ХИМИЯ
ВСЕРОССИЙСКАЯ
ОЛИМПИАДА
ШКОЛЬНИКОВ

Задания
муниципального этапа
2026-2027 учебный год
10 класс

***ВАЖНО**: в решении задач обязательно нужно привести необходимые расчеты и рассуждения, ответ без доказательств может быть оценен в 0 баллов.*

Задача 1 (*10 баллов*)

Лаборант химико-аналитической лаборатории Даниил получил ёмкость с соляной кислотой, точная концентрация которой была неизвестна. Перед использованием кислоты в технологическом процессе он решил установить её концентрацию методом титрования.

Для анализа Даниил отобрал 5,00 мл исходной соляной кислоты, перенёс пробу в мерную колбу вместимостью 250,0 мл и довёл объём раствора дистиллированной водой до метки. Для приготовления стандартного раствора лаборант взвесил 1,3264 г предварительно высушенного безводного Na_2CO_3, растворил навеску в воде, количественно перенёс раствор в мерную колбу вместимостью 250,0 мл и довёл водой до метки. Полученным раствором титровали четыре аликвоты по 10,00 мл разбавленного раствора HCl. В качестве индикатора использовали метиловый оранжевый.

Результаты титрования:

Опыт	**Объём раствора Na_2CO_3, мл**
1	19,4
2	19,9
3	19,9
4	19,9

Запишите уравнение реакции. Определите молярную концентрацию (моль/л) HCl в исходной кислоте и массовую концентрацию (г/л) HCl в исходном растворе.

Задача 2 (*10 баллов*)

Вместо эпиграфа: *Мне очень нравится разница слов "сжигание" и "сожжение". Первое это рутинный процесс, а второе — ритуальный.*
...Так вот, задачу я начал писать со слов "при сожжении навески..."

Сложные эфиры — одни из самых дешевых и распространенных ароматизаторов.
В лабораторию поступили образцы четырех эфиров, каждый из которых обладает выраженным фруктовым запахом (груши, банана, ананаса и яблока).
Для определения строения из образца каждого эфира взяли две пробы по 100 мг. Первую пробу сожгли, а выделившийся газ пропустили вначале через перхлорат магния, а затем через известковую воду. Вторую пробу гидролизовали в гидроксиде натрия, после чего выделили и высушили образующуюся соль. Результаты анализа занесены в таблицу.

Эфир	Увеличение массы $Mg(ClO_4)_2$, мг	Увеличение массы известковой воды, мг	Масса натриевой соли, мг
A	93.1	227.6	70.7
B	96.9	236.9	63.1
C	93.1	227.6	94.8
D	96.9	236.9	95.4

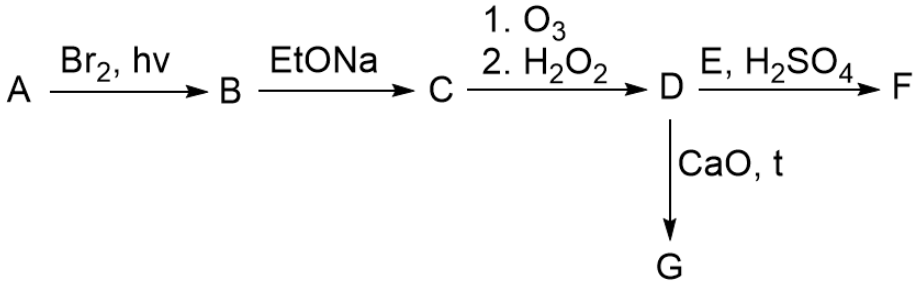
Известно также, что спирт, выделяющийся при гидролизе **B**, при окислении дает кислоту, соль которой выделяется при гидролизе **D**. Про кислоту известно, что ее серебряная соль при реакции с бромом образует алкилбромид **E**, содержащий изопропильную группу $(CH_3)_2CH$-. Все остальные продукты описанных в задаче реакций имеют только одну метильную CH_3- группу в составе.
1. Приведите брутто- и структурные формулы четырех эфиров, отданных на анализ, схему гидролиза каждого из них, а также соединения **E**. Приведите свои расчеты и рассуждения.
2. Как получают эфиры?

Задача 3 (*10 баллов*)

Ниже приведена цепочка превращений, ведущая к соединениям **F** и **G**. **F** – широко использующийся пластификатор, а **G** – важный реагент в органическом синтезе.

