

## Задания первого тура отборочного этапа Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам 2016/2017 7-9 классы

### Тестовая задача (1 балл).

Скоростной поезд отправился от перрона на 10 секунд раньше расписания, поэтому мимо провожающего, стоящего в самом начале платформы, к моменту отправления поезда по расписанию успел проехать 1 вагон. Установите, за какое время с начала движения мимо провожающего проедет весь поезд, если в составе 9 одинаковых по длине вагонов, и он (состав) движется по закону  $x = \frac{0,5t^2}{2}$ , где  $x$  – расстояние в метрах, пройденное составом с момента начала движения, а  $t$  – время в секундах, прошедшее с момента начала движения. Ответ дайте в секундах.

### Решение:

Из уравнения движения состава находим, что длина одного вагона равна  $(0,5 \cdot 10^2)/2 = 25$  метров. Длина всего состава равна  $9 \cdot 25 = 225$  метров. Таким образом, весь состав проедет мимо провожающего за  $t = \sqrt{\frac{225 \cdot 2}{0,5}} = 30$  секунд.

Ответ: 30.

### Задача 1 (9 баллов).

Как известно, стволовые клетки способны делиться и дифференцироваться в специализированные клетки, то есть превращаться в клетки различных органов и тканей. Это можно использовать в медицине при лечении разнообразных травм и последствий болезней, сопровождающихся отмиранием тканей. Представим, что для восстановления определенной части ткани необходимо получить и затем дифференцировать чуть больше 2 000 стволовых клеток. Известно, что каждая стволовая клетка делится ежечасно, при этом распадаясь на 2 одинаковых стволовых клетки, а дифференцировка стволовых клеток занимает 7 часов. Сколько часов потребуется на полное восстановление вышеуказанной части ткани у 2 человек, если изначально имеется лишь одна стволовая клетка?

### Решение:

Для лечения описанной травмы у двух людей потребуется чуть больше  $2\,000 \cdot 2 = 4\,000$  стволовых клеток.

Изначально стволовая клетка только одна. Т.к. по условиям задачи ежечасно каждая стволовая клетка удваивается, в любой момент времени их количество равно  $2^n$ , где  $n$  - целое число, равное целому количеству часов, прошедших с начала «наработки» клеток из одной клетки-предшественницы.

Отсюда следует, что достаточное для лечения количество клеток будет получено через  $n$  часов, где  $n$  удовлетворяет следующему условию:

$$2^n > 4\,000 \quad (I)$$

Равенство строгое, т.к. по условиям задачи клеток для одного человека должно быть чуть более 2 000.

Т.к. мы хотим вылечить страдальцев как можно скорее, нужно брать наименьшее целое  $n$ , удовлетворяющее неравенству (I). Тогда  $n$  будет равно 12 ( $2^{12} = 4\,096$ ,  $2^{11} = 2\,048$ ).

Т.о. для наработки необходимого для заживления количества клеток потребуется 12 часов.

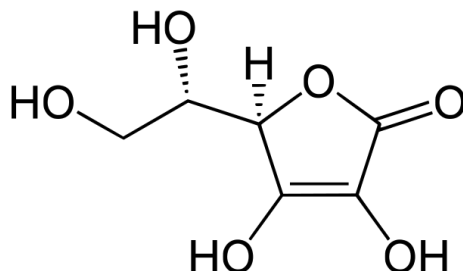
После того, как необходимое количество клеток будет наработано, они будут дифференцироваться еще 7 часов, причем независимо от количества пациентов. Тогда общее количество времени, которое потребуется на восстановление ткани у двух человек, будет составлять  $12 + 7 = 19$  часов.

Ответ: 19 часов.

**Задача 2 (9 баллов).**

Драже «Аскорбинка» содержит 99,9 массовых процентов аскорбиновой кислоты, остальное - различные вспомогательные вещества: сахар, крахмал, ароматизатор и т.д. Сколько молекул аскорбиновой кислоты содержится в 50 мг драже?

**Решение:**



Выше представлена структурная формула аскорбиновой кислоты.

Ее брутто-формула  $C_6H_8O_6$ .

Ее молекулярная масса составляет  $12 \cdot 6 + 1 \cdot 8 + 16 \cdot 6 = 176$  г/моль.

