

Международный благотворительный фонд
поддержки математики имени Леонарда Эйлера

ЗАПИСКИ «ФОРМУЛЫ ЕДИНСТВА»
ВЫПУСК 6

СБОРНИК ЗАДАЧ ОЛИМПИАДЫ
«ФОРМУЛА ЕДИНСТВА»
«ТРЕТЬЕ ТЫСЯЧЕЛЕТИЕ»
ПО ФИЗИКЕ И ХИМИИ
ЗА 2020 ГОД

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



Издательство ВВМ
2021

Условия задач

Физика

Отборочный этап

8 класс

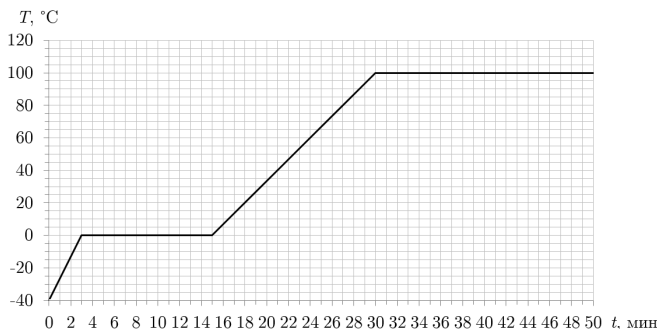
20.1. [10 баллов] Лестница в небо, построенная бароном Мюнхгаузеном, сломалась, поэтому он решил долететь до Луны на аэростате. Масса корзины и креплений составила 23 кг, а оболочку воздушного шара он сшил из материала с поверхностной плотностью $\rho = 2 \text{ кг/м}^2$.

Каков минимальный радиус шара, необходимый для того, чтобы поднять самого барона массой 80 кг и его астрологическое оборудование массой 170 кг? Ответ дайте в метрах.

Замечание. Шар наполняется гелием, температура и давление внутри и снаружи шара нормальные. Объём шара вычисляется по формуле $V = 4\pi R^3/3$, а площадь поверхности сферы — $S = 4\pi R^2$, где R — радиус. Плотность воздуха — $1,225 \text{ кг/м}^3$, плотность гелия — $0,178 \text{ кг/м}^3$.

20.2. [10 баллов] Русские учёные проводят на арктической станции эксперименты по выживаемости растений. Для поддержания необходимой влажности воздуха в теплице они используют обычную печку, в которой топят лёд и снег. В пустую нагретую печку положили 4 кг льда. График зависимости температуры от времени представлен на след. стр. Сколько минут в печке было больше 2 литров жидкой воды?

Замечание. Удельная теплота плавления льда — 336 кДж/кг , удельная теплоёмкость воды — $4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$, удельная теплота парообразования воды — 2240 кДж/кг .



20.3. [10 баллов] В первый день соревнований по гребле на байдарке одна команда спустилась и поднялась по реке со средней скоростью 3 км/ч.

На следующий день эта же команда решила прийти к финишу первой, для чего удвоила собственную скорость. Теперь спуск и подъём прошёл со средней скоростью 7,5 км/ч.

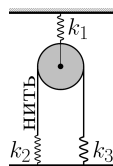
Найдите скорость течения реки. Ответ выразите в км/ч.

20.4. [10 баллов] Два парня кинули друг в друга снежками с одинаковой скоростью. Снежки столкнулись в воздухе и от удара полностью растаяли. Масса каждого снежка 120 г.

С какой минимальной скоростью брошен каждый снежок? Ответ дайте в м/с, округлите до целых.

Замечание. Удельная теплота плавления снега — 336 кДж/кг. Считайте, что вся кинетическая энергия от столкновения перешла в тепло.

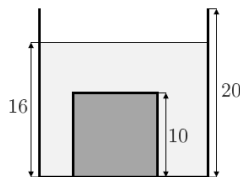
20.5. [10 баллов] В изображённой на рисунке конструкции жёсткости пружин таковы: $k_1 = = 2000$ Н/м, $k_2 = 500$ Н/м, $k_3 = 1000$ Н/м. Нить, соединяющая пружины, невесомая и нерастяжимая, блок тоже невесомый.



На сколько сантиметров опустится блок, если укоротить нить на 15 см?

20.6. [4 балла] В мерном стакане в форме куба со стороной 20 см ко дну приклеен деревянный кубик с плотностью 600 кг/м^3 со стороной 10 см. В стакан налили воды по отметку 16 см.

На какой отметке окажется уровень воды, когда кубик отклеится и всплывёт? Ответ дайте в сантиметрах.

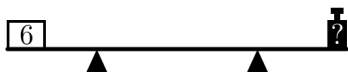


20.7. [4 балла] На дачу привезли сухие дрова плотностью $\rho_1 = 0,64 \text{ г/см}^3$. Дрова напилены на поленья массой 1 кг каждое. В первый день выяснилось, что при сгорании полена выделяется 9,2 МДж тепла. Ночью прошёл ливень, дрова намокли, и их плотность стала равной $0,8 \text{ г/см}^3$. Сколько тепла выделится при сгорании полена? Ответ дайте в МДж и округлите до десятых.

Замечание. Температура воздуха в комнате — 20°C , удельная теплоёмкость воды $c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$, удельная теплота парообразования воды $\lambda = 2,3 \text{ МДж/кг}$.

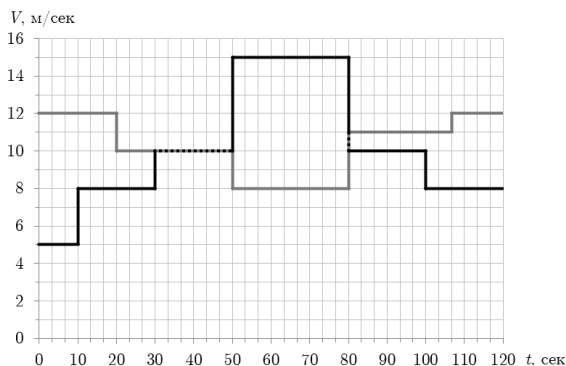
20.8. [4 балла] На левый край скамейки поставили 6-килограммовый кирпич. Чтобы она не опрокинулась, на правый край нужно положить гирю массой хотя бы 2 килограмма.

А какую самую тяжёлую гирю можно положить, чтобы скамейка устояла?



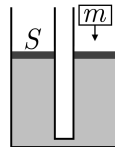
Замечание. Скамейка стоит на двух ножках, закреплённых на равном расстоянии от краёв (см. рисунок). Скамейку считайте невесомой.

20.9. [4 балла] Две экспериментальные наномашин конкурирующих компаний-разработчиков участвуют в гонке. Размер машин не позволяет наблюдать за ними визуально, поэтому в них установлены наноакселерометры, отслеживающие скорость в каждый момент времени. Соответствующие графики зависимости от времени $v(t)$ изображены на рисунке.



На сколько секунд первая машина проехала первые 1000 метров быстрее, чем вторая?

20.10. [4 балла] Два высоких сообщающихся сосуда (с сечением площадью $S = 10 \text{ см}^2$) наполнены водой. Сосуды закрыты одинаковыми поршнями.



Какая будет разница уровней воды в сосудах, если на один из поршней положить груз массой $m = 150 \text{ г}$? Ответ дайте в сантиметрах.

9 класс

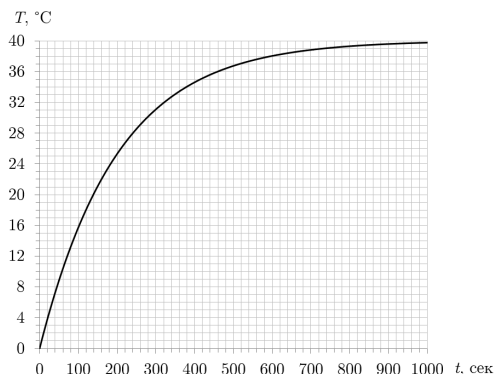
20.11. *Смотри задачу 20.2.*

20.12. *Смотри задачу 20.4.*

20.13. [10 баллов] Медный провод подключили к источнику тока с напряжением $U = 10 \text{ В}$. В момент, когда ключ

замкнули, провод стал нагреваться. График зависимости температуры от времени изображён на рисунке.

Определите длину провода. Ответ дайте в метрах, округлите до целых (допускается отклонение от точного ответа на 10%).



Замечание. Потери тепла пропорциональны разности температур, сопротивление проволоки считайте постоянным.

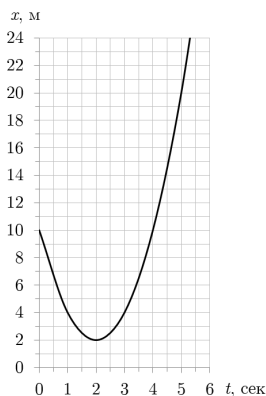
20.14. *Смотри задачу 20.3.*

20.15. *Смотри задачу 20.1.*

20.16. *Смотри задачу 20.7.*

20.17. *Смотри задачу 20.8.*

20.18. [4 балла] Одним из навыков, отрабатываемых на курсах экстремального вождения автомобиля, является «торможение двигателем», когда число оборотов двигателя становится меньше числа оборотов самих колёс. Наиболее опасным считается такое торможение с использованием задней передачи (то есть машина едет вперёд, а двигатель крутит колёса назад) — в этом случае для уменьшения вероятности заноса рекомендуется сохранять постоянным ускорение автомобиля.



На рисунке представлен график зависимости координаты автомобиля от времени. Найдите ускорение, если водителю удалось сохранять его постоянным в течение всего манёвра. Ответ дайте в м/с^2 .

20.19. *Смотри задачу 20.6.*

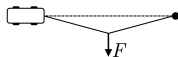
20.20. [4 балла] Во время подготовки к битве против Саурана разведчики Гондора донесли, что орки начали использовать неизвестное ранее электрическое оружие, поэтому король Эльдарин распорядился создать новую кольчугу, для которой требуется 300 ярдов металлической «провода» общим сопротивлением не более 4 феаноров.

Из чего выгоднее её делать (и сколько это будет стоить для одного человека), если в распоряжении у Гондора есть 4 металла: мифрил, итильдин, тилкал и галворн, характеристики которых указаны ниже? Ответ дайте в кастарах, округлив до целых.

Металл	Плотность	Удел. сопротивление	Цена
	$\frac{\text{фунт}}{\text{ярд}^3}$	10^{-6} феанор · ярд	$\frac{\text{кастар}}{\text{фунт}}$
мифрил	150	0,6	131,5
итильдин	245	0,9	135,2
тилкал	710	6,2	2,5
галворн	780	7,5	2,3

10 класс

20.21. [10 баллов] Чтобы вытащить машину из канавы, водитель использует трос жёсткостью $k = 100000 \text{ Н/м}$ и длиной $L = 8 \text{ м}$.



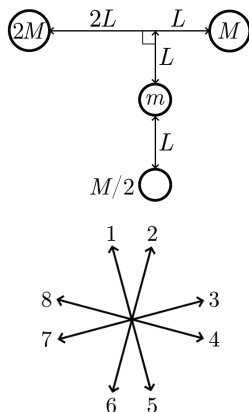
Он натянул его между машиной и деревом, а сам потянул за середину троса так, как показано на рисунке.

Какую силу ему надо приложить к тросу, чтобы вытащить машину? Известно, что для того чтобы вытащить машину

без троса, требуется приложить усилие $F_0 = 1000$ Н. Ответ дайте в ньютонах, округлите до целых.

