

# Московская олимпиада школьников по генетике, 15.02.2026.

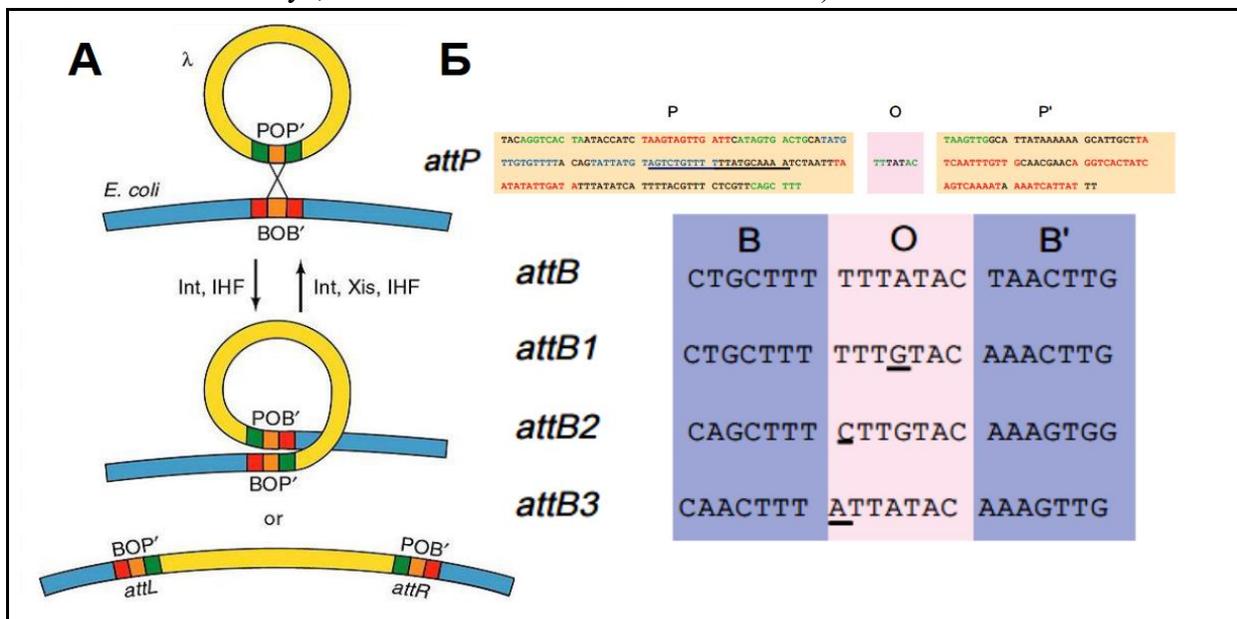
## Заключительный этап. Теоретический тур. 10 класс

Дорогие ребята!

Поздравляем вас с участием в заключительном теоретическом этапе Московской олимпиады школьников по генетике! Вам предлагаются набор из **десяти** задач, которые требуют анализа информации выполнения расчетов и общей биологической эрудиции. Максимальное количество баллов, которое можно набрать – **100**. Время на выполнение всех заданий 3 часа 55 минут.

