атом имеет отрицательный заряд. Следовательно, степень окисления водорода +1, а углерода -4.

Д)  $\text{CH}_2\text{O}$  – формальдегид. С учетом электроотрицательности атомов (С -2,6, Н - 2,2, О - 3,5) и электронейтральности молекулы получаем степени окисления  $\text{O}^{-2}$ ,  $\text{H}^{+1}$ ,  $\text{C}^0$ .

**Ответ:**

А	Б	В	Г	Д
-1	+2	+4	-4	0

Задание 14. (5 баллов)

**Контролируемые требования к проверяемым умениям:**

Решать задачи с использованием химических реакций. Оперировать понятиями «окислитель» и «восстановитель». Решать задачи с использованием окислительно-восстановительных реакций. Владеть понятием электролиза: электролиза водных растворов кислот, солей и щелочей (на инертных электродах)

**Уровень сложности – повышенный**



### **Текст задания демоварианта**

На электролиз раствора хлорида меди (II) (инертные электроды) затратили 1000 Кл электричества.

А) Определите, на сколько грамм увеличилась масса одного из электродов при выходе по току 95%.

Б) Укажите какой газ выделится преимущественно на другом электроде. В ответе укажите для данного газа порядковый номер элемента в таблице Д.И. Менделеева. В) Рассчитайте объём данного газа (л, н.у.), если его выход по току составляет 90%. В качестве ответа заполните таблицу, указав значения в пунктах А и В с точностью до десятых.

### **Краткая теоретическая справка**

Окислительно-восстановительные реакции — это химические реакции, сопровождающиеся изменением степени окисления атомов реагирующих веществ. Окислитель – это атом, который приобщает в реакции электроны, при этом он восстанавливается (понижает свою степень окисления). Восстановитель – это атом, который отдает в реакции электроны, при этом он окисляется (повышает свою степень окисления).

Электролиз — это окислительно-восстановительная реакция, которая протекает на электродах (катоде и аноде) и основана на пропускании электрического тока через раствор или расплав.

Катод — это отрицательно заряженный электрод при электролизе, который притягивает положительно заряженные ионы (катионы). Анод — это положительно заряженный электрод, который притягивает к себе отрицательно заряженные ионы (анионы). Таким образом, на катоде всегда происходит процесс восстановления, а на аноде всегда происходит процесс окисления.

Электроды бывают растворимые и инертные. Растворимые изготавливаются из металлов, например, меди и подвергаются химическим превращениям в ходе электролиза.

Нерастворимые электроды не подвергаются химическим превращениям и остаются в неизменном виде как до реакции, так и после нее. Как правило, это графит или платина.

Последовательность разрядки катионов зависит от положения металла в электрохимическом ряду напряжений.

Чем меньше выражена восстановительная активность, тем хуже анионы могут окисляться на аноде. К тому же процесс на аноде зависит от материала анода и от природы аниона.

Если анод инертный или нерастворимый, то на нем протекают следующие реакции:

1. При электролизе растворов *солей бескислородных кислот* (кроме фторидов!), на аноде происходит процесс окисления аниона.
2. При электролизе растворов солей кислородсодержащих кислот и фторидов на аноде выделяется газообразный кислород вследствие окисления молекул воды. Анион при этом не окисляется, оставаясь в растворе.
3. При электролизе растворов щелочей происходит окисление гидроксид-ионов.

Процесс на катоде К (-), восстановление

Катион принимает электроны и восстанавливается:



Процесс на аноде А (+), окисление

Анион отдает электроны и окисляется:

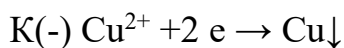


### **Решение задания**

Электролиз водного раствора хлорида меди (II). В электролизере находятся молекулы воды, ионы  $Cu^{2+}$  и  $Cl^{-}$ .

При электролизе на катоде К(-) протекает процесс восстановления. В случае электролиза раствора возможны два процесса: восстановление металла и восстановление ионов водорода из воды до молекулярного водорода. Медь

имеет положительный электродный потенциал и стоит в ряду напряжений после водорода. Значит, на катоде будет выделяться медь.