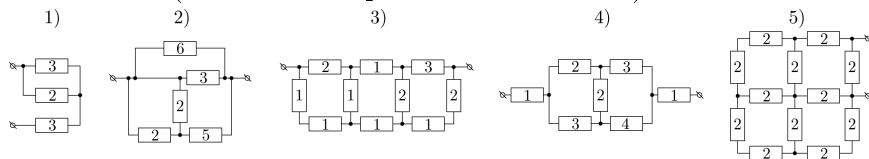
20.22. [10 баллов] Лаборатория имени экспериментатора Глюка проводит космический эксперимент по изучению гравитационного взаимодействия. Три больших шара закрепили неподвижно, а маленький поместили в начальную точку и отпустили (см. верхний рисунок). В какую сторону он начнёт двигаться (выберите вариант из предложенных на нижнем рисунке)?

Замечание. Шары взаимодействуют только гравитационно.



20.23. *Смотри задачу 20.13.*

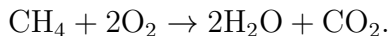
20.24. [10 баллов] Расположите приведённые схемы в порядке увеличения общего сопротивления. В ответе укажите цифры в нужном порядке в виде пятизначного числа (то есть без пробелов и запятых).



20.25. [10 баллов] В теплоизолированном сосуде постоянного объёма в начальный момент находятся $\nu_1 = 0,5$ молей метана и $\nu_2 = 10$ молей кислорода при температуре $T_0 = 300$ К. Подана искра.

Найдите, какая установится температура, когда весь метан сгорит. Ответ дайте в кельвинах, округлив до целых.

Замечание. Удельная теплота сгорания метана — 50,1 МДж/кг. Уравнение реакции горения:

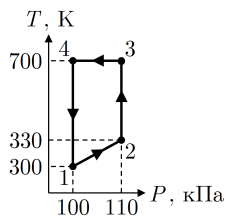


Атомы в молекуле углекислого газа выстроены вдоль одной прямой, поэтому CO_2 ведёт себя как двухатомная молекула. Газы считайте идеальными.

20.26. [4 балла] В мирно покоящийся на гладком столе деревянный брусок выстрелили очередью из пулемёта. После того как в него влетела первая пуля, брусок приобрёл скорость $V_1 = 4,1$ м/с, после второй пули — 8,1 м/с. Какую скорость (в м/с) приобретёт брусок после того, как в нём окажутся все пули?

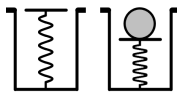
Замечание. В очереди десять пуль, все пули застряли в бруске.

20.27. [4 балла] Экспериментатор сконструировал микроскопическую тепловую машину и поместил в неё 0,02 моля идеального газа. Схематически термодинамический цикл этой машины изображён на рисунке.



Найдите работу, совершённую машиной за 1 цикл. Ответ дайте в джоулях, округлите до десятых. Допускается отклонение от точного ответа в пределах 0,1 Дж.

20.28. [4 балла] Одна компания запатентовала устройство для ввода в игру шарика для пинг-понга. Оно представляет из себя крепящуюся к теннисному столу трубку с пружинкой с жёсткостью $k = 15$ Н/м, конец которой утоплен внутрь стола. Для старта раунда достаточно положить в трубку шарик и нажать на кнопку, чтобы отпустить пружину.



На какую высоту (в сантиметрах) от стола подлетит шарик массой $m = 3$ г и диаметром $d = 4$ см? В спокойном состоянии верхняя часть пружины находится на одном уровне со столом.

Замечание. Высоту считайте от стола до нижней точки шарика. Трение о воздух и массу пружинки не учитывайте.

20.29. *Смотри задачу 20.18.*

20.30. *Смотри задачу 20.20.*

11 класс

20.31. *Смотри задачу 20.21.*

20.32. *Смотри задачу 20.22.*

20.33. *Смотри задачу 20.24.*

20.34. *Смотри задачу 20.25.*

20.35. [10 баллов] Шарик массой $m = 10$ мг и зарядом $q = 2$ нКл падает с высоты $h = 1,25$ см точно в середину конденсатора с вертикальными пластинами. На конденсатор подано напряжение $U = 50$ В, обкладки конденсатора представляют из себя квадраты с длиной стороны $L = 3,75$ см.



При каком минимальном расстоянии d между обкладками шарик успеет пролететь сквозь конденсатор? Ответ дайте в миллиметрах.

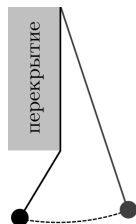
Замечание. Размерами шарика и сопротивлением воздуха пренебрегите.

20.36. *Смотри задачу 20.26.*

20.37. *Смотри задачу 20.27.*

20.38. [4 балла] Невесомую нерастяжимую нить с привязанным к её нижнему концу шариком подвесили к верхнему краю перекрытия. Длина нити — 3,6 м, толщина перекрытия — 2 м, масса шарика — 500 г.

Найдите период малых колебаний системы. Ответ дайте в секундах.



20.39. [4 балла] В лаборатории создано однородное электрическое поле напряжённостью $E = 100$ В/м, направленное вдоль оси x , и однородное магнитное поле индукцией $B = 20$ мТл, направленное вдоль оси y . Напряжённость гравитационного поля направлена вдоль оси z и равна $g = 1,6$ Н/кг. Из начала координат в установку влетает частица зарядом $q = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл и массой $m = 8,96 \cdot 10^{-26}$ кг. Проекции начальной скорости частицы на оси координат равны $V_x = 305$ м/с, $V_y = 320$ м/с и $V_z = 405$ м/с.

Найдите координату y через 10^{-3} с после начала опыта. Ответ дайте в метрах.

20.40. [4 балла] Любитель экспериментальной физики решил собрать колебательный контур. Он обнаружил, что в школьной лаборатории есть только три конденсатора и три катушки. Ёмкости конденсаторов $C_1 = 1$ нФ, $C_2 = 2$ нФ и $C_3 = 0,4$ нФ. Индуктивности катушек $L_1 = 2$ мГн, $L_2 = 10$ мГн, $L_3 = 2,5$ мГн. Подумав, он решил собрать колебательный контур с минимальным периодом колебаний. Каким будет этот период? Ответ дайте в микросекундах.

Заключительный этап

8 класс

20.41. Лев Давидович и Евгений Михайлович, владеющие дачными участками по соседству друг с другом, никак

не могли решить, какая сточная канавка эстетичнее: прямоугольная или треугольная со стенками под 45° к горизонтали. В конце концов, каждый прорыл на своём участке по-своему. 10 июля моросил дождик и сын Льва Давидовича запускал бумажные кораблики по канавке. Он заметил, что по участку Евгения Михайловича кораблик плывёт в 2 раза быстрее. А 12 июля прошёл ливень. Как только он закончился, мальчик побежал пускать кораблики. Он обнаружил, что уровень воды поднялся в 4 раза, а скорость кораблика на его участке увеличилась в 2 раза. Во сколько раз изменилась скорость на участке Евгения Михайловича?

Замечание. Одна канавка переходит в другую. Дно канавы Льва Давидовича находится на том же уровне, что и нижняя точка канавы Евгения Михайловича, их середины также совпадают. Уровень воды в обоих участках канавки одинаковый. Считайте, что скорость кораблика равна средней скорости воды в канаве.

20.42. Эскалатор движется со скоростью 3 км/ч. Люди стоят на правой стороне и бегут по левой, средняя скорость бега (относительно эскалатора) — 5 км/ч. Компания подростков с самого верха заняла обе стороны эскалатора, никого не пропуская дальше. В результате за ними накопился «хвост» из людей, которые начали бежать по левой стороне, но, наткнувшись на препятствие, остановились. Сколько времени пройдёт от начала формирования пробки до момента, когда проход по левой половине наконец-то станет полностью свободен, если спуск на эскалаторе стоя занимает 3 минуты? Известно, что бежать по эскалатору предпочитает примерно четверть пассажиров.

Замечание. Считайте, что люди в пробке занимают эскалатор с той же плотностью, что и стоящие на правой стороне.

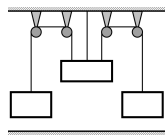
20.43. Биолог разводит в своей комнате архей и холодолюбивых рыб. Они находятся в двух одинаковых закрытых аквариумах: в одном — археи при температуре 90°C , в другом — рыбы при температуре 10°C .

Чтобы поддерживать температуры неизменными, биолог соединил аквариумы тепловым насосом, который работает следующим образом: при получении от электрической сети энергии Q он передаёт $0,6Q$ от холодного тела горячему, и, дополнительно сам нагревает горячее тело ещё на $0,6Q$ (оставшиеся $0,4Q$ рассеиваются). Однако для архей этого не хватает, поэтому он поместил в их аквариум ещё 7 низковольтных нагревателей.

На улице неожиданно похолодало, и температура в комнате упала с 25°C до 20°C . На сколько процентов нужно изменить мощность насоса и сколько нагревателей добавить к археям?

Замечание. Мощность теплообмена между аквариумом и воздухом в комнате пропорциональна разности их температур. Теплоёмкость воздуха в комнате считайте много больше теплоёмкостей аквариумов.

20.44. Изучая закон Гука, школьники соорудили конструкцию из блоков и резинок (см. рисунок). Они подвесили на боковые резинки

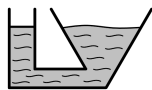


грузы массами 3 кг, а на центральную резинку — груз массой 2 кг. Дождавшись, пока система придёт в равновесие, они измерили высоту, на которой находится средний груз. Она оказалась равной 120 см. Потом они попробовали вешать на центральную резинку другие грузы. Груз массой 3 кг висел на высоте 110 см, груз массой 4 кг — на высоте 102 см, а груз массой 9 кг — на высоте 46 см.

На какой высоте окажется каждый из грузов, если на центральной резинке оставить груз массой 9 кг, а на боковые подвесить грузы массой в 4 кг?

Замечание. Трения в осях блоков нет. Боковые резинки одинаковые.

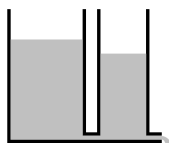
20.45. Два сосуда (один — цилиндрической, а другой — треугольной формы) соединены трубкой у основания. Цилиндрический сосуд сверху закрыт тонким невесомым поршнем (см. рисунок). В начальный момент в обоих сосудах находится вода общим объёмом 400 мл. Экспериментатор наливает 10 мл некоторой жидкости в цилиндрический сосуд поверх поршня. В результате уровень воды в треугольном сосуде поднимается до 12 см. Какой объём этой жидкости необходимо долить, чтобы уровень воды в треугольном сосуде поднялся до 15 см?



Замечание. Площадь сечения цилиндрического сосуда — 20 см^2 , объём воды в треугольном сосуде определяется по формуле $V = Kh^2$, где h — уровень воды в нём, а $K = 2 \text{ см}$ — постоянный коэффициент. Плотность воды — 1000 кг/м^3 . Объёмом воды в соединяющей сосудах трубке можно пренебречь.

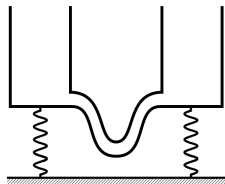
9 класс

20.46. Экспериментатор Глюк поехал на дачу, забыв дома оборудование для экспериментов. К счастью, на даче нашлись два сосуда и две трубки. Пошёл дождь, и экспериментатор смог поставить следующий опыт: одной трубкой соединил сосуда у дна, а вторую (такую же) трубку присоединил ко второму сосуду (см. рис.). Вынеся сосуды под дождь, он дождался, пока уровень воды станет стабильным, и снял показания. В левом сосуде уровень воды был 1,5 м, в правом — 0,9 м. Вскоре дождь усилился в два раза. Глюк закрыл правый сосуд крышкой, снова дождался, пока уровень установится, но, не успев ничего померить, уронил сосуды. Чтобы пожаловаться на свою досаду, Глюк позвонил теоретику Багу. Мо-



жет ли Баг успокоить Глюка и вычислить уровни воды в сосудах после усиления дождя? Багу известно, что скорость жидкости в трубке пропорциональна разности давлений на её концах.