В 50 мг драже содержится 0,99900 50 мг = 49,95 мг аскорбиновой кислоты.

Тогда количество молекул аскорбиновой кислоты в 50 мг драже будет составлять  $N_A \cdot 0,001 \cdot 49,95 / 176 = 6,022 \cdot 10^{23} \cdot 0,001 \cdot 49,95 / 176 = 6,022 \cdot 10^{20} \cdot 49,95 / 176 = 1,709 \cdot 10^{20}$  молекул.

**Ответ:  $1,709 \cdot 10^{20}$  молекул.**

### Задача 3 (7 баллов).

Ответьте на ряд вопросов об открытии химических элементов:

Ученые каких стран открыли больше всего химических элементов?

В каком веке было открыто их наибольшее количество?

Почему в последнее время темпы открытия элементов замедлились?

Чего в таблице Менделеева больше – элементов, названных в честь географических названий или элементов, названных в честь ученых?

Какой элемент таблицы назван в честь нашей страны?

Где было открыто большинство последних элементов таблицы?

На примере получения 114 элемента флеровия расскажите, как получают так называемые трансурановые элементы.

### Решение:

На первом месте по количеству открытых химических элементов стоят английские ученые:

Атомный номер	Название элемента	Первооткрыватель и метод	Год открытия
2	Гелий	Джозеф Норман Локьер (соотнесение линии D <sub>3</sub> в солнечном спектре с неизвестным ранее элементом)	1868
6	Углерод	Смитсон Теннант (выделение «свободный» углерод в ходе реакции прокаленного мела с парами фосфора: $6\text{CaCO}_3 + 4\text{P} \rightarrow 2\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 5\text{C} + \text{CO}_2$ )	1791
7	Азот	Даниель Резерфорд (исследование продуктов сгорания угля, серы и фосфора)	1772
10	Неон	Уильям Рамзай и Моррис Уильям Траверс (исследование спектра газов-примесей к жидкому аргону)	1898
36	Криптон		
54	Ксенон		
11	Натрий	Хэмфри Дэви (электролиз увлажненных твердых гидроксидов натрия и калия)	1807
19	Калий		
12	Магний	Хэмфри Дэви (гидролиз смеси увлажненного Mg(OH) <sub>2</sub> с оксидом ртути)	1808
18	Аргон	Джон Уильям Стретт (лорд Рэлей) (сравнение плотностей азота, извлеченного из атмосферы, с азотом, полученным химическим путем)	1892
20	Кальций	Хэмфри Дэви (электролиз слегка увлажненной гашеной извести)	1808
22	Титан	Уильям Грегор (открытие оксида ранее неизвестного элемента в ходе исследования минерала рутила)	1789
38	Стронций	Адер Крауфорд (исследование минерала стронцианита)	1790
41	Ниобий	Чарльз Хэтчетт (исследование минерала колумбита)	1801
45	Родий	Уильям Гайд Волластон (выделение из раствора самородной платины в царской водке)	1804

46	Палладий	Уильям Гайд Волластон (исследование раствора самородной платины в царской водке)	1803
76	Осмий	Смитсон Теннант (исследование осадка, остающегося после растворения самородной платины в царской водке)	1804
77	Иридий		
81	Таллий	Уильям Крукс (спектральное исследование отходов сернокислого производства)	1861
86	Радон	Эрнест Резерфорд (исследование изменения радиоактивности препаратов тория, актиния и радия)	Первое десятилетие XX века

Всего английские ученые открыли 20 элементов. Зачастую также считается, что водород был открыт и описан английским ученым Генри Кавендишем в 1766 году, хотя водород и был известен многим ученым XVI-XVIII веков.

С учетом водорода английскими учеными был открыт 21 элемент.