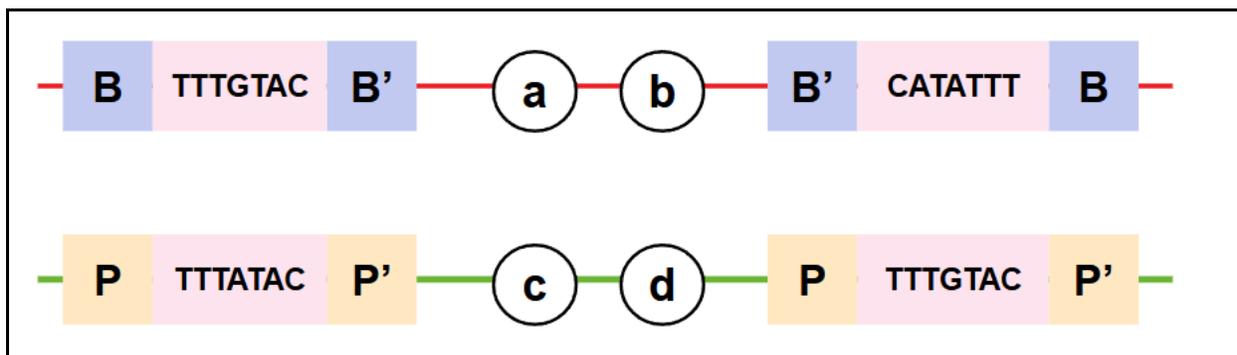
**Задание 1. [12 баллов]** Одним из методов получения генетических конструктов в настоящее время является Gateway клонирование, использующее способность фага  $\lambda$  интегрироваться и вырезаться из генома бактерии-хозяина с помощью сайт-специфичной рекомбинации. В ходе этого процесса фаговая интеграза (Int) находит attP-сайт в геноме фага и проводит рекомбинацию с сайтом attB в геноме бактерии. В результате образуются сайты attL и attR, которые с помощью эксцизионазы (Xis) могут рекомбинировать, способствуя вырезанию фага из генома (рис. А).

В ходе анализа популяции фага  $\lambda$  ученые заметили, что сайт attB состоит из трех частей: переменных областей P и P' и консервативного O-региона между ними, который отличается на один нуклеотид у разных штаммов фага (рис. Б, штаммы В, В1, В2, В3). O-регион является критическим для рекомбинации: только при полном совпадении в нем между двумя сайтами может пройти рекомбинация (остальные области сайта должны походить на консенсус, но полностью совпадать не должны).



**1.1. [2 балла]** В вашей лаборатории поддерживается популяция фагов  $\lambda$ , доли разных штаммов (В, В1, В2, В3) в которой одинаковы. Каково среднее число нуклеотидных различий в attB-сайте между двумя случайно выбранными из этой популяции фагами? В Листе ответов приведите подробные решения.

**1.2. [5 баллов]** Вы смешали в пробирке 2 линейные молекулы дцДНК с сайтами attB и attP, между которыми расположены гены a-d, как показано на рисунке ниже. Какая(-ие) молекула(-ы) ДНК образуются в пробирке, если добавить в нее интегразу (считайте, что рекомбинация прошла до конца)? Для каждой молекулы укажите все области (P,B,P',B'), гены (a-d) и последовательности O-региона, отмеченные на схеме ниже, в порядке после рекомбинации. В **Листе ответов** приведите подробные решения.



В вашей лаборатории решили воспользоваться системой Gateway клонирования. Для этого вы взяли бактерий *E.coli* и трансформировали их плазмидами 1-4 (рис. ниже) в независимых экспериментах, чтобы определить эффективность трансформации. Результаты приведены в таблице ниже.



Далее, вы смешали все плазмиды в равных количествах и провели трансформацию *E.coli* в новом эксперименте. Считайте, что эффективность трансформации не изменяется от наличия других плазмид и дикий штамм *E.coli* чувствителен к ампициллину и канамицину. Примечание: культура бактерий без действия отбора со временем теряет плазмиды, не дающие ей преимущества для выживания. Считайте, что после трансформации вы выращивали бактерий достаточно времени для потери всех “бесполезных” плазмид.

**1.3. [5 баллов]** Какой процент флуоресцирующих бактерий а) только зеленым, б) только синим, в) обоими цветами, получится в культуре, если выращивать полученных трансформантов на питательной среде, содержащей ампициллин? Округлите ответы до сотых. В Листе ответов приведите подробные решения.

**Задание 2. [13 баллов]** Сцепленное наследование, согласно хромосомной теории Т. Моргана, позволяет картировать гены, согласно наблюдаемым частотам рекомбинантных аллельных вариантов. Однако в случае аскомицетов, которые формируют линейные сумки (то есть аскоспоры остаются в таком же порядке, в котором хроматиды возникают в результате деления), возможно детектировать кроссинговер между геном и центромерой, а также картировать гены на разных плечах хромосом. Популярным аскомицетом для генетиков стала нейроспора густая (*Neurospora crassa*), линейные сумки которой содержат восемь гаплоидных аскоспор.