20.47. Два лёгких сосуда, соединённые у основания тонким гибким шлангом, стоят на пружинах, прикреплённых к полу (см. рисунок). Экспериментатор Глюк проделал с ними следующие операции:

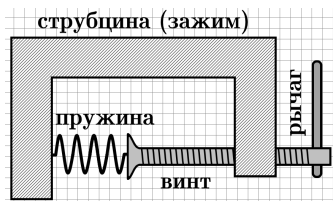


- 1) Налил 160 мл воды в левый сосуд. В результате правый сосуд опустился на 2 см, а левый остался на месте.
- 2) Вылил воду, поменял сосуды местами и налил в левый 670 мл воды. Он опустился на 2 см, а правый опустился на 3 см.
- 3) Вылил воду и вернул сосуды в первоначальное положение.
- 4) Глюк решил подобрать такую жидкость, чтобы при наливании её в левый сосуд тот опускался. Постепенно варьируя плотность, он такую жидкость получил.
- 5) Он снова поменял сосуды местами и налил в левый 100 мл этой жидкости.

На сколько опустится каждый из сосудов?

Замечание. Известно, что площадь дна одного из сосудов в пять раз больше другого.

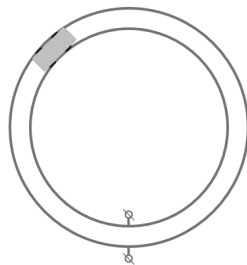
20.46. В струбине зажата пружина жёсткостью 500 Н/м. Пружина не деформирована. Прикладывая к концу рычага винта силу 0,8 Н, его повернули 5 раз. Каков КПД струбины в этом процессе?



Замечание. Потенциальная энергия пружины ищется по формуле $E = k \cdot x^2/2$, где k — жёсткость пружины.

жины, а x — изменение её длины. Масштаб чертежа — в 1 клетке 4 см.

20.47. На испытаниях моделей электрического транспорта сделан круговой трек длиной 16 м из двух токопроводящих рельс. Около точки старта каждая из рельс подключена к клемме источника тока (см. рисунок). Машинка едет по рельсам, замыкая электрическую цепь.

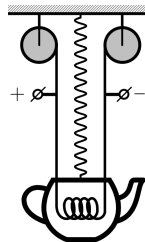


Хулиган Даниэль поцарапал рельсы булавкой в некоторой точке L от старта, из-за чего их сопротивление в этом месте существенно возросло. Скорость машинки стала минимальной в точке 6 м.

Даниэль на этом не остановился и так же повредил рельсы на расстоянии $2L$, в результате чего точка минимальной скорости оказалась на отметке 5,2 м. Наконец, он отошёл на $4L$ и повторил акт вандализма три раза почти в одном месте. Определите расположение новой точки минимальной скорости.

Замечание. Считайте, что Даниэль царапает рельсы всегда одним и тем же образом, все расстояния отложены по часовой стрелке от точки старта, а скорость машины пропорциональна мощности двигателя.

20.48. Развлекаясь с набором «Юный электрик», Вася собрал следующую схему: кипятильник, помещённый в чайник, подключил к двум длинным тонким проводам, каждый из которых намотал на катушку. Решив, что схема слишком проста, Вася подвесил чайник к потолку на пружине, а провода подключил к скользящим клеммам источника тока, размещённым на одной высоте (см. рисунок). Налив воду в чайник и замкнув цепь, он начал на-



блюдать за процессом кипения. Когда в чайнике было 2 л, она выкипала со скоростью 1 мл/с. Когда в нём остался 1 л — со скоростью 2,25 мл/с. С какой скоростью вода будет выкипать, когда останется 0,5 л?

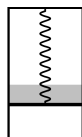
10 класс

20.49. В наборе «Юный электрик» Вася нашёл моторчик, три одинаковые батарейки и набор проводов. Перепробовав все возможные варианты подключения батареек к моторчику, он выбрал тот, при котором мощность моторчика максимальна — 15 Вт.

Вскоре Вася обнаружил, что батарейки постепенно садятся. Желая, чтобы мощность моторчика всё время была максимальной, он пересобрал схему ровно в тот момент, когда оптимальная конструкция поменялась. Затем пришлось это сделать ещё раз. Какой будет мощность моторчика сразу после второй пересборки?

Замечание. Сопротивление моторчика — 60 Ом, начальное сопротивление батарейки — 20 Ом. Внутреннее сопротивление батарейки увеличивалось пропорционально прошедшему через неё заряду, ЭДС батарейки неизменна.

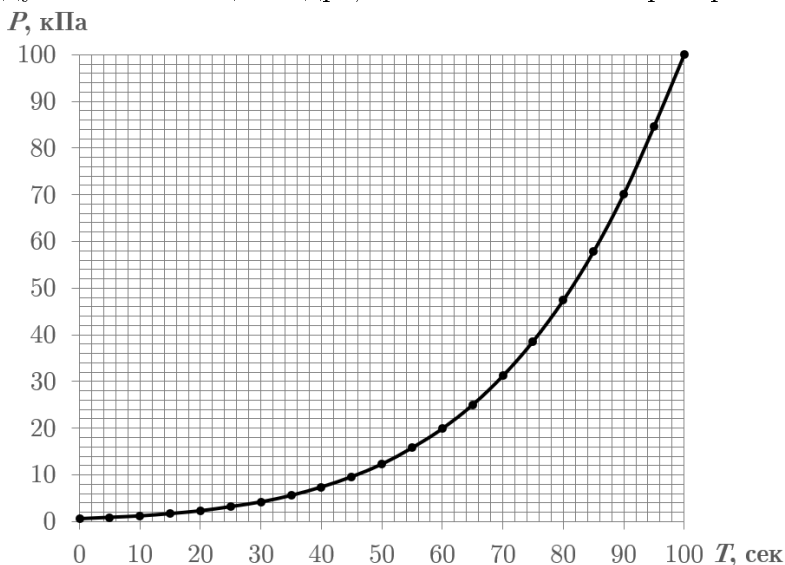
20.50. Вертикальный цилиндр закрыт снизу поршнем массой 1 кг, прикреплённым пружиной с начальной длиной 90 см к верхней стенке цилиндра. Затем в цилиндр налили 500 мг воды. Когда система пришла в равновесие, установилась температура 40°C. Длина пружины стала равной 1 м.



К системе подключили нагреватель. Найдите длины пружины при температуре 50°C и при температуре 70°C. Площадь поршня равна 50 см².

Замечание. График зависимости давления насыщенного пара от температуры представлен на рисунке в

начале следующей страницы. Опыт проводится в вакууме: воздуха нет как в цилиндре, так и во внешнем пространстве.



20.51. Пружина жёсткостью 600 Н/м прикреплена к стене. К ней по гладкому полу со скоростью 2,3 м/с приближается тележка. У её левого края лежит грузик. На сколько сожмётся пружина, когда тележка в неё ударится?



Замечание. Масса тележки — 5 кг, масса грузика — 1 кг. Коэффициент трения между грузиком и тележкой $\mu = 0,5$. Длина пружины — 50 см, длина тележки — 40 см. Размер грузика много меньше размера тележки.

20.52. На далёкой холодной планете идут дожди из жидкого метана. В один из дождливых дней исследователи вынесли на поверхность сверхточные весы и поставили на них открытый сосуд. Через некоторое время, весы показывали значение 0,123240 Н. Сосуд быстро убрали под крышу, снова взвесили, весы показали 0,116100 Н. Вскоре дождь усилил-

ся. Сосуд с весами вновь вынесли наружу. Теперь результат оказался 0,13752 Н.

Всё это время под дождём стояло ведро. Вначале в нём уровень метана нарастал со скоростью 1 мм/мин, а в конце — со скоростью 2 мм/мин. Во сколько раз изменилось количество капель в единице объёма воздуха, когда дождь усилился?

Замечание. Ускорение свободного падения — $1,350 \text{ м/с}^2$, плотность жидкого метана — $420,0 \text{ кг/м}^3$. Сосуд и ведро цилиндрические, площади их оснований равны 100 см^2 и 200 см^2 соответственно. Сила сопротивления воздуха пропорциональна скорости тела и площади его поверхности, капли шарообразные, падают с большой высоты.

20.53. На день рождения экспериментатору Глюку подали цилиндрический сосуд с теплоизолирующими стенками, разделённый на две части свободно движущимся поршнем. Как только праздник закончился, Глюк побежал в лабораторию, где накачал в обе части сосуда некоторое (не одинаковое) количество гелия из воздушных шариков. Дождавшись, пока давление в обеих частях уравниется, Глюк медленно нагрел газ в правой половине до температуры T_1 , а в левой — до T_2 . Экспериментатор обнаружил, что поршень медленно движется со скоростью v . Через некоторое время газ в левой части нагрелся до температуры T_3 , а в правой остыл до T_4 . С какой скоростью в этот момент двигается поршень?

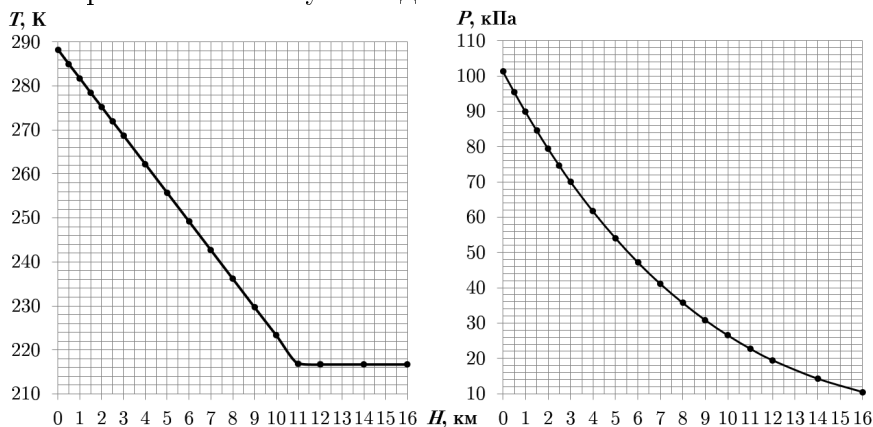
Замечание. Мощность теплопередачи через поршень невелика и пропорциональна разности температур; цилиндр теплоизолирован идеально.

11 класс

20.54. Вдохновившись романом Жюль Верна «Таинственный остров», Пашка Гераскин соорудил небольшой воздушный шар. Для нагревания воздуха в шаре он использовал горелку из школьной лаборатории. В качестве пробного по-

лёта Пашка запустил шар около самой земли и обнаружил, что для этого хватает трети максимальной мощности горелки. При этом температура воздуха в шаре оказалась на 40°C выше температуры окружающего воздуха.

Попросив на метеостанции данные о зависимости давления и температуры от высоты (см. графики ниже), он решил рассчитать, на какую же максимальную высоту сможет подняться шар. Помогите ему это сделать.



Замечание. Теплотери пропорциональны разности температур воздуха внутри и снаружи шара, нагреванием шара Солнцем можно пренебречь.

20.55. На профиле «Экспериментальная физика» в лагере «Формула Единства» ребята собрали простенькую тепловую машину: взяли металлическую трубу, один конец закупорили, а в другой вставили поршень. Цикл тепловой машины состоит из следующих этапов:

- 1) Цилиндр подносят к нагревателю, а поршень фиксируют на месте.
- 2) К поршню прикладывают силу F . Газ нагревается и расширяется, пока его температура не сравнится с температурой нагревателя.