Учтите, что:

1. Алкан **A** (ω(C)=85.71%) при реакции с бромом на свету дает единственное монобромпроизводное **B** (ω(Br)=49.07%).
2. **E** – одноатомный спирт нормального строения с молярной массой не больше 220 г/моль.
3. **G** не содержит кальций
4. Из 10 мг **D** можно получить 25.34 мг пластификатора **F**.



В ответе приведите структурные формулы соединений **A**—**G**. Для чего используют пластификаторы? Зачем нужен свет в реакции превращения **A** в **B**? Назовите соединения **D** и **E**.

Задача 4 (*10 баллов*)

Математическая загадка

Сидел как-то мальчик Петя на уроке математики и решал задачу по химии. Когда учитель это заметил, он решил преподать ему урок и задал задачку.

— Петя, назови мне любой элемент, — сказал учитель.

— Олово, — говорит Петя.

А учитель ему:

— Вычти из порядкового номера олова сумму цифр его порядкового номера.

Петя это сделал и получил число (номер элемента **K**). А потом учитель спросил:

— А какой следующий элемент после олова?

Петя отвечает:

— Сурьма.

— Сделай с сурьмой всё точно так же, — сказал учитель.

Петя проделал те же действия и получил то же самое число.

Тогда учитель назвал этот элемент (получившийся номер **K**) «всеобъемлющим» и сказал, что в химии существует множество таких элементов. Один «всеобъемлющий» элемент с помощью этой зависимости объединяет другие элементы.

Пете очень понравилась эта идея, и он решил найти все «всеобъемлющие» элементы.

Вопросы и задания

1. Найдите элемент **K** и все «всеобъемлющие» элементы (с порядковым номером до 89 включительно).

Известно следующее:

· **A_7** — вещество образовано элементом с самой высокой молярной массой среди найденных.

· **A_3** — вещество состоит из атомов элемента, названого в честь части света.

· **A_6** – вещество состоит из атомов элемента, связанного с Данией.

· **A_4** реагирует с **A_1** с образованием вещества **X**. В веществе **X** массовая доля элемента, образующего вещество **A_1,** составляет 49,1%.

· При взаимодействии **A_2** с **A_1** может быть получено **B_1** или **B_2**, или **B_3** (вещества **B_1, B_2, B_3** записаны в порядке возрастания их молярной массы).

· **A_5** реагирует с **A_1** с образованием вещества **C**. Вещество **C** реагирует с **B_3**, в результате чего образуется соединение **Y**. В **Y** массовая доля элемента, образующего вещество **A_1,** составляет около 40%.

· **A_6** реагирует с менее реакционноспособным аналогом **A_1**, в результате чего образуется вещество **D_1**. **D_1** взаимодействует с **A_6** при температуре 450°C, образуя соединение **D_2**. В **D_2** молярная масса элемента, образующего аналог **A_1,** составляет менее 20% от общей молярной массы вещества.

· **A_8** не реагирует с **A_1**.

2. Определите простые вещества **A_1** – **A_8**, образованные «всеобъемлющими» элементами**.**

3. Определите вещества:

· **X, B_1, B_2, B_3, C, Y, D_1, D_2** и аналог **A_1**.

Задача 5 (*10 баллов*)

Кто разрушает наши зубы?

Бактерия *Streptococcus mutans* является одним из основных микроорганизмов, связанных с возникновением кариеса зубов. В процессе жизнедеятельности она активно использует углеводы, поступающие с пищей, и превращает их в ходе метаболизма в органические кислоты, в частности – молочную кислоту. В результате кислотность в зубном налёте повышается, значение pH снижается,

что приводит к постепенной деминерализации твёрдых тканей зуба. При длительном воздействии кислот эмаль разрушается – это и есть кариес.

Энергию для своей жизнедеятельности бактерия получает в процессе анаэробного расщепления сахарозы – одного из основных пищевых дисахаридов. Суммарное уравнение этого биохимического процесса имеет следующий вид:

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow 4\ C_3H_6O_3$$

Как и в любом реальном биохимическом процессе, преобразование химической энергии в живых системах не может быть абсолютно эффективным: часть энергии неизбежно рассеивается в виде тепла, нагревая бактериальную клетку и окружающий зубной налёт.