Рассчитаем массу меди, выделившейся на катоде. По закону Фарадея

$$m(\text{Cu}) = I \cdot t \cdot M / F \cdot z$$

$I \cdot t = 1000$  Кл – количество электричества по условию задачи;

$M$  – молекулярная масса меди (64 г/моль);

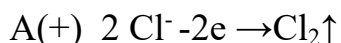
$F$  – число Фарадея 996500 Кл/моль);

$z$  – число моль электронов, участвующих в полуреакции восстановления меди (2).

Также надо учесть, что по условию задачи выход по току составляет 95%.

$m = (1000 \cdot 64 / 96500 \cdot 2) \cdot 0,95 = 0,31$  г. При округлении до десятых получаем 0,3 г.

Б) На аноде  $A(+)$  протекает процесс окисления. В случае электролиза водного раствора хлорида меди (II) на аноде может выделяться хлор и кислород. Поскольку  $\text{Cl}^-$  анион бескислородной кислоты, на аноде будет выделяться  $\text{Cl}_2$ . Этот процесс при конкурировании с выделением кислорода имеет меньший электродный потенциал с учетом перенапряжения на электродах.



Его порядковый номер 17.

В) для определения объема выделившегося хлора проведем расчеты аналогичные пункту А.

$$m(\text{Cl}_2) = (I \cdot t \cdot M / F \cdot z) \cdot \eta$$

$I \cdot t = 1000$  Кл – количество электричества по условию задачи;

$M$  – молекулярная масса хлора (71 г/моль);

$F$  – число Фарадея 996500 Кл/моль);

$z$  – число моль электронов, участвующих в полуреакции окисления хлора (2);

$\eta$  – выход по току (90 %).

$$m = (1000 \cdot 71 / 96500 \cdot 2) \cdot 0,9 = 0,331 \text{ г.}$$

Один моль любого газа при стандартных условиях занимает объем 22,4 л. С учетом количества хлора, получившегося при электролизе (моль) получим:

$$V(\text{Cl}_2) = n \cdot 22,4 = m(\text{Cl}_2) / M(\text{Cl}_2) \cdot 22,4 = 0,33 / 71 \cdot 22,4 = 0,104 \text{ л.}$$

Округляем до десятых – 0,1 л.

**Ответ:**

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>
0,3	17	0,1

### Раздел 3. Методические рекомендации по решению задач по предмету «Информатика»

Задания по предмету «Информатика» представлены тремя заданиями: два задания базового уровня сложности, одно задание повышенного уровня сложности.

#### Задание 6. (3 балла)

#### **Контролируемые требования к проверяемым умениям:**

Решать алгоритмические задачи, связанные с анализом графов.

#### **Уровень сложности – базовый**

#### **Текст задания демоварианта**

Две последовательности ДНК были порождены независимо друг от друга по некоторому алгоритму с равной вероятностью порождения нуклеотидов. Для фрагментов X и Y этих последовательностей часть нуклеотидов неизвестна, а символ «\*» обозначает любой произвольный символ из алфавита {A,G,C,T}.

X: ATGATTCC\*\*\*

Y: T\*\*\*GATAC

Определите наибольшую длину последовательности подряд идущих нуклеотидов, совпадающих для фрагментов X и Y.

#### **Краткая теоретическая справка**

Данное задание не требует каких-то специальных знаний, но подразумевает аккуратный и последовательный перебор вариантов. Удобнее всего рассматривать решение в виде графа. В принципе в этом задании могут встретиться поиск кратчайшего пути в графе, подсчет количества маршрутов, поиск наибольшей подпоследовательности. Учителю полезно знать элементы

динамического программирования, если учащийся будет обладать компетенциями в этой области, это может помочь в решении задач. Хотя, поскольку размерности задач небольшие, можно обойтись и без специальных алгоритмов работы с графами, а просто на бумаге прорисовать или перебрать все возможные варианты.