На втором месте стоят ученые Германии:

Атомный номер	Название элемента	Первооткрыватель и метод	Год открытия
15	Фосфор	Хенниг Бранд (выделение из мочи)	1669
32	Германий	Клеменс Александр Винклер (исследование минерала аргиродита)	1885
33	Мышьяк	Альберт Великий (неизвестно)	XIII век
35	Бром	Карл Якоб Левиг (вытеснение брома из солей хлором)	1825
37	Рубидий	Роберт Вильгельм Бунзен и Густав Роберт Кирхгоф (исследование спектра минерала лепидолита)	1861
40	Цирконий	Мартин Генрих Клапрот (исследование минерала циркона)	1789
48	Кадмий	Фридрих Штомейер (анализ медицинских препаратов оксида цинка)	1817
49	Индий	Фердинанд Рейх и Теодор Рихтер (спектральное исследование минерала сфалерита)	1863
52	Теллур	Франц Йозеф Мюллер (исследование золотоносной руды из Трансильвании)	1782
55	Цезий	Роберт Вильгельм Бунзен и Густав Роберт Кирхгоф (исследование спектра воды Бад-Дюркхаймского минерального источника)	1860
75	Рений	Вальтер Нодак и Ида Такке (исследование рентгеновских спектров продуктов переработки минерала молибденита)	1925
83	Висмут	Иоганн-Генрих Потт (установление химической индивидуальности висмута и его отличия от других металлов)	1739

91	Протактиний	Отто Ган и Лиза Мейтнер (исследование продуктов распада $^{235}\text{U}$ )	1918
92	Уран	Мартин Генрих Клапрот (исследование минерала настурана)	1789
107	Борий	Готтфрид Мюнценберг и др. (бомбардировка мишени из $^{209}\text{Bi}$ ионами $^{54}\text{Cr}$ )	1981
108	Хассий	Готтфрид Мюнценберг и др. (бомбардировка мишени из $^{208}\text{Pb}$ ионами $^{58}\text{Fe}$ )	1984
109	Мейтнерий	Готтфрид Мюнценберг и др. (бомбардировка мишени из $^{209}\text{Bi}$ ионами $^{58}\text{Fe}$ )	1982
110	Дармштадтий	Готтфрид Мюнценберг и др. (бомбардировка мишени из $^{208}\text{Pb}$ ионами $^{62}\text{Ni}$ )	1994
111	Рентгений	Сигурд Хофманн и др. (в т.ч. ученые из России, Финляндии и Словакии) (бомбардировка мишени из $^{209}\text{Bi}$ ионами $^{64}\text{Ni}$ )	1994
112	Коперниций	Сигурд Хофманн и др. (в т.ч. ученые из России, Словакии и Финляндии) (бомбардировка мишени $^{208}\text{Pb}$ из ионами $^{70}\text{Zn}$ )	1996

Всего немецкие ученые открыли 20 элементов.

На третьем месте стоят ученые Швеции:

Атомный номер	Название элемента	Первооткрыватель и метод	Год открытия
3	Литий	Йоганн Аугуст Арфведсон (Исследование минерала петалита)	1817
8	Кислород	Карл Вильгельм Шееле (разложение оксида ртути и нитратов щелочных металлов)	1771
17	Хлор	Карл Вильгельм Шееле (растворение в соляной кислоте минерала пиролюзита)	1774
21	Скандий	Ларс Фредерик Нильсон (выделение из образцов соли иттербия, полученной Жан-Шарлем Мариньяком)	1879
25	Марганец	Карл Вильгельм Шееле и Юхан Готлиб Ган (восстановление углем минерала пиролюзита)	1774
27	Кобальт	Георг Брандт (выделение в металлическом виде из кобальтовой «земли»)	1735
28	Никель	Аксель Кронстедт (исследование минерала никелина)	1751
34	Селен	Йенс Якоб Берцелиус (исследование осадка, получившегося в ходе получения серной кислоты из серы)	1817
42	Молибден	Йенс Якоб Берцелиус (исследование минерала молибденита)	1817
56	Барий	Карл Вильгельм Шееле (исследование минерала барита)	1774
57	Лантан	Карл Густав Мосандер (исследование минерала церита)	1839
58	Церий	Йенс Якоб Берцелиус (исследование минерала бастнезита)	1803
65	Тербий	Карл Густав Мосандер (исследование примесей в образцах оксида	1843
68	Эрбий		

		иттрия)	
69	Тулий	Пьер Теодор Клеве (исследование примесей в образцах оксида эрбия)	1879
73	Тантал	Андерс Густав Экеберг (исследование образцов минералов, найденных в Скандинавии)	1802
74	Вольфрам	Карл Вильгельм Шееле (выделение оксида вольфрама из минерала шеелита)	1781
90	Торий	Йенс Якоб Берцелиус (исследование минерала торита)	1828

Всего шведские ученые открыли 18 элементов.