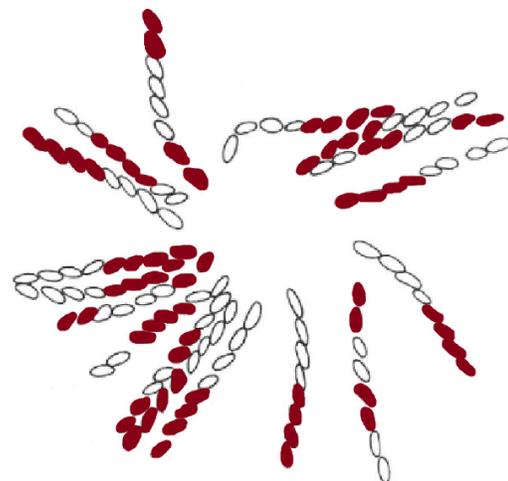
Для изучения процесса созревания асков ученые получили гетерозиготного мутанта *N.crassa*, в перичентромерную область одной из хромосомы которого был встроен ген зеленого флуоресцентного белка (EGFP). Внимательно изучив плодовое тело полученного мутанта, опишите процесс формирования аска у *N.crassa*.



**2.1. [2 балла]** Какие деления (митотические/мейотические) и в каком порядке претерпевает клетка-предшественница аскоспор у *N.crassa*? В

**Листе ответов** приведите подробную аргументацию.

**2.2. [3 балла]** Далее, ученые скрестили между собой штамм *N.crassa* с темными аскоспорами и штамм *N.crassa* с белыми аскоспорами. Исходя из полученного в результате скрещивания плодового тела, определите расстояние в сМ между геном окраски аскоспор и центромёрой его хромосомы. Ответ округлите до десятых. В **Листе ответов** приведите подробные решения.



**2.3. [5 баллов]** Затем вы скрестили штамм с ребристыми аскоспорами (А) черного цвета (В) с штаммом с гладкими аскоспорами (а) желтого цвета (b). Проанализировав полученные аски, вы получили следующее расщепление их по положению аскоспор:

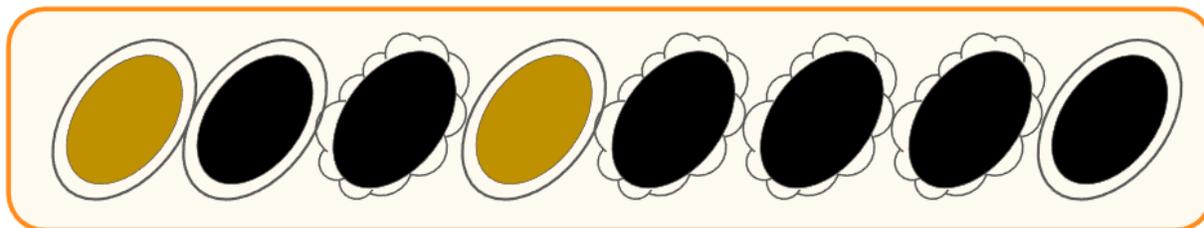
ab	ab	ab	ab	aB	ab
ab	ab	ab	ab	aB	ab
Ab	aB	ab	AB	Ab	AB
Ab	aB	ab	AB	Ab	AB
aB	Ab	AB	ab	aB	aB
aB	Ab	AB	ab	aB	aB
AB	AB	AB	AB	Ab	Ab
AB	AB	AB	AB	Ab	Ab