### **Решение задания**

Рассмотрим фрагменты X и Y в виде графа. Будем ставить в соответствие элементам одного фрагмента одинаковые элементы второго фрагмента. Первому элементу A фрагмента X есть несколько соответствий в фрагменте Y. Аналогично можно сказать для других последовательностей, начинающихся с элемента A: AT, ATG, ATGAT – последний вариант продемонстрирован на рисунке.

Для второго элемента T – из всех возможных совпадающих комбинаций максимальная по длине совпадающая цепочка - TGAT, в фрагменте Y аналогичная цепочка \*GAT. Максимальная совпадающая последовательность, начинающаяся с элемента G, - GAT. Для второго элемента A – ATT. Для второго элемента T максимальная совпадающая цепочка – это TTCC\*\*\*, ей будет соответствовать последовательность T\*\*\*GAT фрагмента Y.

На рисунке показана схема соответствий элементов. Таким образом, наибольшая длина последовательности подряд идущих нуклеотидов, совпадающих для фрагментов X и Y, равна 7. Дальше рассматривать нет смысла, поскольку во фрагменте X количество не рассмотренных элементов меньше 7

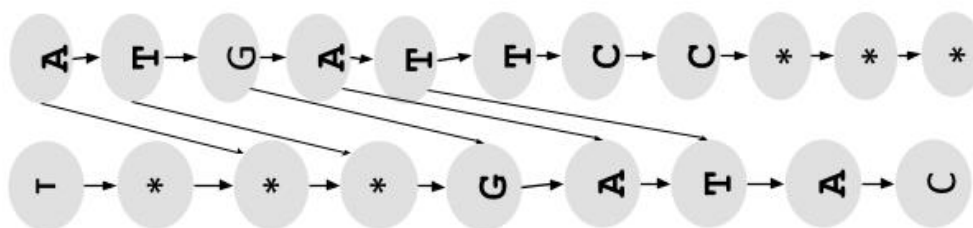


Рис. 2.1. Представление графа для первого элемента

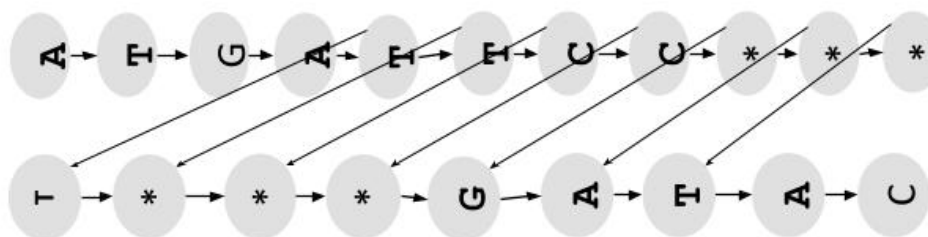


Рис. 2.2. Представление графа для второго элемента

Задание 7. (3 балла)

**Контролируемые требования к проверяемым умениям:**

Использовать графы и деревья при описании объектов и процессов

**Уровень сложности** – базовый

**Текст задания демоварианта**

Биологическая последовательность может переходить из одного состояния в другое. Известна закономерность переходов, представленная в виде матрицы смежности. Символ «\*» соответствует возможному переходу из одного состояние в другое. Определите, сколько существует возможных переходов для количества состояний  $n=1000$ .

	0	1	2	3	4	...	998	999	1000
0		*	*	*	*	...	*	*	*
1			*	*	*	...	*	*	*
2				*	*	...	*	*	*

3					*	...	*	*	*
4						...	*	*	*
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
998						...		*	*
999						...			*
1000						...			

### Краткая теоретическая справка

В данном задании нужно быть аккуратным с индексами. Если ошибиться и считать нумерацию с 1 ответ будет неправильным. С учетом того, что нумерация начинается с 0, общее количество состояний будет 1001. Также следует обратить внимание, что матрица является несимметричной. Это значит, что ей соответствует ориентированный граф и учащийся при решении должен это учитывать. Рекомендуется знать материал по графам: работа с матрицей смежности, весовые матрицы, симметричные и несимметричные матрицы, деревья бинарные и не только. Подсчет количества высоты дерева и общего количества узлов, различные обходы дерева.