Из курса биохимии известно, что на первом этапе сахароза гидролизуется до глюкозы и фруктозы с разрывом гликозидной связи. Далее каждая из образовавшихся молекул моносахарида подвергается гликолизу с образованием двух молекул молочной кислоты. При этом в ходе гликолитического превращения как одной молекулы глюкозы, так и одной молекулы фруктозы синтезируется по 2 моля АТФ на каждый моль моносахарида. Однако для захвата сахарозы из внешней среды бактерия вынуждена затрачивать 1 моль АТФ на активный транспорт одного моля дисахарида внутрь клетки.

Стандартная энергия Гиббса гидролиза АТФ при стандартных условиях принимается равной -30,5 кДж/моль.

Справочные термодинамические данные (стандартная энергия Гиббса образования $\Delta G°'$):

$\Delta G°'$ (сахароза) = -1550 кДж/моль

$\Delta G°'$ (молочная кислота) = -524 кДж/моль

$\Delta G°'$ (вода жидкая) = -237 кДж/моль

Задания:

1. Рассчитайте, какое количество моль АТФ синтезируется бактерией при разрушении одного моля сахарозы, с учётом энергетических затрат на её транспорт.
2. Вычислите суммарную энергию (в кДж/моль сахарозы), которая запасается клеткой в виде макроэргических связей АТФ.
3. Используя закон Гесса, определите стандартную энергию Гиббса ($\Delta G°'$) полной реакции превращения сахарозы в молочную кислоту (в кДж/моль).
4. Определите коэффициент полезного действия (КПД) данного метаболического пути, рассчитав, какой процент от общей выделяющейся химической энергии удаётся сохранить в виде энергии АТФ. Оставшаяся часть энергии рассеивается в виде тепла.

5. Исходя из того, что вся энергия, не запасённая в форме АТФ, преобразуется в теплоту, вычислите теоретическое количество теплоты (в кДж), выделяющейся при расщеплении 1 моля сахарозы.
6. Что именно означает полученное значение изменения энергии Гиббса для направления самопроизвольного протекания процесса в биологических системах? Определите в каком направлении будет идти реакция: в прямом, в обратном или система будет находиться в состоянии равновесия?
7. Зачем для защиты от кариеса используют пасты с содержанием фтора?

ХИМИЯ
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Критерии оценивания заданий муниципального этапа 2026-2027 учебный год 10 класс

Задача 1 (*10 баллов*)

Решение:

1. Уравнение реакции:

$$Na_2CO_3 + 2HCl = 2NaCl + H_2O + CO_2\uparrow$$

2. Концентрация стандартного раствора Na_2CO_3:

$M(Na_2CO_3) = 106$ г/моль

$n(Na_2CO_3) = 1{,}3264 / 106 = 0{,}01251$ моль

$c(Na_2CO_3) = 0{,}01251 / 0{,}2500 = 0{,}05005$ моль/л

3. Результат первого титрования (19,4 мл) отличается от трёх совпадающих результатов и отбрасывается как выброс. Для расчёта принимаем:

$V(Na_2CO_3) = 19{,}9$ мл $= 0{,}01990$ л

4. Количество вещества Na_2CO_3, израсходованного на титрование:

$n(Na_2CO_3) = 0{,}05005 \cdot 0{,}0199 = 9{,}96 \cdot 10^{-4}$ моль

По уравнению реакции $n(HCl) = 2n(Na_2CO_3)$:

$n(HCl) = 1{,}99 \cdot 10^{-3}$ моль

5. Концентрация HCl в разбавленном растворе:

$c(HCl)_{разб.} = 1{,}99 \cdot 10^{-3} / 0{,}01000 = 0{,}1992$ моль/л

6. Исходную кислоту разбавили в 250,0 / 5,00 = 50 раз, следовательно:

$c(HCl)_{исх.} = 0{,}1992 \cdot 50 = 9{,}96$ моль/л

7. Массовая концентрация HCl:

$c_m(HCl) = 9{,}96 \cdot 36{,}5 = 364$ г/л

Ответ: $c(HCl) = 9{,}96$ моль/л; $c_m(HCl) = 364$ г/л.

Рекомендации к оцениванию:

1	Уравнение реакции.	1 балл
2	Расчёт концентрации стандартного раствора Na_2CO_3 (2 балла) и отбрасывание результата 19,4 мл как выброса (1 балл).	3 балла
3	Расчет молярной концентрации в разбавленном растворе – 2 балла, Расчёт молярной концентрации HCl в исходной кислоте – 2 балла.	4 балла
4	Расчёт массовой концентрации HCl.	2 балла

ИТОГО: 10 баллов

Задача 2 (*10 баллов*)

Из результатов анализа видно, что эфиры **A-C** и **B-D** выделяют одинаковые массы газов при сжигании.