- 3) Убрав нагреватель, снова фиксируют объём и ждут, пока давление внутри не станет равным атмосферному.
- 4) Отпускают поршень, давая газу охладиться до температуры окружающего воздуха.

Пункт А. Может ли КПД такой машины быть больше 60%?

Пункт Б. Оцените (с точностью до 5%), при какой силе F КПД будет максимальным.

Пункт В. Чему равен этот КПД?

Замечание. Площадь поршня — $0,1 \text{ м}^2$. Температура воздуха — 300 К , температура нагревателя — 1200 К . Воздух считайте идеальным двухатомным газом.

20.56. Одной тихой сентябрьской ночью юноша шёл на свидание через поле. Стоял густой туман. Проходя мимо станции, он заметил, что её огни видны со 150 метров, хотя в ясную ночь он мог их разглядеть с 1200 метров. С какого расстояния девушка увидит фонарь юноши в тумане, если в ясную ночь его видно со 100 метров?

20.57. На боевых учениях два морских пехотинца сидят на плоту из пробкового дерева. Один из них стреляет с кормы из автомата, делая по 2 выстрела в секунду. У плота устанавливается средняя скорость $0,6 \text{ м/с}$. С берега на плот прыгает их товарищ. Он прыгает, когда до плота остаётся $1,12 \text{ м}$, прыжок занимает $0,2 \text{ с}$. Скорость плота становится равной $0,8 \text{ м/с}$. После этого стрельба прекращается. Какое расстояние пройдёт плот, прежде чем остановится?

Замечание. Масса третьего пехотинца — 80 кг , масса пули — 5 г , скорость пули — 600 м/с . Сила сопротивления воды пропорциональна скорости лодки.

20.58. Между двумя горизонтальными диэлектрическими пластинами помещён газ, состоящий из смеси нейтраль-

ных атомов и положительно заряженных ионов. Катионы равномерно распределены между пластинами, плотность заряда ρ . Сквозь газ горизонтально летит шарик зарядом q и массой m с постоянной скоростью v .

Пункт А. Определите расстояние между шариком и нижней пластиной.

В результате отклонения шарик приобрёл маленькую вертикальную скорость и стал описывать волнообразную траекторию.

Пункт Б. Определите длину этой волны.

Замечание. Расстояние между пластинами — d , ускорение свободного падения — g , силой трения пренебрегите.

Химия

Отборочный этап

8 класс

20.59. [30 × 1,5 = 45 баллов] Петя, гуляя по просторам интернета, просматривал многочисленные ролики, демонстрирующие химические опыты. Несмотря на большое разнообразие красочных реакций, Петя выделил 3 похожие, в которых экспериментатор получал осадки. В каждом опыте экспериментатор брал раствор соли и смешивал его с раствором щёлочи (NaOH). Петя решил записать увиденные данные в таблицу (см. табл. справа).

Соль	Цвет осадка
CuCl_2	Голубой
NiCl_2	Зелёный
MnCl_2	Светло-розовый

Пете было очень интересно узнать, что объединяет эти реакции, поэтому он незамедлительно отправился искать ответы в учебниках по химии. Оказалось, что все три реакции относятся к реакциям ионного обмена. Признаками протекания таких реакций являются выделение не только осадков, но и газов, либо слабых электролитов (в частности воды).

Пункт 1. Владея данной информацией, Петя без труда написал три уравнения, описывающие данные реакции. Напишите их и вы.

Петя понял, что хотел бы провести некоторые реакции ионного обмена самостоятельно, поэтому он отправился к своему учителю по химии. Учитель с радостью принял своего ученика и выдал соответствующие реактивы с инструкцией по их последовательному смешению.

Сперва Петя растворил 23,94 г безводного сульфата меди в 300 мл воды.

Пункт 2. Рассчитайте массовую долю соли в полученном растворе.

Затем он упаривал раствор, пока его масса не стала равной 233,26 г.

Пункт 3. Посчитайте, на сколько процентов при этом изменилась массовая доля соли в растворе.

К получившемуся раствору Петя последовательно прилил 108,4 г 18% раствора сульфида натрия ($\rho = 1,2140$ г/мл), затем 12,73 мл 20% раствора поваренной соли ($\rho = 1,1478$ г/мл) и, наконец, 88,66 мл 60% раствора нитрата серебра ($\rho = 1,9160$ г/мл).

Пункт 4. Помогите Пете понять, какие химические реакции произошли при последовательном смешении растворов. Запишите их, а также рассчитайте концентрации ионов (моль/л) в получившемся растворе и массовые доли веществ, образующих осадок, если таковой имеется.

Пункт 5. Рассчитайте, какой объём раствора поваренной соли необходимо дополнительно добавить к получившемуся раствору, чтобы полностью осадить все возможные ионы из раствора.

После добавки раствора поваренной соли рассчитанного объёма осадок отфильтровали. Фильтрат поместили в тигель, выпарили досуха, а затем прокалили при 400°C . Выделившийся при этом газ **X** собрали в специальный газометр.

Пункт 6. Определите выделившийся газ **X** и его объём (ст.у).

Замечание. Растворимостью осадков, в том числе малорастворимых, можно пренебречь. Все реакции протекают количественно. Плотность воды принять 1 г/мл. Вклад кристаллизационной воды в общий объём раствора можно не учитывать.

(А. В. Калинин)

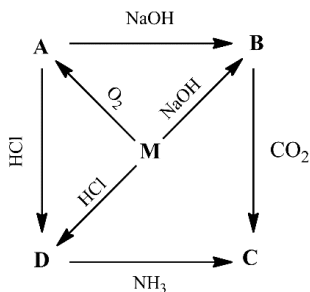
20.60. [30 × 1,5 = 45 баллов] Некоторые элементы способны образовывать амфотерные соединения. Под амфотерностью в химии понимается способность веществ реагировать как с кислотами, так и с основаниями.

Пункт 1. Приведите один пример амфотерного оксида и две реакции (с любой кислотой и с основанием), подтверждающие его свойства (указывайте, используете вы растворы или твёрдые чистые вещества).

Если к раствору соли **X** прилить раствор щёлочи, то выпадает осадок. При дальнейшем добавлении щёлочи осадок растворяется.

Пункт 2. Возможна ли такая ситуация? Если да, то какая именно соль **X** может быть использована?

На схеме приведены превращения соединений, имеющих в своём составе металл **M**. Данный металл применяется при легировании сплавов, при этом значительно повышаются твёрдость, прочность и коррозионная стойкость материала. Известно, что при реакции **M** с кислородом масса исходной навески увеличивается в 2,78 раза. **B** содержит 7,32% **M** и 52,03% кислорода, координационное число центрального атома равно 4. **C** — белый осадок, из 10 граммов **D** образуется 5,38 граммов **C**.



Пункт 3. Определите **M**, вещества **A** — **D**, приведите уравнения всех 7 реакций, зашифрованных на схеме. Для вещества **B** определите все степени окисления образующих его элементов. Считайте, что все реакции (за исключением перехода **M** в **A**) протекают в водных растворах.

Пункт 4. Металл **M** также применяется в ядерной энергетике. Опишите его роль.

Металл **М** может реагировать с концентрированным раствором фторида аммония, образующееся вещество **Е** по своей структуре похоже на **В**.

Пункт 5. Учитывая, что данная реакция является ОВР, определите окислитель.

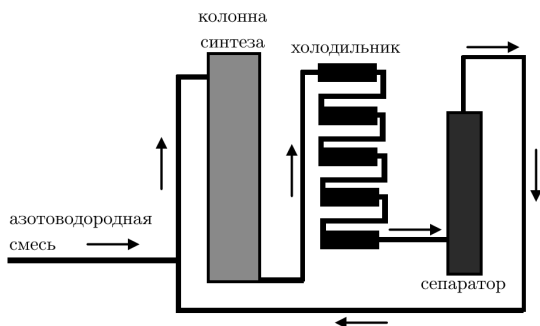
При разложении **Е** при высокой температуре образуется фторид аммония и бинарное соединение **Г**, массовая доля фтора в нём 80,85%.

Пункт 6. Определите вещества **Е**, **Г**, приведите уравнения реакций.
(*Р. А. Попов*)

20.61. [30 × 1,2 = 36 баллов] Аммиак относится к числу важнейших продуктов химической промышленности, ежегодное его мировое производство превышает 180 млн тонн. Он используется для производства азотных удобрений, взрывчатых веществ, азотной кислоты, аминов, а также различных полимерных соединений. В медицине 10% водный раствор аммиака, чаще называемый нашатырным спиртом, применяется для вывода человека из обморочных состояний. Чаще всего в промышленности аммиак синтезируют из составляющих его элементов — азота и водорода, при этом реакция катализируется оксидами алюминия, калия и кальция (процесс Габера-Боша).

Рассмотрите схему промышленной установки для получения аммиака. Стрелками показано движение реакционной газовой смеси, при этом она проходит через такие

важные узлы, как колонна синтеза, холодильник и сепаратор.



Синтез осуществляется в толстостенных металлических колоннах при давлении газов в 350 атм и температуре 500°C, что обеспечивает выход около 30%. На схеме видно, что колонна синтеза и холодильник (конденсатор) соединены друг с другом, при этом образуется замкнутая система.

Пункт 1. Как получают водород и азот, используемые в синтезе аммиака?

Пункт 2. Напишите уравнения реакции синтеза и разложения аммиака. Почему в реакционной смеси остаются непрореагировавшие исходные газы? Почему установка образует замкнутую систему, а газовая смесь каждый раз возвращается в начало установки? В какой части происходит вывод продукта реакции из системы?

Пункт 3. Опишите роль холодильника, зачем реакционная смесь подаётся из холодильника в колонну? Для чего служит сепаратор?

Пункт 4. Известно, что с повышением давления этой реакции увеличивается и её выход, однако на практике не используют давление выше 350 атм. Почему?

Пункт 5. Известно, что повышение температуры приводит к увеличению скорости любой реакции. Объясните почему?

Пункт 6. Напишите уравнение реакции синтеза нитрата аммония из аммиака и азотной кислоты. Для синтеза аммиака использовали 500 л азота, при этом выход реакции составил 25%. Полученный аммиак пустили на синтез нитрата аммония, найдите массу получившейся соли.

(И. П. Филиппов)

20.62. [30 × 1 = 30 баллов] Валентность — это способность атомов химических элементов образовывать определённое число химических связей, а также название самого числа таких связей.

При записи молекулярной формулы мы не видим информации о том, как именно атомы связаны друг с другом. Особенно эта проблема актуальна для органической химии, но и в случае неорганических веществ зачастую очень полезно знать, какое именно у них строение. Для отображения такой информации химики используют структурные формулы: у каждого элемента определяется его возможная валентность в соединении, а далее составляется структурная формула по аналогии с конструктором «Лего».

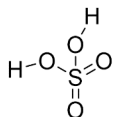
Например, молекуле серной кислоты

H—	—O—	
H—	—O—	
	—O—	
	—O—	

соответствует молекулярная формула

H_2SO_4 . Выпишем (см. рис.) отдельно все атомы, из которых она состоит (будем указывать «палочками», или валентными штрихами, валентности каждого атома).

Далее соберём атомы в молекулу так, чтобы валентность каждого атома не нарушалась. При этом единственным возможным вариантом окажется структурная формула, как на рисунке справа.



Даны следующие наборы элементов, которые вам предстоит превратить в структурные формулы:

Пункт 1. один атом хлора, один — водорода, три — кислорода;

Пункт 2. два атома углерода, два — водорода, четыре — кислорода;

Пункт 3. три атома водорода, один — мышьяка, четыре — кислорода;

Пункт 4. два атома натрия, два — серы, три — кислорода;

Пункт 5. два атома азота, один — углерода, один — кислорода, два — водорода*;

*В этом задании допущена опечатка — водородов должно быть 4.