### Решение задачи

Для более наглядного представления полезно бывает построить граф соответствующий матрице, иногда это может сильно облегчить решение задачи. В этой задаче граф, соответствующий матрице представлен на рисунке.

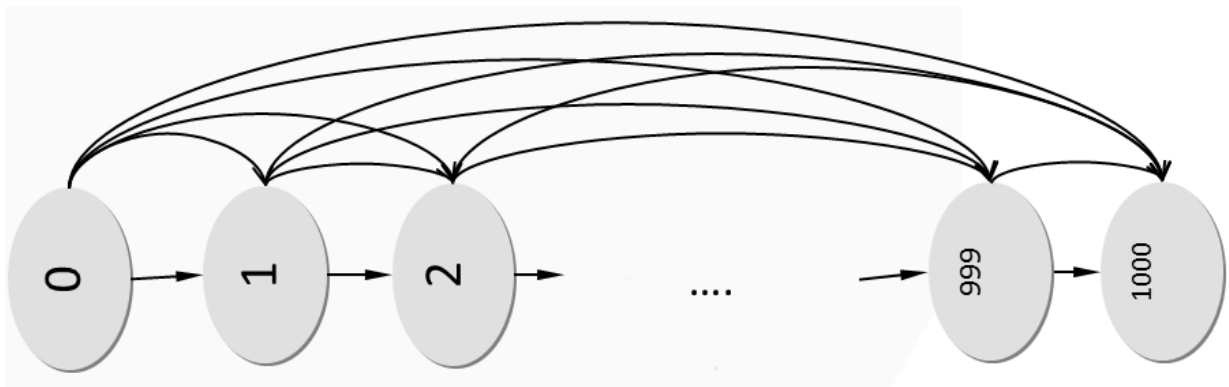


Рис 2.3. Представление графа по матрице смежности



Видно, что вершина с индексом 0 связана со всеми вершинами от 1 до 1000. То есть из вершины 0 можно сделать 1000 переходов. Вершина с индексом 1 связана со всеми вершинами от 2 до 1000, что соответствует 999 переходам. В ответе требуется выяснить сколько всего будет переходов в графе для 1000 состояний. Таким образом, общее количество переходов равно  $1000+999+998+997+\dots+1$ .

Не трудно заметить, что все слагаемые образуют арифметическую прогрессию числе от 1 до 1000 с разностью 1. Сумма арифметической прогрессии вычисляется по формуле  $S=1000*(1+1000)/2$ . В ответе получается число 500500.

**Ответ:** 500500

Задание 15. (5 баллов)

**Контролируемые требования к проверяемым умениям:**

Решать задачи с использованием элементов комбинаторики, принципов включения и исключения

**Уровень сложности** – повышенный

**Текст задания демоварианта**

В геноме вируса нуклеотиды С, G, А, и Т встречаются с вероятностью соответственно 40%, 30%, 20%, 10%. При допущении, что появление нуклеотидов в различных участках этого генома есть независимые события, определите, чему равна вероятность того, что фрагмент ДНК длиной 6 содержит 2 нуклеотида С или G и 4 нуклеотида А или Т. Ответ запишите в процентах с округлением по правилам математики.

**Краткая теоретическая справка**

При решении таких нужно помнить о том, что недостаточно найти вероятность того, на двух позициях располагаются символы С или G, а на четырех позициях располагаются символы А или Т. Это только один случай,

необходимо вычислить, сколько всего таких случаев. Рекомендуется для решения данного задания изучить формулы комбинаторики и формулы вычисления вероятностей.

Формула вероятности  $P(A) = m/n$ , где

$P(A)$  - вероятность наступления события  $A$ ;

$m$  – число благоприятных исходов;

$n$  – число всех исходов.