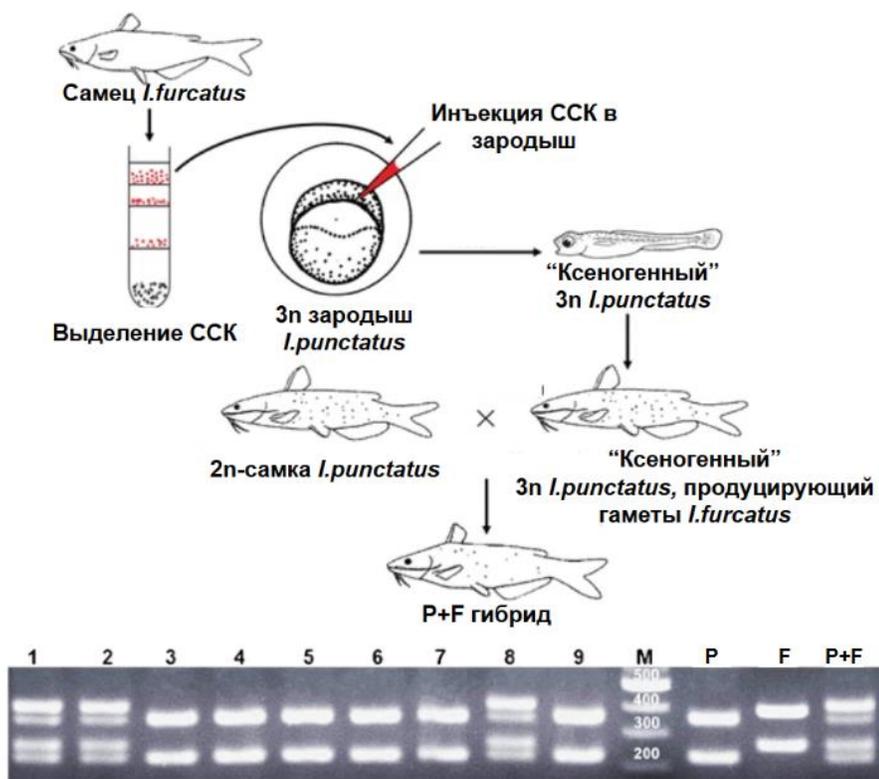
15	29	47	2	2	5
----	----	----	---	---	---

Составьте генетическую карту локуса генов ребристости и цвета аскоспор. На этой генетической карте отметьте положение центромёры и расстояние между ней и генами. В **Листе ответов** приведите подробные решения.

**2.4. [3 балла]** Проанализировав еще больше плодовых тел от предыдущего скрещивания, ученые обнаружили редкие аски, чей фенотип схематично представлен на рисунке ниже. Дайте объяснение появлению таких фенотипических классов. Как называется этот процесс? В **Листе ответов** приведите подробную аргументацию.



**Задание 3. [10 баллов]** В рыбоводстве, особое внимание уделяется проблеме получения триплоидных особей, которые отличаются лучшими показателями роста, массы и не имеют проблемы бесконтрольного размножения. За вышеописанные характеристики в аквакультуре сомов лучшим для разведения считается гибрид (“P+F”), получаемый искусственным спариванием самок канальных сомов (*Ictalurus punctatus*) с самцами голубого сома (*Ictalurus furcatus*). К сожалению, репродуктивные барьеры и сложность процесса искусственного размножения препятствует широкому использованию их на практике. Чтобы создать систему получения таких гибридов, в одном исследовании предлагается использовать технологию пересадки стволовых сперматогенных клеток (рис.). В результате эксперимента было отобрано 9 взрослых самцов (1-9), из молок которых выделили ДНК и провели диагностическую ПЦР на видоспецифичные полиморфизмы. Результаты агарозного гель-электрофореза приведены на рисунке ниже (P - канальный сом, F - голубой сом, P+F - гибрид).



3.1 Получились ли у исследователей гибриды “P+F”? Если да, то какие номера этих гибридов? В Листе ответов приведите аргументацию. [1.5 балла]

3.2 При изучении репродуктивной функции у триплоидных сомов (отр. *Siluriformes*) было замечено, что количество и качество зрелых гамет снижается независимо от пола. С этим согласуется дефект развития и уменьшенные размеры яичников у триплоидных самок. Однако у самцов-триплоидов, наоборот, описаны более крупные и анатомически развитые семенники. Чем объясняются наблюдаемые различия между полами? В Листе ответов приведите аргументацию. [3.5 балла]

3.3 Исследователи заметили, что самцы-гибриды “P+F” продуцируют фертильные гаметы как генотипа канальных сомов (P), так и голубых сомов (F) в соотношении P:F = 1:6. Самки-гибриды “P+F”, однако, стерильны. Какова будет доля “P+F”-гибридов в пруду, заселенном тремя самцами-гибридами и одной самкой канального сома во втором поколении потомства, если гибриды в 5 раз менее фертильны, чем обычные канальные сомы. Считайте, что каждое поколение размножается только 1 раз и не доживает до следующего размножения, а соотношение полов в потомстве составляет 1:1. Округлите ответ до сотых и приведите расчеты [5 баллов].