Заметим, что перхлорат магния — осушитель, прибавка его массы соответствует массе выделенной воды; известковая вода поглощает CO_2, прибавка ее массы соответствует массе выделенного CO_2.

Для эфиров A и C:

$\nu(C) = \nu(CO_2) = 227.6/44 = 5.173$ ммоль, $m(C) = 5.173*12 = 62.076$ мг

$\nu(H) = 2\nu(H_2O) = 2*93.1/18 = 10.344$ ммоль, $m(H) = 10.344$ мг

$m(O) = m(эфира)-m(C)-m(H) = 100-62.076-10.344 = 27.580$ мг,

$\nu(O) = 27.580/16 = 1.724$ ммоль.

Поскольку анализируемые вещества — эфиры, имеет смысл начать рассмотрение с одной эфирной группы, т.е. 2 атомов кислорода на молекулу.

Тогда C:H:O = 5.173:10.344:1.724 = 6:12:2

A и C имеют формулу $C_6H_{12}O_2$.

Аналогично находятся отношение C:H:O = 7:14:2 и формула $C_7H_{14}O_2$ для эфиров **B** и **D**.

Затем определим формулы кислот и спиртов, образующихся при гидролизе каждого из эфиров.

Для эфира A **$\nu(A) = 100/116 = 0.862$ ммоль = ν(соли)**

M(соли A) = 70.7/0.862 = 82. Соль имеет формулу R-CO_2Na, M(R) = M(соли)-67 = 15 — метил. Таким образом, соль, выделяющаяся при гидролизе A — ацетат натрия.

Эфир **A** имеет структуру $MeCO_2R_1$. Найдем молярную массу R_1: M = M(A)-59 = 116-59 = 57 — C_4H_9 (выводы о структуре пока делать не будем).

Таким образом получаем брутто-формулы соответствующих солей и выводы о структуре эфира:

B — $MeCO_2C_5H_{11}$

C — $C_3H_7CO_2Et$

D — $C_4H_9CO_2Et$

(Et — этил, Me — метил). Осталось понять, какую структуру имеют заместители.

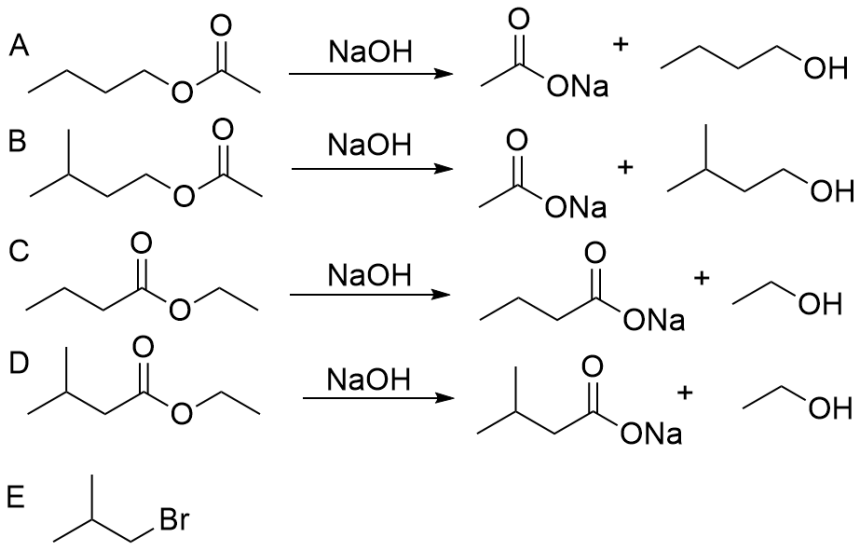
Реакция превращения серебряной соли в алкилбромид — реакция Бородина-Хунсдикера, протекающая следующим образом:

R-$CO_2Ag + Br_2 = RBr + CO_2 + AgBr$, в условиях задачи R = C_4H_9. Единственный алкилбромид, подходящий под условия — **изобутилбромид.**

Исходя из этого, однозначно устанавливаем: **D — этилизовалерат**, **B — изоамилацетат.**

Исходя из данных о нормальном строении остальных продуктов, можно сказать, что **A — н-бутилацетат, C — этилбутират**.

Структуры эфиров и схемы гидролиза приведены ниже.