Формула суммы двух событий

$$P(A + B) = P(A) + P(B)$$

Сочетания без повторений из  $n$  элементов по  $k$  элементов – наиболее часто встречающаяся в прикладных задачах выборка, используется в случае, когда необходимо рассчитать, сколькими способами можно из множества, содержащего  $n$  элементов, выбрать  $k$  элементов, не учитывая в каком порядке будет осуществляться выбор. Число способов осуществить подобный выбор обозначается  $C_n^k$ , вычисляется по формуле

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

### Решение задачи

Вероятность того, что на одной позиции располагается либо С либо G равно сумме вероятностей появления символов  $p(C+G)=0.4+0.3=0.7$ . Вероятность, что на двух позициях располагаются символы С или G, будет равна  $p(CG \text{ 2 позиции}) = 0.7*0.7=0.49$ . Вероятность того, что на одной позиции располагается либо А либо Т равно сумме вероятностей появления символов  $p(A+T)=0.2+0.1=0.3$ . Вероятность, что на четырех позициях располагаются символы А или Т, будет равна  $p(AT \text{ 4 позиции}) = 0.3*0.3*0.3*0.3=0.0081$ . Таким образом, для шести позиций вероятность того, что на двух позициях

располагаются символы С или G, а на четырех позициях располагаются символы А или Т, будет равна:

$$P_6 = p(CG \text{ 2 позиции}) * p(AT \text{ 4 позиции}) = 0.49 * 0.0081 = 0.003969.$$

Следующий шаг, определить, сколько комбинаций взаимного расположения двух позиций С или G и четырех позиций А или Т. Для этого воспользуемся формулой комбинаторики:

$$Q = \frac{n_6!}{n_{CG}! n_{AT}!}$$

$$Q = 6! / (2! * 4!) = 15,$$

$$\text{Искомая вероятность равна } P_{\text{общая}} = Q * P_6 = 15 * 0.003969 = 0,059535 = 6\%$$

**Ответ:** 6%

## Раздел 4. Методические рекомендации по решению задач по предмету «Физика»

Задания по предмету «Физика» представлены шестью заданиями: два задания базового уровня сложности, четыре задания повышенного уровня сложности.

### Задание 1. (3 балла)

#### **Контролируемые требования к проверяемым умениям:**

Решать задачи из области квантовой физики: владеть понятием фотона, использовать формулу Планка связи энергии фотона с его частотой. Оперировать понятиями «энергия и импульс фотона»

**Уровень сложности – базовый**

#### **Текст задания демоварианта**

Сетчатка глаза начинает реагировать на монохроматическое излучение при попадании на нее светового потока мощностью  $1,98 \cdot 10^{-17}$  Вт. Известно, что при этом каждую секунду на сетчатку попадает  $n = 60$  фотонов. Какую длину волны регистрирует глаз? Постоянную Планка считать равной  $6,6 \cdot 10^{-34}$  Дж·с. Ответ выразить в нанометрах и округлить до целых.

#### **Методическое указание**

Для решения задач данного типа необходимо знать и использовать формулу Планка связи энергии фотона с его частотой/длиной волны.

#### **Решение**

$E_\gamma = h \cdot \nu$  - формула Планка для энергии фотона

$\nu = c / \lambda$  - связь частоты с фазовой скоростью и длиной волны

Следовательно,  $E_\gamma = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ , откуда  $\lambda = \frac{h \cdot c}{E_\gamma}$

Энергия излучения, попадающая в глаз за время  $T$ :  $E = W \cdot T$

Тогда энергия одного фотона  $E_\gamma = \frac{W \cdot T}{N}$

$$\lambda = \frac{h * c}{E_{\gamma}} = \frac{h * c * N}{W * T} = \frac{6.6 * 10^{-34} * 3 * 10^8 * 60}{1.98 * 10^{17} * 1} = 6 * 10^{-7} \text{ м} = 600 \text{ нм}$$

**Ответ:** 600

Задание 2. (3 балла)