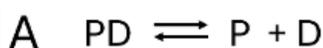
**Задание 4 [10 баллов].** Большинство цветков обоеполые (гермафродитные) — у них есть и пестики, и тычинки. Примерно у 10% растений встречаются и однополые цветки, обладающие органами размножения только одного типа. Однополые и гермафродитные цветки могут встречаться и у представителей одного вида. Известно, что отсутствие работы гена CmWIP1 у однодомных дынь приводит к тому, что все цветки растения становятся женскими. Также известно, что работа другого гена CmACS-7 препятствует появлению тычинок на женских цветках. Раз бывают мутации, из-за которых все цветки становятся женскими, наверняка должны быть мутации с противоположным эффектом. Выяснилось, что такая мутация — дефект гена ACS11 — описана для огурцов, растений того же семейства Тыквенные, что и дыня. Ген ACS11 приводит к развитию женских половых органов у женских цветков и цветков-гермафродитов. Оказалось, что CmWIP1 не работает там, где активен ACS11, а «поломка» гена ACS11 ведет к возобновлению активности CmWIP1. Что касается третьего гена системы, CmACS-7, ученые предположили, что его активность подавляется во время работы гена-антагониста.

4.1 Нарисуйте в Листе ответов схему взаимодействия генов ACS11, CmWIP1 и CmACS-7 и их влияние на развитие генеративных частей цветка [2 балла].

4.2 Каждый ген имеет мутантную аллель, гены находятся на разных хромосомах. Для функционирования достаточно хотя бы одной рабочей аллели. Напишите все возможные генотипы (можете пользоваться радикалом, пример: A- = AA+Aa) и опишите цветы у растений с таким генотипом. Для удобства, можете ген ACS11 обозначать A/a, CmWIP1 - W/w и CmACS-7 - M/m. В Листе ответов приведите подробные решения [4 балла].

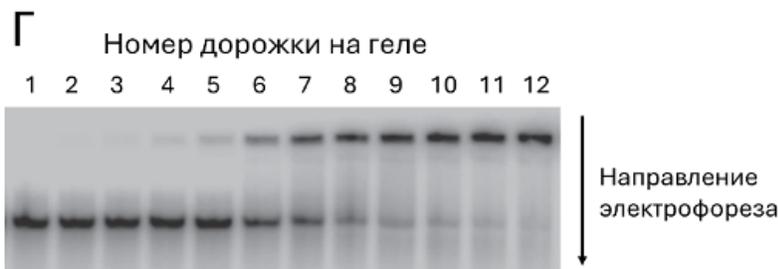
4.3 Известно, что для всех трех генов выполняется равновесие Харди-Вайнберга, а частоты аллелей равны 0,5. Представьте, что вы пришли на поле с бесконечным числом цветов вида, у которого пол определяется по данной системе. Вы выкопали два цветка для дальнейших исследований. Вам повезло, одно растение оказалось полностью с мужскими цветкам, другое - полностью с женскими. Так же вам удалось узнать, что генотип матери aawwMm, а мужское растение гомозиготно по гену M. Какая доля растений от скрещивания данных растений будут иметь обоеполые цветки? В Листе ответов приведите подробные решения [4 балла].