Эфиры получают реакцией кислоты со спиртом в присутствии сильной кислоты (либо водоотнимающих агентов: P_4O_{10}, DCC, EDC), реакцией ацилхлоридов со спиртами и так далее.

Разбалловка:

1. Брутто-формула — **1 балл** за пару эфиров (**2 балла**).
2. Структура веществ **A**—**E** — **1 балл** за каждую (в случае указания неверной структуры с сохранением количества атомов углерода по разные стороны от эфирной группы — **0.5 балла**) Допускается использование общепринятых сокращений: Me, Et, nBu, iBu, iAm и т.п. (**5 баллов**).
3. Схемы гидролиза — **0.5 баллов** за схему (засчитываются любые адекватные схемы, если верно указаны исходный эфир, образующиеся соль и спирт.) (**2 балла**)
4. Указание на хотя бы один верный метод синтеза эфиров — **1 балл** (за каждый неправильный, приведенный в ответе на вопрос — **минус 0.5 балла**).

ИТОГО: 10 баллов.

Задача 3 (*10 баллов*)

Из массовых долей в условии получаем, что молярная масса **B** — 163 г/моль, а адекватная формула, соответствующая такой молярной массе — $C_6H_{11}Br$. С учетом того, что простейшая формула **A** — CH_2 получаем формулу **A** — C_6H_{12} — циклический алкан (алкен не соответствует условию). Из образования всего одного монобромпроизводного делаем вывод, что **A** — **циклогексан**.

Дальше происходят реакции бромирования (**B** — бромциклогексан),

элиминирования (**C** — циклогексен) и озонолиза с окислительной обработкой (**D** — адипиновая кислота).

Превращение **D** в **G** — циклизация Ружички, **G** — циклопентанон. (Реакция проходит через образование адипата кальция и его пиролиз, но адипат кальция не подходит, поскольку заявлено отсутствие кальция в **G**)

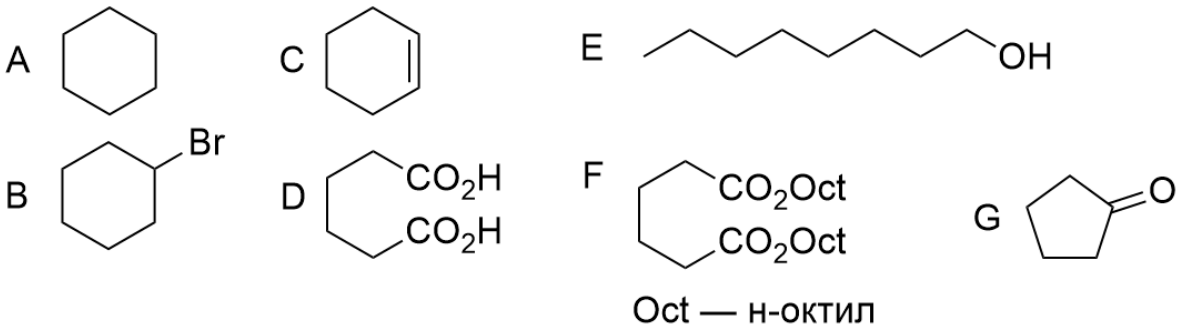
Превращение **D** в **F** — этерификация. Молярная масса продукта считается из условия задачи: 25.34/(10/146) = 370 г/моль.

Если кислота реагирует с образованием монозамещенного эфира ($AdH_2 + ROH = AdRH + H_2O$), молярная масса продукта равна 146-1+R=370, откуда R = 225 — гексадецил. Молярная масса гексадецилового спирта равна 242 г/моль и не соответствует условию.

Тогда F — диэфир, $AdH_2 + 2ROH = AdR_2 + 2H_2O$.

Аналогично получаем 146-2+2R=370, откуда R = 113 — октил.

Таким образом, E — *n*-октиловый спирт.



Пластификаторы вводятся в полимеры для придания им пластичности, мягкости и эластичности.

Свет в превращении **A-B** нужен для запуска радикальной реакции (образования радикалов брома).

D — гександиовая кислота (1,4-гександиовая, гексан-1,4-диовая), адипиновая кислота.

E — октанол-1 (1-октанол, октан-1-ол, *н*-октанол, *n*-октанол).