Пункт 6. по одному атому водорода, серы, углерода и азота;

Пункт 7. два атома водорода, шесть — серы;

Пункт 8. семь атомов водорода, пять — фосфора, шестнадцать — кислорода.

Дополнительные задания:

Пункт 9. У веществ 1–5 расставьте степени окисления для каждого элемента.

Пункт 10. Назовите вещества 1–5.

Пункт 11. Молекулярную формулу для набора атомов из пункта 5 можно записать двумя способами. Значит ли это, что можно собрать две разные молекулы? Если ответ — «да», расставьте в каждой из двух молекулярных формул соответствующие степени окисления, назовите оба вещества и изобразите для них структурные формулы.

Пункт 12. Напишите реакцию взаимодействия вещества 1 с цинком.

Пункт 13. Сколько s-орбиталей в одной молекуле, собранной из атомов набора из пункта 6?

(В. А. Дмитриев)

9 класс

20.63. [30 × 1 = 30 баллов] Петя, гуляя по просторам интернета, просматривал многочисленные ролики, демонстрирующие химические опыты. Несмотря на большое разнообразие красочных реакций, Петя выделил 3 похожие, в которых экспериментатор получал осадки. В каждом опыте экспериментатор брал раствор соли и смешивал его с раствором щёлочи (NaOH). Петя решил записать увиденные данные в таблицу (см. табл. справа).

Соль	Цвет осадка
CuCl ₂	Голубой
NiCl ₂	Зелёный
MnCl ₂	Светло-розовый

Пете было очень интересно узнать, что объединяет эти реакции, поэтому он незамедлительно отправился искать ответы в учебниках по химии. Оказалось, что все три реакции относятся к реакциям ионного обмена. Признаками протекания таких реакций являются выделение не только осадков, но и газов, либо слабых электролитов (в частности воды).

Пункт 1. Владея данной информацией, Петя без труда написал три уравнения, описывающие реакции трёх солей, приведённых в таблице, с раствором каустической соды. Напишите их и вы.

Петя понял, что хотел бы провести некоторые реакции ионного обмена самостоятельно, поэтому он отправился к своему учителю по химии. Учитель с радостью принял своего ученика и выдал соответствующие реактивы с инструкцией по их последовательному смешению.

Сперва Петя растворил 37,44 г медного купороса в 300 мл воды.

Пункт 2. Рассчитайте массовую долю сульфата меди в полученном растворе.

Затем он упаривал раствор, пока его масса не стала равной 233,26 г.

Пункт 3. На сколько при этом изменилась массовая доля соли в растворе?

К получившемуся раствору Петя прилил 108,4 г 18% раствора сульфида натрия ($\rho = 1,2140$ г/мл), затем 12,73 мл 3,928 М раствора поваренной соли и, наконец, 88,66 мл 60% раствора нитрата серебра ($\rho = 1,9160$ г/мл).

Пункт 4. Помогите Пете понять, какие химические реакции произошли при последовательном смешении растворов. Запишите их, а также рассчитайте концентрации ионов (моль/л) в получившемся растворе и массовые доли веществ, образующих осадок, если таковой имеется.

Пункт 5. Рассчитайте, какой объём раствора поваренной соли необходимо дополнительно добавить к получившемуся раствору, чтобы полностью осадить все возможные ионы из раствора.

После добавки раствора поваренной соли рассчитанного объёма осадок отфильтровали. Фильтрат поместили в тигель, выпарили досуха, а затем прокалили при 400°C . Выделившийся при этом газ **X** собрали в специальный газометр. Осадок растворили в избытке горячей концентрированной азотной кислоты. 75% объёма выделившегося бурого газа **Y** поместили в тот же газометр. После чего данную газовую смесь пробарботировали через 250 мл воды.

Пункт 6. Определите выделившиеся газы **X** и **Y**. Рассчитайте состав раствора (в молярных концентрациях), полученного после барботирования.

Замечание. Растворимостью осадков, в том числе малорастворимых, можно пренебречь. Все реакции протекают количественно. Плотность воды примите за 1 г/мл. Вклад кристаллизационной воды в общий объём раствора можно не учитывать. (А. В. Калининцев)

20.64. [$30 \times 1 = 30$ баллов] *Смотри задачу 20.60.*

20.65. [$30 \times 1,5 = 45$ баллов] При реакции простого вещества **X** с фтором могут образоваться бинарные соединения **A** и **B** в зависимости от соотношения реагентов. В соединении **A** массовая доля **X** равна 21,9%, при реакции соединения **B** с парами воды образуется смесь газов с плотностью по воздуху, равной 0,993, и объёмной долей одного из газов 80%.

Пункт 1. Определите соединения **A** и **B**, их состав подтвердите расчётом, приведите уравнения реакций их получения, а также реакцию **B** с парами воды.

Весьма занимательный эксперимент можно провести с использованием газа **A**. Если наполнить им какую-либо ёмкость, например, аквариум, и поместить сверху довольно лёгкий предмет, например, лодочку из фольги, то такая лодочка не будет опускаться на дно аквариума, а останется «парить в воздухе».

Пункт 2. Объясните данный эксперимент. Рассчитайте плотность газа **A** (г/л) при температуре 30°C и давлении 1 атм. Можно ли использовать другие газы для этого эксперимента? Приведите пример такого газа (помните, что газы не могут быть ядовитыми или взрывоопасными в целях выполнения норм техники безопасности).

Реакция **X** с хлором приводит к соединениям **C** и **D**, при этом плотность паров **C** при давлении 1 атм и температуре 70°C равна 3,66 г/л. Массовая доля **X** в **D** на 17,77% больше, чем в **B**. Известно, что в **D** присутствует связь **X–X**, при этом **D** может существовать в виде двух изомеров.

Пункт 3. Определите состав соединений **C** и **D**, изобразите изомерные формы **D**.

При –78°C **C** может вступить в реакцию с эквимольным количеством хлора, при этом образуется неустойчивое соединение **E**. Стабилизировать его можно добавлением хлорида алюминия. Получающийся аддукт **F** с массовой долей хлора 80,8% имеет ионное строение.

Пункт 4. Установите строение вещества **E** и аддукта **F**, из каких ионов он состоит? (Р. А. Попов)

Справочные материалы:

- Идеальные газы подчиняются уравнению Менделеева-Клапейрона: $pV = \nu RT$, где R — универсальная газовая постоянная, равная $8,314 \frac{\text{м}^3 \cdot \text{Па}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$, T — абсолютная температура в кельвинах.
- 1 атм = 101325 Па.

20.66. [30 × 2 = 60 баллов] Элемент **X** входит в состав соединения **A** — ядовитого газа, являющегося стабильным радикалом. При растворении **A** в воде образуются две одноосновные кислоты в соотношении 1 : 1. На нейтрализацию раствора, полученного из 10 г **A**, требуется 37 г 16% раствора NaOH, при этом образуются соли **B** и **C**. Известно, что массовая доля **X** в **A** равна 52,59%. Соль **B** можно получить и при взаимодействии простого вещества **X** с горячим раствором щёлочи.

Пункт 1. Определите **X**, **A** — **C**, их состав подтвердите расчётом. Приведите уравнения четырёх реакций, описанных в условии. Для каких целей применяется **A**, чем это обусловлено?

В лабораторных условиях **A** получают взаимодействием соли **B** с щавелевой кислотой в присутствии серной кислоты.

Пункт 2. Приведите уравнение данной реакции. С кислородом газ **A** не реагирует, но при взаимодействии с озоном образуется жидкость **D**. При этом **D** также является радикалом, который склонен к образованию димера (**D**₂).

Пункт 3. Определите **D** и **D**₂, приведите реакцию образования **D**, если известно, что число молекул в ходе этой реакции не изменяется. Приведите структурную формулу жидкого **D**₂.

Пункт 4. На основании табличных данных (см. справа) рассчитайте тепловой эффект реакции взаимодействия одного моля **A** с HCl с образованием **X** и воды.

Вещество	ΔH_f° , кДж/моль
A _(г)	102,6
HCl _(г)	−92,3
H ₂ O _(г)	−241,8

Элемент **X** также входит в состав газа **E**, плотность его паров 3,88 г/л (при н.у.), при растворении в воде образует соединение **F**.

Пункт 5. Определите **Е**, **Ф**. Является ли вещество **Ф** сильным или слабым электролитом? Качественно оцените, как изменится водородный показатель (рН) воды при растворении в ней **Е**. (Р. А. Попов)

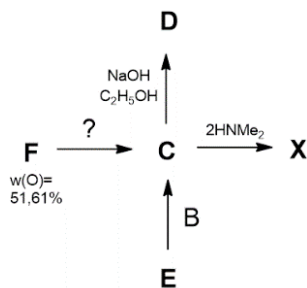
10 класс

20.67. [50 × 1,2 = 60 баллов] В алкане **А** массовая доля углерода на 69,02% больше массовой доли водорода.

Пункт 1. Определите молекулярную формулу алкана **А**.

Ознакомьтесь со схемой, представленной справа.

Вещество **С** является прекурсором в синтезе очень популярного органического реагента **Х**. Вещество **С** можно получить прямым взаимодействием вещества **Е** с **В**. Известно, что $Mr(\mathbf{A})$ в 1,127 раз меньше, чем $Mr(\mathbf{B})$. При обработке щёлочью в спиртовом растворе молекулы **С** образуется углеводород **Д**, при этом $Mr(\mathbf{D})$ в 7,23 раза меньше $Mr(\mathbf{C})$. **Ф** представляет собой вязкую ядовитую жидкость, сладковатую на вкус и содержит 51,61% кислорода по массе.

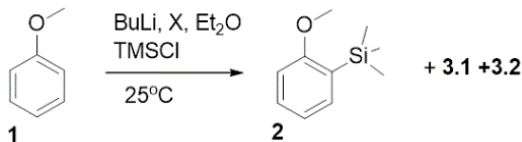


Пункт 2. Расшифруйте схему превращений. Укажите структурные формулы веществ **С** — **Ф**, **Х** (5 соединений). С помощью каких реагентов можно превратить **Ф** в **С**? Назовите вещество **Х**, какой аббревиатурой его принято обозначать?

Х широко используется в качестве лиганда для катионов металлов — так, с помощью **Х** можно значительно повысить растворимость CuI , ZnCl_2 в органических растворителях. Популярной парой является сочетание $\text{BuLi}/\mathbf{X}$. BuLi приобретает повышенную активность в присутствии **Х**.

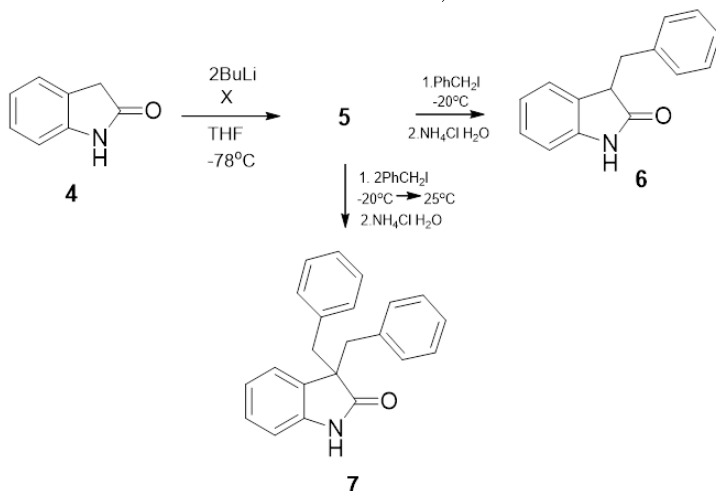
Пункт 3. Объясните, с чем это связано.