**Задание 5. [10 баллов]** Метод сдвига подвижности в геле позволяет выявить взаимодействия белков с молекулами ДНК и получить количественные характеристики такого взаимодействия. В случае образования комплекса со стехиометрией 1:1 такое взаимодействие может быть описано схемой, показанной на **рисунке А** (обозначения: PD – комплекс белок:ДНК, P – свободный белок, D – свободная ДНК). Количественной характеристикой такого взаимодействия служит константа диссоциации комплекса белок:ДНК (Kd), уравнение для вычисления которой показано на **рисунке Б** (квадратные скобки обозначают равновесные концентрации веществ). Эксперимент проводится следующим образом. Фиксированное количество радиоактивно-меченной ДНК смешивают с различным количеством исследуемого белка, после чего образцы вносятся в лунки полиакриламидного геля. Проведение электрофореза позволяет разделить несвязанные (движутся быстрее) и связанные белком (движутся медленнее) молекулы ДНК. Полосы ДНК проявляют и количественно определяют содержание ДНК в них с помощью автордиографии. При этом вычисляется доля связанных молекул ДНК (f), равная отношению количества (концентрации) связанных молекул ДНК к общему количеству молекул ДНК в образце (**рисунок В**). На **рисунке Г** показан результат эксперимента по описанной выше методике. В таблице (**рисунок Д**) показана общая концентрация белка в образце (Cp, наномолях/л) и доля связанных молекул ДНК (f) для каждой дорожки. Эксперимент проводился при фиксированной концентрации радиоактивно-меченной ДНК в образце, равной 100 пикомоль/л (100 пМ). Предполагая, что связывание происходит со стехиометрией 1:1, а также что концентрация связанного белка пренебрежимо мала по сравнению с общей (суммарной) концентрацией этого белка в каждом образце, определите значение Kd для исследуемого комплекса белок:ДНК. Ответ дайте в наномолях/литр (нМ) с точностью до одного знака после запятой. В **Листе ответов** приведите подробное решение.



**Б**  $Kd = \frac{[D][P]}{[PD]}$

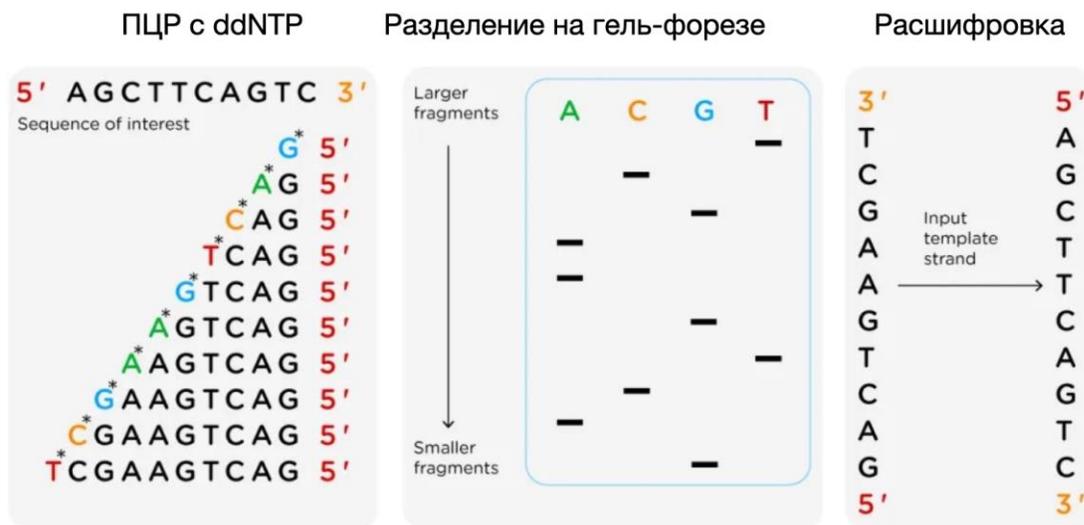
**В**  $f = \frac{[PD]}{[D] + [PD]}$



**Д**

Номер дорожки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cp, нМ	0	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32	64	125	250
f	0	0,03	0,06	0,11	0,20	0,33	0,50	0,67	0,80	0,89	0,94	0,97

**Задание 6. [10 баллов]** Секвенирование по Сэнгеру — это метод определения последовательности ДНК, основанный на синтезе новой цепи с использованием специальных модифицированных нуклеотидов (дидезоксинуклеотидов, ddNTP), которые прекращают (терминируют) удлинение цепи. В реакционной смеси присутствуют обычные нуклеотиды и небольшое количество меченых терминаторов для каждого из четырёх оснований. В результате образуются фрагменты разной длины, заканчивающиеся определённым нуклеотидом. Затем фрагменты разделяют по размеру с помощью электрофореза и по размеру молекул определяют порядок нуклеотидов в исходной ДНК.