Разбалловка:

1. Структурные формулы **A**—**G** — по **1 баллу** каждая (допускается использование сокращений!) (**7 баллов**).
2. Ответ на вопрос о пластификаторах — **1 балл** (в любой адекватной формулировке).
3. Ответ на вопрос о роли света в реакции — **1 балл** (любая формулировка, указывающая на образование радикалов).
4. Названия **D** и **E** — **0.5 баллов** каждое (засчитываются любые адекватные названия) (**1 балл**).

ИТОГО: 10 баллов.

Задача 4 (*10 баллов*)

1. Элемент K

K — Rh (+1 б)

Всеобъемлющие элементы:

F, Ar, Co, Kr, Rh, Xe, Eu, Hf, Tl. (+0,25 б за каждый новый элемент, кроме Rh) – 3 балла за пункт 1.

2. Простые вещества:

A_1 — F (F_2);

A_2 — Xe;

A_3 — Eu;

A_4 — Co;

A_5 — Kr;

A_6 — Hf;

A_7 — Tl;

A_8 — Ar.

По 0,25 балла за каждое верное соотнесение простого вещества. За пункт 2 суммарно 2 балла.

3. Соединения:

X — CoF_3 (+0,5 балла);

C — KrF_2 (+0,5 балла);

Y — $[KrF]^+[XeF_7]$ ($KrXeF_8$ Тоже должен засчитываться и аналогичные варианты) (+1 балл);

B_1 — XeF_2 (+0,5 балла);

B_2 — XeF_4 (+0,5 балла);

B_3 — XeF_6 (+0,5 балла);

D_1 — $HfCl_4$ (+0,5 балла);

D_2 — HfCl (+0,5 балла).

A_1 аналог — Cl_2 (+0,5 балла)

Частичные или промежуточные ответы оцениваться не должны баллы даются только за правильное указание элементов

Задача 5 (*10 баллов*)

1. Гидролиз одного моля сахарозы даёт один моль глюкозы и один моль фруктозы. В гликолизе каждая из этих молекул обеспечивает синтез 2 молей АТФ. Следовательно, суммарный синтез составляет 4 моля АТФ. Однако транспорт одного моля сахарозы внутрь клетки требует затраты 1 моля АТФ. Таким образом, чистый энергетический выход составляет 4 – 1= 3 моля АТФ на

1 моль сахарозы.
Ответ: 3 моль АТФ (1 б).
2. При гидролизе 1 моля АТФ высвобождается 30,5 кДж. Следовательно, при синтезе 3 молей АТФ клетка запасает энергию в количестве 3×30,5=91,5 кДж/моль сахарозы.
Ответ: 91,5 кДж/моль сахарозы (2 б).
3. Согласно закону Гесса, стандартная энергия Гиббса реакции рассчитывается как разность между суммой энергий образования продуктов и суммой энергий образования реагентов с учётом стехиометрических коэффициентов:
$\Delta G^{\circ\prime} = 4 \times \Delta G^{\circ\prime}$(молочной кислоты) - $\Delta G^{\circ\prime}$(воды) - $\Delta G^{\circ\prime}$(сахарозы)
Подставляем числовые значения:
$\Delta G^{\circ\prime} = 4 \times (-524) - (-237) - (-1550)$
$\Delta G^{\circ\prime} = -309$ кДж/моль
Ответ: $\Delta G^{\circ\prime} = -309$ кДж/моль (3 б).
4. Коэффициент полезного действия рассчитывается как отношение полезно запасённой энергии (в АТФ) к полной энергии, выделившейся в ходе реакции, умноженное на 100%:
КПД = (91,5 / 309) × 100%
КПД ≈ 29,6%
Ответ: КПД ≈ 29,6% (0,5 б).
5. Поскольку энергия, не перешедшая в АТФ, рассеивается в виде тепла, количество теплоты составит разность между полным энергетическим эффектом реакции и энергией, запасённой в АТФ:
Q = 309 - 91,5
Q = 217,5 кДж/моль
Ответ: 217,5 кДж/моль (1 б).
6. Полученное значение $\Delta G^{\circ\prime} = -309$ кДж/моль является отрицательным. Отрицательное значение свободной энергии Гиббса означает, что реакция способна протекать самопроизвольно в прямом направлении (в сторону образования молочной кислоты Именно эта выделяющаяся свободная энергия и используется клеткой для синтеза АТФ, а её избыток рассеивается в виде тепла в окружающую среду.
Ответ: протекает самопроизвольно, в прямом направлении (1,5 б).
7. Потому что гидроксиаппатит превращается во фтораппатит, который менее подвержен кислотному воздействию (1 б).