Больше всего элементов было открыто в XIX веке.

Это: гелий, литий, бор, фтор, неон, натрий, магний, алюминий, кремний, аргон, калий, кальций, скандий, ванадий, галлий, германий, селен, бром, криптон, рубидий, ниобий, рутений, родий, палладий, кадмий, индий, йод, ксенон, цезий, лантан, церий, празеодим, неодим, самарий, европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, тантал, осмий, иридий, таллий, полоний, радий, актиний и торий – всего 50 элементов.

Темпы открытия новых элементов замедлились, т.к. ко второй половине XX века были обнаружены все химические элементы, обладающие периодами полураспада достаточно долгими, чтобы все еще присутствовать в окружающей среде. Теперь новые, еще не найденные элементы, приходится получать ядерным синтезом, применяя ускорители частиц.

«Географические» названия носят 21 элемент.

Это: скандий (в честь Скандинавии), медь (лат. Cuprum от названия острова Кипр - греч. Kypros), галлий (в честь Франции - лат. Gallia), германий (в честь Германии), стронций (в честь шотландской деревни Стронтиан), рутений (в честь России (Руси) - лат. Ruthenia), европий (в честь Европы), гольмий (в честь города Стокгольма - от лат. Holmia), тулий (в честь легендарного острова Туле), лютеций (в честь города Парижа - лат. Lutetia Parisiorum), гафний (в честь города Копенгагена - лат. Hafnia), рений (в честь Рейнской провинции), полоний (в честь Польши - лат. Polonia), франций (в честь Франции), америций (в честь Америки), берклий (в честь города Беркли), калифорний (в честь Калифорнийского университета в Беркли), дубний (в честь города Дубны), хассий (в честь немецкой земли Гессен - лат. Hassia), дармштадтий (в честь города Дармштадт) и ливерморий (в честь в Ливерморской национальной лаборатории имени Э. Лоуренса).

В честь ученых названо 14 элементов.

Это: гадолиний (в честь Юхана Гадолина), кюрий (в честь Пьера и Марии Кюри), эйнштейний (в честь Альберта Эйнштейна), фермий (в честь Энрико Ферми), менделевий (в честь Дмитрия Ивановича Менделеева), nobelium (в честь Альфреда Нобеля), лоуренсий (в честь Эрнеста Лоуренса), резерфордий (в честь Эрнеста Резерфорда), сиборгий (в честь Гленна Сиборга), борий (в честь Нильса Бора), мейтнерий (в честь Лизы Мейтнер), рентгений (в честь Вильгельма Конрада Рентгена), коперниций (в честь Николая Коперника) и флеровий (в честь Георгия Николаевича Флерова).

Как видно, элементов, названных в честь географических мест, больше, чем элементов, названных в честь ученых.

*Обновление от 30.11.16: 28 ноября 2016 года ИЮПАК официально присвоила элементам 113, 115, 117 и 118 соответственно названия «нихоний» (в честь Японии), «московский» (в честь Московской области и Московии), «теннессин» (в честь штата Теннесси) и «оганесон» (в честь Юрия*

Цолаковича Оганесяна). Теперь получается, что в «географические» названия носят 24 элемента, а в честь ученых названы 15 элементов. «Географических» элементов все еще больше, чем названных в честь ученых.

**В честь России назван элемент рутений (лат. Ruthenia - Русь).**

*Обновление от 30.11.16: так как с 28 ноября 2016 года элемент 115 официально называется москвием в честь Московской области и Московии (Русского государства, как называли его на западе в XV-XVIII веках), возможный вариант ответа на вопрос про элемент, названный в честь нашей страны - элемент 115 (москвий).*

Подавляющее большинство последних элементов таблицы Менделеева (т.н. трансуранные элементы) в силу их практически полного отсутствия в природных источниках из-за малого периода полураспада получают в лабораториях:

Атомный номер	Название элемента	Где получили	Год получения
93	Нептуний	Национальная лаборатория имени Лоуренса в Беркли (Lawrence Berkeley National Laboratory) (Беркли, США)	1940
94	Плутоний	Калифорнийский университет в Беркли (University of California, Berkeley) (Беркли, США)	1940
95	Америций	Металлургическая лаборатория Чикагского университета (Metallurgical Laboratory of the University of Chicago) (Чикаго, США)	1944
96	Кюрий	Калифорнийский университет в Беркли (University of California, Berkeley) (Беркли, США)	1944
97	Берклий	Национальная лаборатория имени Лоуренса в Беркли (Lawrence Berkeley National Laboratory) (Беркли, США)	1949
98	Калифорний	Национальная лаборатория имени Лоуренса в Беркли (Lawrence Berkeley National Laboratory) (Беркли, США)	1950
99	Эйнштейний	Испытательный полигон на атолле Эниветок (элемент обнаружен в продуктах взрыва первого в мире термоядерного заряда)	1952
100	Фермий	Испытательный полигон на атолле Эниветок (элемент обнаружен в продуктах взрыва первого в мире термоядерного заряда)	1952
101	Менделевий	Калифорнийский университет в Беркли (University of California, Berkeley) (Беркли, США)	1955
102	Нобелий	Объединенный институт ядерных исследований (Дубна, Россия)	1966
103	Лоуренсий	Национальная лаборатория имени Лоуренса в Беркли (Lawrence Berkeley National Laboratory) (Беркли, США)	1961
104	Резерфордий	Объединенный институт ядерных исследований (Дубна, Россия)	1964
105	Дубний	Объединенный институт ядерных исследований (Дубна, Россия) Калифорнийский университет в Беркли (University of California, Berkeley) (Беркли, США)	1970

106	Сиборгий	Объединенный институт ядерных исследований (Дубна, Россия) Национальная лаборатория имени Лоуренса в Беркли (Lawrence Berkeley National Laboratory) (Беркли, США)	1974
107	Борий	Объединенный институт ядерных исследований (Дубна, Россия)	1976
108	Хассий	Институт тяжелых ионов (Gesellschaft für Schwerionenforschung, GSI) (Дармштадт, Германия)	1984
109	Мейтнерий	Институт тяжелых ионов (Gesellschaft für Schwerionenforschung, GSI) (Дармштадт, Германия)	1982
110	Дармштадтий	Институт тяжелых ионов (Gesellschaft für Schwerionenforschung, GSI) (Дармштадт, Германия)	1994
111	Рентгений	Институт тяжелых ионов (Gesellschaft für Schwerionenforschung, GSI) (Дармштадт, Германия)	1994
112	Коперниций	Институт тяжелых ионов (Gesellschaft für Schwerionenforschung, GSI) (Дармштадт, Германия)	1996
113	Унунтрий	Объединенный институт ядерных исследований (Дубна, Россия)	2003
114	Флеровий	Объединенный институт ядерных исследований (Дубна, Россия)	1998
115	Унунпентий	Объединенный институт ядерных исследований (Дубна, Россия)	2003
116	Ливерморий	Объединенный институт ядерных исследований (Дубна, Россия)	2000
117	Унунсептий	Объединенный институт ядерных исследований (Дубна, Россия)	2009
118	Унуноктий	Объединенный институт ядерных исследований (Дубна, Россия)	2002

Итак, вот распределение полученных трансурановых элементов по «первооткрывателям» (в спорных случаях, когда невозможно установить первенство, считаем, что элемент был впервые получен несколькими участниками):

- Беркли (Национальная лаборатория имени Лоуренса вместе с Калифорнийским университетом в Беркли): 9 элементов.
- Атолл Энвенток (Испытательный полигон): 2 элемента.
- Чикаго (Металлургическая лаборатория Чикагского университета): 1 элемент.
- Дубна (Объединенный институт ядерных исследований): 11 элементов.
- Дармштадт (Институт тяжелых ионов): 5 элементов.

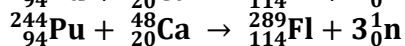
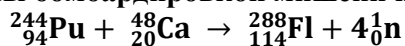
Объединенный институт ядерных исследований является лидером. Легко заметить, что лидером он будет и в случае, если считать, что первый из «последних элементов таблицы» является какой-либо элемент после урана.

Большинство последних элементов таблицы было открыто в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне.