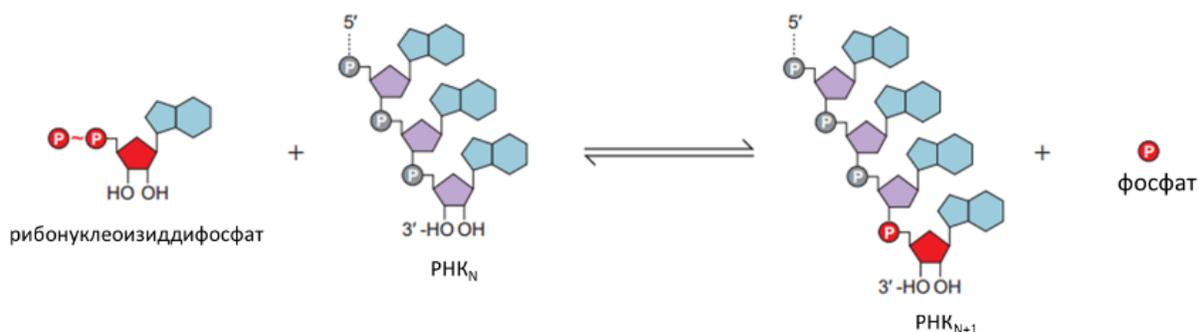
Представим себе, что в реакционной смеси соотношение обычных нуклеотидов к дидезокси нуклеотидам составляет 1:1. В реакционную смесь добавили матрицу ДНК из 400 нуклеотидов (все нуклеотиды представлены в равной пропорции). Какая доля молекул будет иметь длину 100 нуклеотидов после проведения ПЦР? Ответ округлите до сотых.

**[5 баллов]**

Какое соотношение нуклеотидов должно быть в реакционной смеси, чтобы средняя длина последовательности после ПЦР составляла 1000 нуклеотидов (при условии, что матрица имеет длину 1000 нуклеотидов)? **[5 баллов]**

При расчетах сайтами посадки праймеров можно пренебречь. В **Листе ответов** приведите подробные решения.

**Задание 7 [5 баллов].** На рисунке показан механизм реакции, катализируемой ферментом полинуклеотидфосфорилазой. Эта реакция может использоваться для синтеза молекул РНК со случайной последовательностью, но заданным нуклеотидным составом.

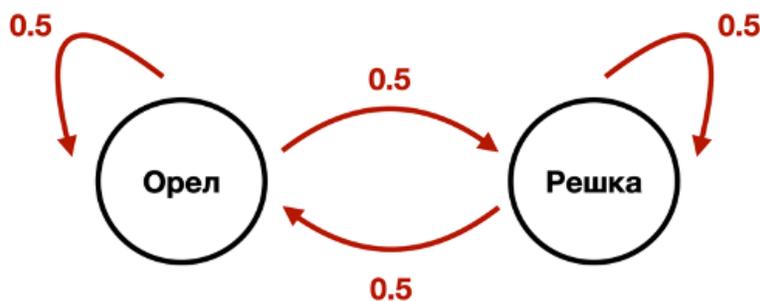


Ученый смешал в пробирке с подходящим реакционным буфером УДФ и АДФ в соотношении 2:1 (2У:1А) и добавил полинуклеотидсфорилазу. Спустя некоторое время из реакции были очищены молекулы РНК. Затем такие молекулы РНК ученый добавлял к лизату ретикулоцитов, и спустя некоторое время выделял образовавшиеся полипептиды. Рассчитайте, с какой частотой (среди всех аминокислот) в таких пептидах должен встречаться изолейцин. Ответ дайте в долях от единицы, округлив до сотых (например: 0,01). В **Листе ответов** приведите подробные решения.

**Задание 8 [20 баллов]** В геноме многих организмов имеются специфические участки, где доля нуклеотидных пар CG повышена по сравнению со средней долей таких пар по геному в целом. Эти участки получили название CpG островки. В таблице представлена частоты динуклеотидов в таких островках (столбцы – второй нуклеотид, строки – первый).