**Контролируемые требования к проверяемым умениям:**

Моделировать физические явления и процессы. Оперировать понятиями «материальная точка», «абсолютно твёрдое тело», «идеальная жидкость», «точечный источник», «гипотеза», «физический закон», «физическая теория». Формулировать границы применимости физических законов

**Уровень сложности – базовый**

**Текст задания демоварианта**

Найти максимальный объем левого желудочка у бегуна, если известно, что минутный объем кровообращения равен 9 л/мин, частота сердечных сокращений 2 Гц, а фракция выброса равна 60%. Выразите ответ в кубических сантиметрах и округлите до целых.

**Методическое указание**

Для решения задач данного типа необходимо грамотно оперировать понятиями «идеальная жидкость», а также – в дальнейшем – давлением жидкости.

**Решение**

1. Найдём объем сердечного выброса (за одно сердечное сокращение):

$$N = T * f_{\text{чсс}} = 60 * 2 = 120 \quad - \quad \text{число выбросов за минуту}$$

$$\Delta V_c = V_{\text{с мин}} / N = 9000 / 120 = 75 \text{ [см}^3\text{]}$$

2. Максимальный объем левого желудочка равен:

$$V_{\text{л.ж}} = \Delta V_c / \eta = 75 / 0,6 = 125 \text{ [см}^3\text{]}$$

**Ответ:** 125

Задание 8. (4 балла)

**Контролируемые требования к проверяемым умениям:**

Решать задачи из области молекулярной физики и термодинамики: оперировать понятием абсолютной температуры как меры средней кинетической энергии теплового движения частиц газа. Решать задачи из области квантовой физики: владеть понятием фотона, использовать формулу Планка связи энергии фотона с его частотой. Оперировать понятиями «энергия и импульс фотона». Решать задачи на равновесное тепловое излучение (излучение абсолютно чёрного тела), закон смещения Вина, гипотезу М. Планка о квантах

**Уровень сложности** – повышенный

**Текст задания демоварианта**

В медицине для диагностики ряда заболеваний получил распространение метод, называемый термографией. Он основан на регистрации отличия теплового излучения здоровых и больных органов, обусловленного различием их температур.

Сейчас этот метод используется для обнаружения пассажиров с повышенной температурой, например, в аэропортах. Считая, что сигнал на датчике тепловизора пропорционален интенсивности теплового излучения, испускаемого поверхностью тела человека, определите, на сколько процентов должен отличаться сигнал от людей, имеющих температуры  $35^{\circ}\text{C}$  и  $38^{\circ}\text{C}$ .  
Ответ округлите до целых.

**Методическое указание**

Для решения задач данного типа необходимо знать законы равновесного теплового излучения (излучение абсолютно чёрного тела), закон Стефана-Больцмана, закон смещения Вина, гипотезу М. Планка о квантах.

## Решение

Закон Стефана-Больцмана

$R = \sigma \cdot T^4$  энергетическая светимость абсолютно черного тела

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$  - постоянная Стефана-Больцмана

$T$  - термодинамическая температура

Интенсивность излучения  $I$ , приходящая на датчик, пропорциональна энергетической светимости:  $I = R \cdot S$

для разных температур:  $I_1 = S \cdot R_1 = S \cdot \sigma T_1^4$ ,  $I_2 = S \cdot \sigma T_2^4$

$$T_1 = 35 + 273 = 308 \text{ К}$$

$$T_2 = 38 + 273 = 311 \text{ К}$$

$$\frac{I_2 - I_1}{I_1} * 100\% = \left( \frac{T_2^4}{T_1^4} - 1 \right) * 100\% = \left( \frac{311^4}{308^4} - 1 \right) * 100\% = 3.95\%$$

**Ответ:** 4

Задание 9. (5 баллов)

**Контролируемые требования к проверяемым умениям:**

Решать задач на Механические волны, условия их распространения. Оперировать понятиями периода, скорости распространения и длины волны, а также решать задачи на них. Решать задачи на поперечные и продольные волны