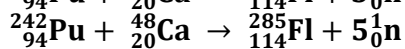
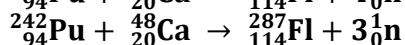
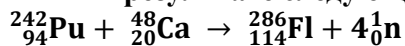
Флеровий (как и подавляющее большинство трансурановых элементов) синтезируют с помощью ускорителей частиц, разгоняя пучок тяжелых ионов и бомбардируя ими мишень.



$^{288}\text{Fl}$  и  $^{289}\text{Fl}$  были впервые получены бомбардировкой мишени из  $^{244}\text{Pu}$  ионами  $^{48}\text{Ca}$ :



Позднее были получены  $^{286}\text{Fl}$ ,  $^{287}\text{Fl}$  и  $^{285}\text{Fl}$  в результате следующих реакций ядерного синтеза:



*По причине того, что история химии содержит множество неоднозначных моментов, и разные источники расходятся во мнениях по поводу названий химических элементов и принадлежности их открытия (так, например, «Википедия» утверждает, что иттрий, тербий, эрбий и иттербий названы в честь деревни Иттербю, тогда как учебник «Неорганическая химия: Химия элементов» под редакцией Ю.Д. Третьякова 2007 года издания сообщает, что названия иттрия, тербия и эрбия символизируют разделение исходного минерала иттербита, из которого они были получены, название же иттербия происходит прямо от названия соответствующего минерала), жюри будет считать правильными варианты решения этой задачи, отличные от указанного выше, если предлагаемые варианты будут обоснованы.*

#### **Задача 4 (8 баллов).**

История развития способов создания высокого давления насчитывает множество этапов. Долгое время в качестве камеры для исследований использовался цилиндр с отверстием, к которому шлифовался поршень. Такая камера изображена на рисунке 1. Она позволяла получать давления до 500 атм при высокой степени гидростатичности (т.е. с выполнением закона Паскаля внутри камеры).

Получать бóльшие значения давления не удавалось, т.к. передающая давление среда (отмечена на рисунке 1 темно-серым) начинала просачиваться в зазор между поршнем и цилиндром. Поэтому исследователи перешли к применению различных типов прокладок. Прокладка удерживает внутренний объем камеры герметичным, пока давление, под которым она находится, выше давления внутри камеры. Один из возможных вариантов устройства прокладок на поршне представлен на рисунке 2. Прокладка (ее сечение изображено двумя черными кругами), фиксируемая гайкой (1) через кольцо (2), плотно прижимается к внутренним стенкам цилиндра. Степень обжатия прокладки регулируется усилием, с которым затянута гайка. Применение такого рода прокладок позволило увеличить максимальное давление, получаемое в камере.

Следующим этапом стало применение прокладки и поршня, состоящего из двух частей (см. рисунок 3). Применение такого типа уплотнения позволило увеличить максимальное гидростатическое давление в камере до 30 000 атм. Имея в своем распоряжении рисунок 3 попробуйте объяснить, как работает такое уплотнение и чем такая конструкция лучше использовавшихся ранее (см. рисунки 1 и 2.)

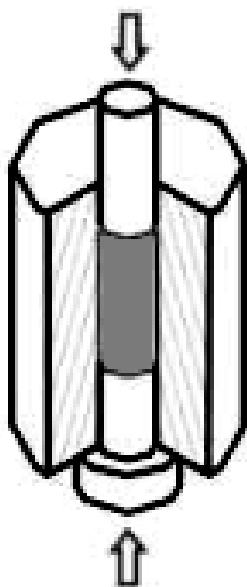


Рисунок 1. Камера высокого давления типа «поршень-цилиндр».

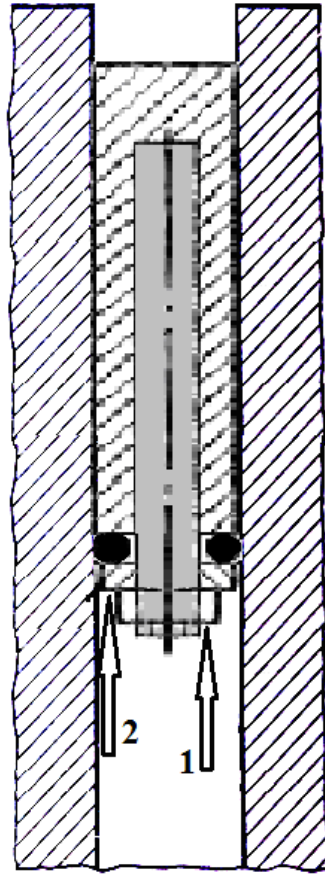


Рисунок 2. Поршень с прокладкой под фиксированным усилием.