Пункт 4. Рассмотрите схему ниже, напишите стадии данной реакции, при этом учитывайте, что BuLi является очень сильным основанием. Что зашифровано под номерами **3.1** и **3.2**?



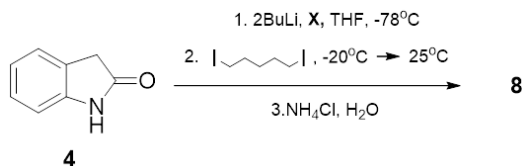
Система BuLi/**X** оказалась очень эффективным инструментом для проведения реакции алкилирования индолинона (**4**). Особенностью данной реакции являются высокий выход, отсутствие продуктов алкилирования по атому азота или кислорода.

При обработке индолинона (**4**) избытком BuLi в присутствии **X** образуется дианион (**5**), который далее реагирует с соответствующим алкилиодидом. После обработки реакционной смеси водным раствором хлорида аммония образуются продукты **6** или **7** (в зависимости от того, в каком соотношении были взяты реагирующие вещества).



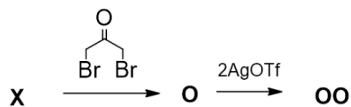
Пункт 5. Изобразите дианион (**5**) — структурную формулу. По какому механизму дианион (**5**) вступает в реакцию с бензилиодидом? Зачем необходимо обрабатывать реакционную смесь раствором хлорида аммония для получения конечного продукта?

Пункт 6. Ознакомьтесь со схемой ниже и определите продукт номер **8**.



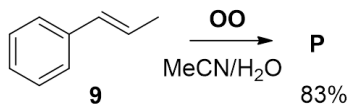
Из вещества **X** легко можно получить другой, очень полезный реагент **ОО**.

Пункт 7. Расшифруйте схему справа, определите структурные формулы веществ **O** и **ОО**



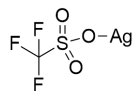
(учитывайте, что на первой стадии образуется дикатион **O**, а вторая представляет собой обменную реакцию).

ОО является эффективным эпоксидирующим реагентом. Так, например, при эпоксировании олефина (**9**) удаётся получить продукт **P** с очень хорошим выходом (см. рис. справа).

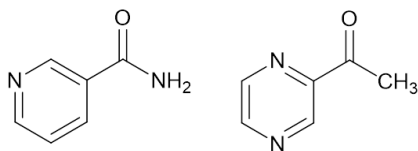


Пункт 8. Изобразите структурную формулу продукта **P**. Учитывайте, что реакция идёт стереоспецифично, по аналогии с реакцией эпоксициклования пероксикислотами (учитывайте конфигурацию стереоцентров при записи ответа).

Замечание. AgOTf — это соль трифторметансульфоновой кислоты (см. структурную формулу на рис. справа). (*В. А. Дмитриев*)



20.68. [35 × 1,2 = 42 балла] Возможность веществ с одним и тем же составом иметь различное строение или различное расположение атомов в пространстве — изомерия — крайне важно в органической химии. Так, например, одна и та же молекулярная формула $C_6H_6N_2O$ соответствует и никотинамиду (витамин РР) и ацетилпиразину (ароматизатор «орех»):



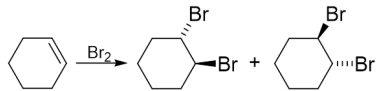
Никотинамид Ацетилпиразин

Пункт 1. Нарисуйте структурные изомеры состава C_5H_8 , которые могут присоединять водород, в которых есть:

- 1) 1 или 2 *sp*-гибридных атома С (минимум 5 изомеров);
- 2) две двойные связи (минимум 3 изомера);
- 3) не имеют кратных связей (минимум 2 изомера).

Изомеры не должны повторяться.

Присоединение электрофила к двойной связи бывает двух типов: *син*-присоединение и *анти*-присоединение. Бромирование является примером анти-присоединения (клиновидная связь идёт от плоскости рисунка, штрихованная — за плоскость). Обратите внимание (см. рис.), что при этом получаются два энантиомера (вещества являются зеркальным отражением друг друга, но наложить молекулы друг на друга так, чтобы они совпали — нельзя).



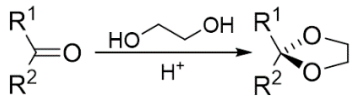
При сжигании 10,00 г углеводорода **A** в избытке кислорода образуется смесь газов. Если её пропустить через безводный $CaCl_2$, масса газов уменьшится на 10,00 г.

Пункт 2. Определите молекулярную формулу **A**.

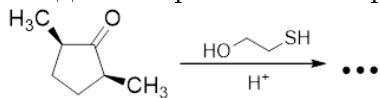
При озонировании **A** и дальнейшей обработке водным раствором перекиси водорода, образуется только одно вещество. Если представить все атомы углерода молекулы **A** в одной плоскости, через молекулу можно будет провести три плоскости симметрии.

Пункт 3. Определите структурную формулу **A**, напишите уравнение реакции озонирования. Изобразите все изомеры, получающиеся при взаимодействии **A** с избытком бромной воды. Какие из них являются оптическими?

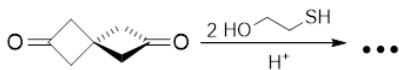
Чтобы связь $C=O$ в сложных соединениях не подвергалась побочным реакциям в различных процессах, её вводят во взаимодействие с диолами, получая ацетальные фрагменты.



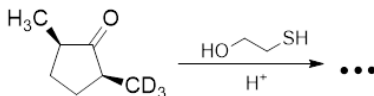
Пункт 4. Изобразите все изомеры, которые могли бы получиться в реакциях 1, 2 (см. ниже). Какие из них являются оптическими? Изобразите все возможные изомеры, которые могут получиться в ходе реакций 3, 4. К каждому из них дополнительно нарисуйте оптический изомер. Считайте, что в каждом случае меркаптоэтанол берётся в избытке и свободных карбонильных групп не остаётся.



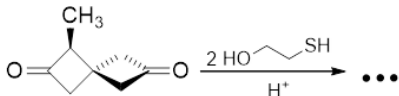
Реакция 1



Реакция 2



Реакция 3



Реакция 4

(А. В. Булдаков)

20.69. [35 × 1 = 35 баллов] Координационная химия — это химия веществ, в которых одна или более химических

связей образованы по донорно-акцепторному механизму. Это приводит к тому, что часто состав таких веществ не соответствует формальной степени окисления элементов, из которых они состоят. Изучение координационных соединений началось, в том числе, с продуктов реакций, полученных посредством взаимодействия хлорида кобальта (III) и аммиака. Исследователи того времени смогли доказать наличие трёх разных веществ обработкой избытком нитрата серебра. Интересным для них оказалось то, что при действии нитрата серебра на эти вещества осаждались разные количества осадка:



Пункт 1. Объясните это явление, не используя структурные формулы. Напишите и уравняйте эти реакции.

Альфред Вернер — пионер координационной химии — предполагал, что фрагменты веществ **A**, **B** и **C**, которые содержат атом металла, должны иметь строение, соответствующее правильной геометрической фигуре, в качестве которой он предполагал следующие:



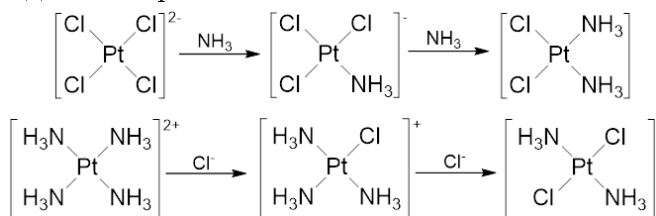
октаэдр тригональная призма шестиугольник

Независимо от способа получения, вещество **A** всегда было жёлтого цвета, а **B** — фиолетового, но формуле **C**, в зависимости от способа синтеза, соответствовали два соединения: лиловое (**C**¹) и зелёное (**C**²).

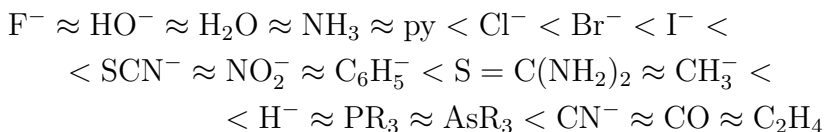
Пункт 2. На основании этого факта предположите, какую геометрию должны иметь металлосодержащие фрагменты в веществах **A**, **B**, **C**¹ и **C**², ответ аргументи-

руйте графически. Предложите структурные формулы этих веществ.

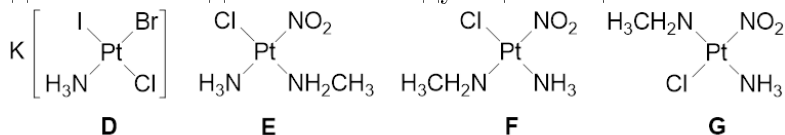
Со временем были открыты и изучены соединения, имеющие плоскоквадратную геометрию, например, *цис*- и *транс*-дихлордиамминплатина(II). Как оказалось, эти два вещества не могут быть синтезированы из одного и того же исходного соединения ввиду так называемого *транс-эффекта* — способности лигандов упрощать замещение других лигандов, которые находятся в транс-положении относительно них:



По способности оказывать транс-эффект лиганды можно расположить в следующий ряд:



Пункт 3. Исходя из представленных данных, предложите методы синтеза следующих веществ:



В качестве исходных веществ, содержащих платину, используйте $\text{K}_2[\text{PtCl}_4]$ или $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4](\text{ClO}_4)_2$. С каким из лигандов, расположенных в ряду усиления транс-эффекта, можно было бы сравнить способность оказывать транс-эффект у метил-амина CH_3NH_2 ? (А. В. Булдаков)

20.70. [40 × 1,1 = 44 балла] Элемент **X** входит в состав соединения **A** — ядовитого газа, являющегося стабильным радикалом. При растворении **A** в воде образуются две одноосновные кислоты в соотношении 1 : 1. На нейтрализацию раствора, полученного из 10 г **A**, требуется 37 г 16% раствора NaOH, при этом образуются соли **B** и **C**. Известно, что массовая доля **X** в **A** равна 52,59%. Соль **B** можно получить и при взаимодействии простого вещества **X** с горячим раствором щёлочи.

Пункт 1. Определите **X**, **A** — **C**, их состав подтвердите расчётом. Приведите уравнения четырёх реакций, описанных в условии. Для каких целей применяется **A**, чем это обусловлено?

В лабораторных условиях **A** получают взаимодействием соли **B** с щавелевой кислотой в присутствии серной кислоты.

Пункт 2. Приведите уравнение описанной реакции.

С кислородом газ **A** не реагирует, но при взаимодействии с озоном образуется жидкость **D**. При этом **D** также является радикалом, который склонен к образованию димера (**D**₂).

Пункт 3. Определите **D** и **D**₂, приведите реакцию образования **D**, если известно, что число молекул в ходе этой реакции не изменяется. Приведите структурную формулу жидкого **D**₂.

Пункт 4. Рассчитайте тепловой эффект реакции взаимодействия одного моль **A** с HCl с образованием **X** и воды. Используйте табличные данные в начале следующей страницы. Также выясните, возможна ли обратная реакция в газовой фазе при стандартной температуре. Если нет, то рассчитайте температуру, при которой такая реакция была бы возможной. Оцените реальную осуществимость данного процесса. Примите, что ΔH и ΔS не зависят от температуры.