**Уровень сложности** – повышенный

**Текст задания демоварианта**

При проведении ультразвуковых исследований (УЗИ) акустический импульс посылается датчиком в исследуемый объект, где есть отражающие

границы. Импульс частично отражается от таких границ, частично проходит дальше. Доля отраженной энергии равна:

$$K_{\text{отр}} = \frac{(z_1 - z_2)^2}{(z_1 + z_2)^2},$$

где  $z_1$  и  $z_2$  – это акустические сопротивления тканей по разные стороны границы.  $z = \rho * c$ , где  $\rho$  – плотность ткани, а  $c$  – скорость звука в ней. Отраженная часть импульса возвращается обратно в датчик и регистрируется как эхо-сигнал. По времени прихода эхо-сигнала определяется глубина, а по величине эхосигнала можно определить  $K_{\text{отр}}$  соответствующей границы.

Определите толщину мышцы, если толщина жировой ткани 1 см, а время прихода эхо-сигнала от второй границы 60 мкс. Скорость звука в жире  $c_1 = 1350$  м/с, скорость звука в мышце  $c_2 = 1620$  м/с. Определите, во сколько раз энергия эхо-сигнала от второй границы будет меньше начальной энергии импульса, если скорость звука в третьей ткани  $c_3 = 1480$  м/с, а плотность  $\rho_3 = 1,00$  г/см<sup>3</sup>. Плотности  $\rho_1 = 0,95$  г/см<sup>3</sup>,  $\rho_2 = 1,05$  г/см<sup>3</sup>. Поглощением ультразвука в тканях пренебречь. В качестве ответа заполните таблицу: толщину представить в сантиметрах и округлить до десятых, а отношение энергий импульсов округлить до десятков.

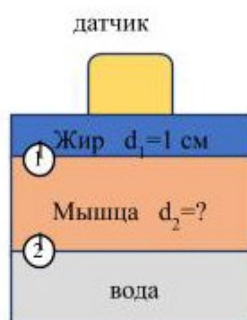


Рис.3.1. Рисунок к задаче 9

### Методическое указание

Для решения задач данного типа необходимо грамотно оперировать понятиями «механические волны», знать условия их распространения, а также период, скорость распространения и длину волны.



## Решение задания

$$t_2 = 2 * \left( \frac{d_1}{c_1} + \frac{d_2}{c_2} \right), \text{ следовательно: } d_2 = c_2 * \left( \frac{t_2}{2} - \frac{d_1}{c_1} \right) = 3.66 \text{ см}$$

$$K_1 = \frac{(z_1 - z_2)^2}{(z_1 + z_2)^2} = \frac{(\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2)^2}{(\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2)^2}$$

$$K_2 = \frac{(z_2 - z_3)^2}{(z_3 + z_2)^2} = \frac{(\rho_3 c_3 - \rho_2 c_2)^2}{(\rho_3 c_3 + \rho_2 c_2)^2}$$

$$E_{\text{эхо2}} = I_0 * (1 - K_1)^2 * K_2$$

$$\frac{E_0}{E_{\text{эхо2}}} = \frac{1}{(1 - K_1)^2 * K_2} = 215.56$$

Ответ:

Толщина мышцы, см	3,7
Отношение энергий импульсов	220

Задание 10. (5 баллов)

### Контролируемые требования к проверяемым умениям:

Решать задачи на электродинамику: силу Лоренца, её модуль и направление; движение заряженной частицы в однородном магнитном поле; Работу силы Лоренца. Решать задачи на энергию и импульс свободной частицы; связь массы с энергией и импульсом свободной частицы; энергию покоя свободной частицы

**Уровень сложности – повышенный**

### Текст задания демоварианта

В линейных медицинских ускорителях для селекции заряженных частиц по энергии применяется магнитное поле. Рассчитайте необходимую величину индукции магнитного поля, чтобы повернуть пучок электронов с энергией 20 МэВ ( $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ ). Диаметр поворотного кольца 15 см. Масса электрона  $9 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$  (в энергетических единицах массу покоя электрона

считать равной  $m_e c^2 = 0,5 \text{ МэВ}$ ). Скорость света  $3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ . Результат выразить в мТл и округлить до десятых.