+	A	C	G	T
A	0.180	0.274	0.426	0.120
C	0.171	0.368	0.274	0.188
G	0.161	0.339	0.375	0.125
T	0.079	0.355	0.384	0.182

Для решения многих биологических проблем биологи применяют Марковские модели. В простейшей Марковской модели несколько состояний системы разделены вероятностными переходами. Рассмотрим модель для множества бросков честной монеты.



В такой модели всего два состояния: орел и решка. Так как каждый бросок монеты происходит независимо от предыдущего, то вероятность того, что после орла выпадет решка составит 0.5. При этом вероятность выпадеть орлу после орла также равна 1. Заметим, что вероятность всех стрелок, выходящих из вершины равна 1. Вершины в представленной цепи называются состояниями (в нашем случае орёл и решка), а вероятности над ребрами графа – вероятностями перехода в цепи.

8.1 Используя приведенные понятия Марковских цепей постройте в **Листе ответов** подобные цепи для нуклеотидов в CpG островках и для случайной последовательности ДНК (считайте, что содержание всех нуклеотидов одинаковое и равно 0.25). Считайте, что состояния цепи – это **одинокые** нуклеотиды **[5 баллов]**.

8.2 Представим, что вы секвенировали в лаборатории последовательность CCGTTATGCT и хотите понять, принадлежит ли она CpG островку. Рассчитайте вероятность, что такая последовательность получилась случайно, используя Марковскую цепь для динуклеотидов в случайной последовательности из предыдущего задания. Считайте, что первый нуклеотид, который имеется в цепи, задает начальное состояние, то есть его вероятность учитывать не нужно. В **Листе ответов** приведите подробные решения **[5 баллов]**.

8.3 Рассчитайте вероятность, что такая последовательность получилась при прочтении CpG островка, используя Марковскую цепь для динуклеотидов в CpG островках из предыдущего задания. Считайте, что первый нуклеотид, который имеется в цепи, задает начальное состояние, то есть его вероятность учитывать не нужно. В **Листе ответов** приведите подробные решения **[5 баллов]**.

8.4 Чтобы определить, какая из моделей наиболее вероятна обычно рассчитывается счет (s) – соотношение вероятностей, причем вероятность рассматриваемой модели делят на вероятность случайной модели. Затем полученную дробь логарифмируют.

$$s(x) = \log_2 \left( \frac{Pr(S|CpG)}{Pr(S|random)} \right)$$

Рассчитайте счет для представленной задании последовательности. В **Листе ответов** приведите подробные решения **[5 баллов]**.

**Задание 9. [5 баллов]** В некой популяции попугаев выполняется равновесие Харди-Вайнберга. За окраску оперения отвечает ген А, имеющий 3 аллеля: А<sub>1</sub> - красное оперение, А<sub>2</sub> - синее оперение, А<sub>3</sub> - желтое оперение. Аллель А<sub>1</sub> доминирует над остальными аллелями, А<sub>2</sub> доминирует над А<sub>3</sub>. В популяции численностью 1000 особей, 10 попугаев с желтым оперением и 240 с синим оперением. Чему равна частота аллеля А<sub>1</sub>? Через некоторое время численность попугаев изменилась из-за влияния хищников. Было съедено 80% желтых птиц и 15% синих птиц. Рассчитайте частоты аллелей и фенотипов в популяции через 5 поколений после воздействия хищниками. В **Листе ответов** приведите подробные решения.

**Задание 10 [5 баллов]** При проведении пульс-фореза в агарозном геле используют интеркалирующий краситель – бромистый этидий. Было установлено, что для того, чтобы полоса ДНК на геле могла быть различима глазом необходимо, чтобы масса ДНК составляла 3 нанограмма. Сколько копий VII хромосомы пекарских дрожжей будет находиться в такой полосе, при условии, что хроматин выделяли из интерфазных клеток (G1)? При ответе считайте, что молекулярная масса одной пары нуклеотидов соответствует 660 атомарных единиц, а размер VII хромосомы составляет 1 090 940 нуклеотидов. В **Листе ответов** приведите подробное решение.