Вещество	$\Delta H_f^0, \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$	$\Delta S_f^0, \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$
$\text{A}_{(\text{г})}$	102,6	256,7
$\text{HCl}_{(\text{г})}$	-92,3	186,8
$\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$	-241,8	188,7
$\text{Cl}_{2(\text{г})}$	0	223,0

Элемент **X** также входит в состав газа **E**, плотность его паров 3,88 г/л (при н.у.), при растворении в воде образует соединение **F**.

Пункт 5. Определите **E**, **F**, а также константу диссоциации **F**, если при пропускании 268,8 мл **E** через 200 мл воды образуется раствор, в котором степень диссоциации **F** составляет 0,05%. Рассчитайте pH полученного раствора.

(Р. А. Попов)

11 класс

20.71. [30 × 1 = 30 баллов] *Смотри задачу 20.67.*

20.72. [35 × 1 = 35 баллов] *Смотри задачу 20.68.*

20.73. [30 × 1,5 = 45 баллов] Ионоселективные электроды (ИСЭ) — сенсоры, которые преобразуют информацию о содержании иона аналита в электрохимический аналитический сигнал. При этом основополагающим для формирования отклика ИСЭ является наличие термодинамического равновесия между водной фазой образца (aq) и фазой сенсора (m). С точки зрения физической химии такое равновесие может быть описано равенством электрохимических потенциалов ($\tilde{\mu}_i^\alpha$) в двух рассматриваемых фазах:

$$\tilde{\mu}_i^\alpha = \mu_i^{o\alpha} + RT \ln a_i^\alpha + z_i F \varphi^\alpha,$$

где $\mu_i^{o\alpha}$ — стандартный химический потенциал i -й частицы в фазе α , a_i^α — активность i -й частицы в фазе α , φ^α — внутренний потенциал фазы α как таковой, z_i — заряд i -й части-

цы, R — универсальная газовая постоянная, T — абсолютная температура, $F = 96485 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{В}}$ — постоянная Фарадея.

Пункт 1. Выведите зависимость Гальванического потенциала ($\varphi_b = \varphi^m - \varphi^{aq}$), то есть разности внутренних потенциалов двух фаз, на основании равенства $\tilde{\mu}_i^{aq} = \tilde{\mu}_i^m$ как функцию активностей i -й частицы в двух фазах, принимая во внимание выражение для ионного коэффициента распределения Эйзенмана, равного

$$\ln k_i = -\frac{\mu_i^{om} - \mu_i^{oag}}{RT}.$$

Для возможности использования данного описания для аналитического применения ИСЭ необходимо, чтобы $\varphi_b \neq f(a_m)$. Для этого в состав сенсора добавляют специальное вещество **Ан**, которое задаёт активность a_i в мембранной фазе: $[\mathbf{An}] = a_i^m = \text{const}$.

Пункт 2. Определите, в каких координатах функция $\varphi_b - a_i^{aq}$ будет линейна, то есть будет иметь вид

$$\varphi_b = \varphi_b^o + f(a_i^{aq}),$$

где $\varphi_b^o = \text{const}$. Рассчитайте наклон этой функции при температуре 25°C, если заряд определяемого иона равен

- 1) +1,
- 2) +2.

При построении градуировочного графика Cu^{2+} -ИСЭ были получены следующие результаты э.д.с. ячейки, включающей в себя ИСЭ:

$a_{\text{Cu}^{2+}}, \text{M}$	0,1	0,05	$6 \cdot 10^{-4}$
E, mV	170,4	161,5	104,7

Пункт 3. Определите активность аналита в растворе, если соответствующий потенциал равен 123,0 мВ. Как поведёт себя потенциал, если к раствору, в котором проводится определение, прилить концентрированный раствор сульфида бария?

На практике ИСЭ обычно имеют конечную селективность к мешающему определению иону другого сорта, на который ИСЭ также откликается.

Пункт 4. Используя φ_b , выведите связь активностей определяемого (a_i) и мешающего (a_j) ионов в сенсорной и водной фазах при $z_i = z_j = 1$. Оцените, во сколько раз ионов типа j больше ионов типа i в фазе сенсора, если $k_i = 10^{-4}$, $k_j = 10^{-5}$, $a_i = 0,01$, $a_j = 0,1$.

Замечание. Считайте, что коэффициенты активности равны 1. (А. В. Калининцев)

20.74. [40 × 1 = 40 баллов] *Смотри задачу 20.70.*

Заключительный этап

8 класс

20.75. [10 баллов] Воздух представляет собой смесь газов, образующих атмосферу Земли. В таблице представлены данные об объёмных долях основных компонентов воздуха:

Газ	φ , %
Азот	78,084
Кислород	20,948
Аргон	0,934
Остальные газы	0,034

Пункт 1. Какие газы скрываются под словами «остальные»? Перечислите как минимум 2 газа.

Пункт 2. Пересчитайте объёмные доли в массовые доли для азота, кислорода и аргона, объёмной долей остальных газов пренебрегите.

Пункт 3. Рассчитайте молярную массу воздуха. Атмосфера Венеры также представляет собой смесь газов. Известно, что молярная масса данной смеси в 1,5 раза боль-

ше, чем молярная масса воздуха. Среди основных компонентов атмосферы Венеры всего 2 газа: их также можно найти и в атмосфере Земли.

Пункт 4. Выясните, что это за газы, если известно, что молекула одного газа является трёхатомной, а другого — двухатомной, при этом разница молекулярных масс этих газов равна 16 а.е.м. Определите массовые и объёмные доли газов в смеси.

Венера является самой горячей планетой в Солнечной системе, а средняя температура её поверхности 467°C .

Пункт 5. Объясните, почему это так.

Пункт 6. Посчитайте плотность воздуха Земли и плотность атмосферы Венеры при нормальных условиях, ответ выразите в $\text{кг}/\text{м}^3$.
(В. А. Дмитриев)

20.76. [10 баллов] Для определения содержания углекислого газа в рабочем помещении воздух в течение 42 минут 40 секунд продували через концентрированный раствор гидроксида бария (который был взят в большом избытке) со скоростью $0,05 \text{ л/с}$. В результате образовался белый осадок, который был отделён от раствора, промыт и высушен. Его масса оказалась равна $0,788 \text{ г}$.

Пункт 1. Напишите реакцию, приводящую к образованию осадка.

Пункт 2. Определите по приведённым данным *объёмное* содержание углекислого газа в воздухе, выразите его в процентах и в ppm*.

Пункт 3. Как полученные результаты соотносятся с нормой содержания CO_2 — 400 ppm ? Считайте, что остальные компоненты воздуха с гидроксидом кальция не взаимодействуют, молярный объём равен $22,4 \text{ л/моль}$.

* ppm — одна миллионная доля.

Углекислый газ не относится к ядовитым веществам, однако при значительном содержании в воздухе может вызывать слабость, удушье, потерю сознания. Предельно допустимая концентрация (ПДК) углекислого газа в воздухе рабочего помещения — 1000 ppm.

Лаборант Вася нечаянно опрокинул коробку с пищевой содой в банку с серной кислотой.

Пункт 4. Произойдёт ли превышение ПДК, если в коробке было 168 г соды, кислота находилась в большом избытке, размеры лаборатории $6 \times 5 \times 3$ м? Ответ подтвердите расчётом, считайте, что начальное содержание CO_2 соответствовало норме — 400 ppm.

Замечание. Реакция взаимодействия соды с серной кислотой: $\text{NaHCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NaHSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

(Р. А. Попов)

20.77. [15 баллов] Лаборант Вася получил задание от своего преподавателя — приготовить 280 г 50%-ного раствора поваренной соли. Зайдя в лабораторию, Вася обнаружил, что в электронных весах села батарейка. В поисках источника питания Вася отправился в подсобку.

В подсобке давно никто не убирался, так что найти батарейки было практически невозможно. Однако Васю это не остановило и он продолжал начатое.

Спустя несколько часов безуспешной деятельности Вася совсем отчаялся, как вдруг обнаружил очень древнее устройство. Вася не сразу понял, что это, но, после минуты раздумий, осознал: перед ним рычажные весы.



Найти гири-противовесы не составило проблем, рядом их было три: 30 г, 50 г, 100 г. Стаканов у Васи было предостаточно, так что он без труда отмерил нужное количество навески и приготовил требуемый раствор.

Пункт 1. Опишите все действия Васи.

Васе так понравилось работать с весами, что он решил продолжить эксперименты. Сначала он поставил на рычажные весы два одинаковых стакана. В первый стакан он налил 213,6 мл 25%-ного раствора хлорида алюминия ($\rho = 1,25$ г/мл). Во второй стакан он насыпал 42 г технической каустической соды с содержанием примесей 5%, затем добавил 225 г воды. После этого в первый стакан он прилил 60 г 80%-ного раствора каустической соды, а во второй — 50 мл 22,25%-ного раствора хлорида алюминия ($\rho = 1,20$ г/мл). Он тщательно перемешал растворы в стаканах и в каждый насыпал одинаковое количество карбоната натрия, при этом весы показали разность в 6,6 г.

Пункт 2. Рассчитайте массовую долю поваренной соли в каждом стаканчике.

Пункт 3. Рассчитайте, сколько по массе было добавлено карбоната натрия, если на полную нейтрализацию всех компонентов в первом стакане потребовалось 1,6 моль HCl .

(А. В. Калинин)

20.78. [8 баллов] Ниже приведена таблица, которую Вам необходимо заполнить согласно пунктам 1–5 (число в квадратных скобках рядом с буквой обозначает количество раз, которое данную букву можно использовать).

Название	Формула	Крист. реш.	Темп. плав.	Описание	Номер рис.
Фторид кальция					
Графит					
Оксид серы (VI)					
Иод					
Сера					
Оксид кремния (IV)					
Алмаз					
Натрий					

Пункт 1. Впишите формулу для каждого вещества в соответствующий столбец.

Пункт 2. Впишите для каждого вещества букву соответствующего типа кристаллической решётки:

А [1]: металлическая;

Б [3]: молекулярная;

В [3]: атомная;

Г [1]: ионная.

Пункт 3. Впишите для каждого вещества букву соответствующей температуры плавления:

Д [2]: около 100°C ; **Е** [2]: около 4000°C ;

Ж [2]: больше 1000°C ; **З** [1]: 17°C ; **И** [1]: возгоняется.

Пункт 4. Опишите каждое вещество, вписав в ячейку соответствующую букву:

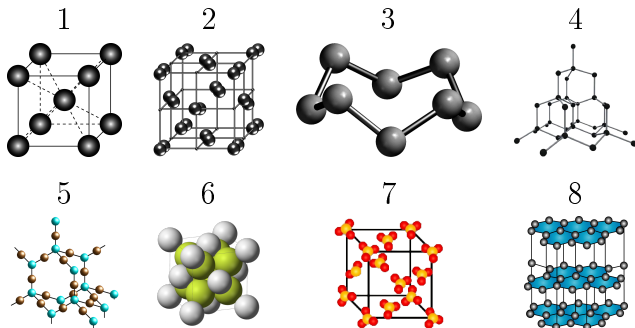
К [4]: твёрдый, хрупкий;

Л [1]: твёрдый, мягкий;

М [2]: твёрдый, прочный;

Н [1]: жидкий.

Пункт 5. Укажите каждому веществу номер его рисунка:



(В. А. Дмитриев)

9 класс

20.79. [10 баллов] *Смотри задачу 20.75.*

20.80. [15 баллов] Как можно количественно описать электролиз? На этот вопрос смог ответить в середине XIX века Майкл Фарадей: он сформулировал два закона электролиза, которые сейчас названы в его честь.