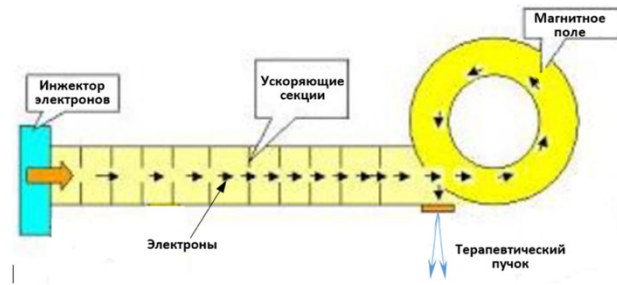


Рис.3.2. Рисунок к задаче 10

### Методическое указание

Для решения задач данного типа необходимо знать силу Лоренца, её модуль и направление; движение заряженной частицы в однородном магнитном поле (центростремительное ускорение), связь массы с энергией и импульсом свободной частицы; энергию покоя свободной частицы

### Решение задания

$$\text{Сила Лоренца: } q * v * B = ma = m * \frac{v^2}{r} \Rightarrow B = \frac{m}{q} * \frac{v}{r}$$

Запишем выражение для кинетической энергии:

$$\frac{E_k}{mc^2} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \Rightarrow \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{1}{\frac{E}{mc^2} + 1} \Rightarrow$$

$$\frac{v^2}{c^2} = 1 - \left( \frac{1}{\frac{E}{mc^2} + 1} \right)^2 \Rightarrow$$

$$v = c * \sqrt{1 - \left( \frac{1}{\frac{E}{mc^2} + 1} \right)^2} = 0,9997 * c \approx c$$

$$B = \frac{m}{q} * \frac{c}{r} = 0.0225 \text{ Тл}$$

Ответ: 22,5

### Задание 11. (5 баллов)

#### **Контролируемые требования к проверяемым умениям:**

Решать задачи из области квантовой физики: открытие радиоактивности; альфа-распад; электронный и позитронный бета-распад; гамма-излучение; закон радиоактивного распада

**Уровень сложности – повышенный**

#### **Текст задания демоварианта**

Для обнаружения опухолей в ядерной медицине используют радиофармпрепараты (РФП), в состав которых входят радиоактивные изотопы. При внутривенном введении они разносятся с кровотоком по всему организму, избирательно накапливаясь в опухолевых тканях.

Пациенту ввели некоторый объём РФП на основе изотопа Технеций-99m общей активностью  $A_0 = 1$  МБк, а через  $t = 30$  мин у пациента взяли  $1 \text{ см}^3$  крови и измерили её активность. Какова будет активность пробы крови, если предположить, что в течении этого времени отсутствует биологическое выведение РФП из кровотока? Период полураспада радиоактивного изотопа Технеций-99m  $T_{1/2} = 6$  ч, а общий объём крови пациента  $V = 6$  л? Ответ записать в Бк и округлить до целых.

#### **Методическое указание**

Для решения задач данного типа необходимо иметь понятие о радиоактивности и знать закон радиоактивного распада.

#### **Решение задания**

Активность всего введенного изотопа зависит от времени как

$$A = A_0 * e^{-\frac{t}{\tau}} = A_0 * 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

Считаем, что р/а изотоп равномерно распределяется по всему объему крови.

Тогда доля активности в пробе

$$\delta = V_{\text{пробы}} / V$$

Тогда активность пробы

$$A_{\text{пробы}} = A * \delta = A_0 * 2^{-t/T} * V_{\text{пробы}} / V$$

$$A_{\text{пробы}} = 1\text{МБк} * 2^{-0,5/6} * 1/6000 = 157 \text{ Бк}$$

**Ответ:** 157