- 1) Первый закон состоит в том, что масса вещества, выделяющегося на электроде, прямо пропорциональна количеству пропущенного электричества ($Q = [Кл]$).
- 2) Второй закон раскрывает эту пропорциональность: для одинакового количества электричества масса вещества, выделяющегося на электроде, прямо пропорциональна отношению молярной массы к числу электронов, участвующих в этой электрохимической реакции. Причём коэффициент пропорциональности называли в честь первооткрывателя постоянной Фарадея, которая равна 96485 Кл/моль.

Выполнение обобщённого закона Фарадея можно наблюдать при электролизе водных растворов солей металлов с различными параметрами проведения:

Опыт	1	2	3	4
Заряд катиона металла, z	2	2	2	1
Сила тока, A	1	1	2	1
Время электролиза, c	60	120	60	60
Кол-во вещества, выдел. на электроде, ммоль	0,311	0,622	0,622	0,622

Пункт 1. На основании формулировки законов электролиза Фарадея или на основании представленных экспериментальных данных выведите уравнение обобщённого закона Фарадея для расчёта массы выделяющегося вещества на электроде в зависимости от силы тока ($I = [A]$) и времени электролиза ($t = [c]$).

В производстве используют гальваностегию — покрытие металлических поверхностей тонким слоем другого металла. Для этого проводят электролиз следующим образом: изделие, которое необходимо покрыть, выступает в качестве катода, а в качестве анода используют растворимый металлический анод, например, хромовый — для хромирования ин-

струментов и механизмов с целью повышения их износостойкости. При этом процесс заключается в переносе металла с анода на катод через образование катиона данного металла в электролите, в котором проводится процесс электролиза.

Для хромирования сверла использовали растворимый хромовый анод ($\rho(\text{Cr}) = 7,19 \text{ г/см}^3$), представляющий собой цилиндр с диаметром 12 мм и высотой 50 мм. При этом электролиз проводили в растворе сульфата хрома (III) с плотностью тока на каждом электроде $i = 0,25 \text{ А/см}^2$ в течение 9,2 минут.

Пункт 2. Опираясь на размерность плотности тока, напишите формулу для её расчёта.

Пункт 3. Напишите катодный и анодный процессы электролиза.

Пункт 4. Рассчитайте, на сколько процентов изменится объём анода в процессе проведения электролиза?

(А. В. Калининцев)

20.81. [10 баллов] *Смотри задачу 20.77.*

20.82. [15 баллов] Для установления компонентного состава, интервалов термической стабильности, чистоты веществ, применяют такой метод анализа, как термогравиметрия (ТГ). В этом методе изменение химических и физических параметров (в первую очередь, массы) регистрируется как функция температуры или времени.

Например, оксид хрома (VI) при нагревании выше 250°C разлагается на оксид хрома (III) и кислород:



Можно показать, что потеря массы образца CrO_3 в температурном интервале $200^\circ\text{C} - 250^\circ\text{C}$ составляет 24% за счёт выделения кислорода.

Для неизвестной соли на графике зависимости изменения массы от температуры присутствует один скачок, ему соот-

ветствует потеря массы 22,34%. При этом выделяется газ без запаха с плотностью 1,964 г/л при нормальных условиях.

Пункт 1. Определите, какая соль была взята для анализа и какой газ образовался в процессе нагревания. Для соли $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ на графике зависимости изменения массы от температуры присутствуют три скачка.

Пункт 2. Определите потерю массы (в % от исходной) и напишите протекающие химические реакции для каждого перехода:

	Температурный интервал, °C		
	150–200	500–550	800–900
Потеря массы, %	?	?	?

Неизвестные оксиды **А, В, С** переходных металлов растворили в серной кислоте, при этом образовались растворы голубого, зелёного и фиолетового цветов соответственно. Выделяющиеся при медленном упаривании из растворов кристаллы веществ **Д, Е, F** были подвергнуты термическому анализу, его результаты приведены в таблице:

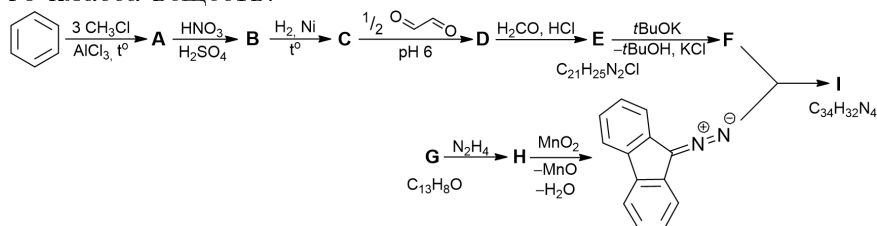
	Вещество	Температурный интервал, °C	
		150–300	700–900
Потеря массы, %	Д	36,07	32,06
	Е	44,84	28,47
	F	45,25	33,52

Пункт 3. Определите вещества **А–F**, если известно, что степень окисления металла во всех превращениях не изменялась. (Р. А. Попов)

10 класс

20.83. [15 баллов] Азины являются весьма интересным классом органических соединений: помимо того, что они являются перспективными материалами для нелинейной опти-

ки, полимерные азины могут служить проводниками, если к ним добавить небольшое количество молекулярного иода. Ниже приведена схема синтеза одного из представителей этого класса веществ.



A — это наименее стерически загруженный изомер, который можно получить по приведённой реакции. В молекулах **A** есть 2 неэквивалентных типа атомов водорода. **E** — это органическая соль, её брутто-формула: $C_{21}H_{25}N_2Cl$, а катион содержит три циклических фрагмента. **F** является карбеном — веществом, содержащим двухвалентный атом углерода.

Пункт 1. Изобразите структуры веществ **A–I**.

Пункт 2. Зачем при получении **D** из **C** необходимо небольшое подкисление?

Пункт 3. Вещество **I** обладает достаточно большим дипольным моментом. Объясните, почему. Ответ подтвердите резонансными структурами. (А. В. Булдаков)

20.84. [15 баллов] *Смотри задачу 20.80.*

20.85. [15 баллов] Металл **X** используется в качестве добавки при производстве легированных сталей, а его оранжевый оксид **A** — как катализатор одной из стадий при производстве серной кислоты.

Оксид **A** подвергается следующим химическим превращениям:

- 1) При нагревании до 700°C образуется вещество **B**.
- 2) При взаимодействии с концентрированной соляной кислотой образуется голубое вещество **C**, при этом выделя-

ется газ **Y**. **B** при взаимодействии с соляной кислотой также образует **C**, при этом выделение газа не происходит.

- 3) При взаимодействии с металлическим **X** в растворе соляной кислоты образуется тёмно-зелёное вещество **D**.
- 4) При взаимодействии с цинком в растворе соляной кислоты образуется фиолетовое вещество **E**.

В отсутствие цинка под действием соляной кислоты **E** медленно превращается в **D**.

Пункт 1. Определите металл **X**, газ **Y**, а также соединения **A–E**. Известно, что

$$M(\text{C}) : M(\text{D}) : M(\text{E}) = 1,13 : 1,29 : 1.$$

Также на один атом **X** в **D** приходится в полтора раза больше атомов хлора, чем в **E**.

Пункт 2. Напишите уравнения химических превращений, которым подвергается **A**, а также реакции переходов из **B** в **C** и из **E** в **D** (всего 6 реакций).

Источником металла **X** служит природное соединение **F**, которое содержит 45,95% вещества **X** и 25,23% металла **Z**. Смесь **F** прокаливают на воздухе с поваренной солью, известно, что при этом образуется газ **Y**, соединение **G** и ещё один продукт. **G** содержит 41,80% вещества **X**, 18,85% натрия; $M(\text{G}) < 150$ г/моль.

Пункт 3. Определите **F**, **G**, **Z**, напишите уравнение реакции.

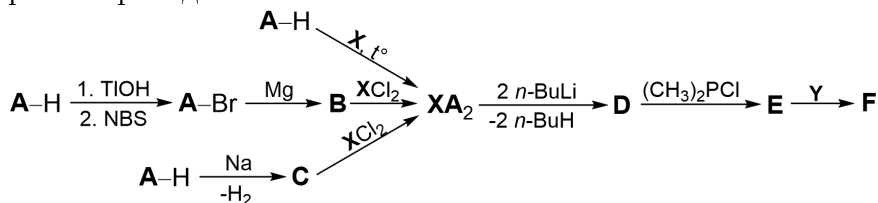
G отделяют от остальных продуктов реакции, обрабатывают концентрированной серной кислотой (при этом образуется **A**), затем, восстанавливая оксид кальцием, получают металлический **X**.

Пункт 4. Напишите уравнения двух реакций, приводящих к получению **X** из **G**. (Р. А. Попов)

20.86. [15 баллов] *Смотри задачу 20.82.*

11 класс**20.87. [15 баллов]** *Смотри задачу 20.83.*

20.88. [15 баллов] Синтез новых эффективных катализаторов для реакций образования новых углерод-углеродных связей очень актуален в современной химии. При этом часто необходимо, чтобы на атоме металла была сосредоточена значительная электронная плотность (за счёт донирования электронов с лигандов). Синтез одного из таких катализаторов **F** приведён ниже.



Y можно получить прямым взаимодействием (*Z,Z*)-циклоокта-1,5-диена с PdCl_2 в подходящем растворителе. При сжигании 3,3 г **A – H** образуется смесь двух газов (плотность по воздуху равна 1,18), один из которых конденсируется при температуре 100°C, другой вызывает помутнение известкового молока с образованием 25 г осадка. В веществе **XA₂** все атомы водорода химически эквивалентны. **XCl₂** можно получить при взаимодействии **X** и соляной кислоты. При взаимодействии **X** и хлора получается **XCl₃**, однако, если поместить пластинку **X** в раствор **XCl₃**, образуется **XCl₂**. $M(\text{F}) = 483,4$ г/моль, $M(\text{Pd}) = 106,4$ г/моль.

Пункт 1. Приведите структурные формулы веществ, зашифрованных в цепочке: **A – H**, **A – Br**, **XA₂**, **B–F**, **Y**.

Пункт 2. Запишите уравнения всех протекающих превращений. (А. В. Булдаков)

20.89. [15 баллов] *Смотри задачу 20.85.*

20.90. [20 баллов] В общем виде элементарную реакцию n -го порядка можно записать в виде $n\mathbf{A} \rightarrow \mathbf{B}$. Задача Коши для такой реакции выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{d[\mathbf{A}]}{dt} = -k[\mathbf{A}]^n, & t > 0, \\ [\mathbf{A}] = c_0, & t = 0, \end{cases}$$

где c_0 — начальная концентрация вещества $\mathbf{A}$.

Пункт 1. Найдите решение задачи Коши, то есть зависимость концентрации вещества $\mathbf{A}$ в любой момент времени $t \in [0, +\infty)$. Определите, чему равен период полураспада $\tau_{1/2}$ для реакции n -го порядка ($n \neq 1$).

На основании полученного выражения периода полураспада базируется интегральный метод Оствальда-Нойеса для расчёта порядка реакции, в котором экспериментально исследуется зависимость $\tau_{1/2}$ от c_0 .

Пункт 2. Запишите аналитическое выражение для расчёта порядка реакции, а также предложите графический вариант решения этой задачи. Какие линеаризованные координаты необходимо использовать?

Экспериментально было проведено исследование реакции изомеризации цианата аммония в мочевины в водной фазе. Полученные данные указаны в таблице:

$c_{\mathbf{A}}^0$, М	0,2	0,4	0,6	0,8
$\tau_{1/2}$, ч	204	102	68	51

Пункт 3. Определите порядок реакции изомеризации цианата, а также константу скорости данной реакции.

Замечание. Интегрирование рациональной функции осуществляется следующим образом:

$$\int ax^n dn = a \frac{x^{n+1}}{n+1} + C, \quad a, C \in \mathbb{R}; n \in \mathbb{Z}, n \neq -1.$$

(А. В. Калининцев)