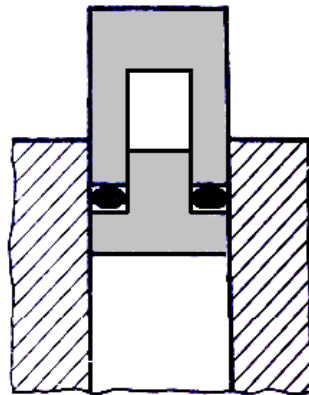


Рисунок 3. Поршень и уплотнение для работы при статических давлениях до 30 000 атм.

**Решение:**

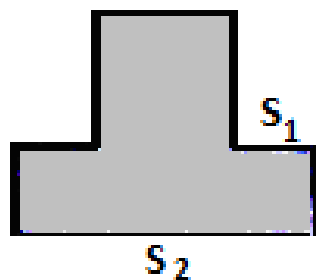
Такого типа прокладки называются уплотнениями на основе принципа некомпенсированной площади.

Недостатком поршня, изображенного на рисунке 2, является то, что прокладка находится под одним и тем же постоянным давлением, которое задается гайкой. Это давление нельзя изменить в ходе эксперимента. Когда давление в камере становится больше, чем в прокладке, герметичность внутреннего объема нарушается. Слишком большое давление в прокладке, созданное в самом начале, приводит к ее неэффективной работе при небольших давлениях.

Устройство поршня, изображенное на рисунке 3, лишено этого недостатка.

Пусть площадь поршня, действующая на прокладку, равна  $S_1$ , а площадь поверхности поршня, приходящейся на внутренний объем, равна  $S_2$ . Из формы поршня видно, что  $S_2 > S_1$ . Давление во внутреннем объеме и на прокладку создает одна и та же внешняя сила, действующая на поршень, обозначим ее  $F$ .

Вспользуемся формулой  $F=p \cdot S$ . Тогда  $p_1 \cdot S_1 = p_2 \cdot S_2$ ,  $p_1/p_2 = S_2/S_1$ . Т.к.  $S_2 > S_1$ ,  $p_1 > p_2$ . По причине того, что давление в прокладке  $p_1$  превосходит давление в камере  $p_2$ , утечка вещества из камеры через прокладку становится невозможна.



**Задача 5 (13 баллов).**

Реакционная колба нагревается с помощью резистора сопротивлением 50 Ом, находящегося под постоянным напряжением 220 В. В колбе находится 1 моль порошка магния. Оцените время, которое потребуется для нагрева магния до температуры 600 °С, при которой он загорается на воздухе, и запишите уравнение прошедшей после этого реакции. Считать, что на нагрев порошка идет одна треть выделяющегося на резисторе тепла. Теплоемкость магния 25 Дж/(моль·К), начальная температура системы 25 °С.

**Решение:**

По закону Джоуля-Ленца:  $Q_R = \frac{U^2}{R} t$  где  $Q_R$  – количество теплоты, выделившееся на резисторе за время  $t$ .

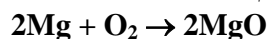
Количество теплоты, необходимое для нагрева вещества на определенное количество градусов, можно представить как  $Q_{\text{нагр.}} = c \cdot \nu \cdot \Delta T$ , где  $c$  – молярная теплоемкость,  $\Delta T$  – разность температур,  $\nu$  – количество молей вещества.

По условию задачи сказано, что на нагрев порошка идёт лишь треть от выделяющегося на резисторе тепла. Отсюда можно сделать вывод, что  $Q_{\text{нагр.}} = 3 \cdot Q_R$

Решая систему уравнений, получим, что:

$$t = \frac{3C\nu\Delta TR}{U^2} = \frac{\frac{U^2}{3R} t = C\nu\Delta T}{220^2} = \frac{3 \cdot 25 \cdot 1 \cdot 575 \cdot 50}{220^2} = 44,6 \text{ сек.}$$

Сгорание порошка магния пройдет в соответствии со следующим уравнением:



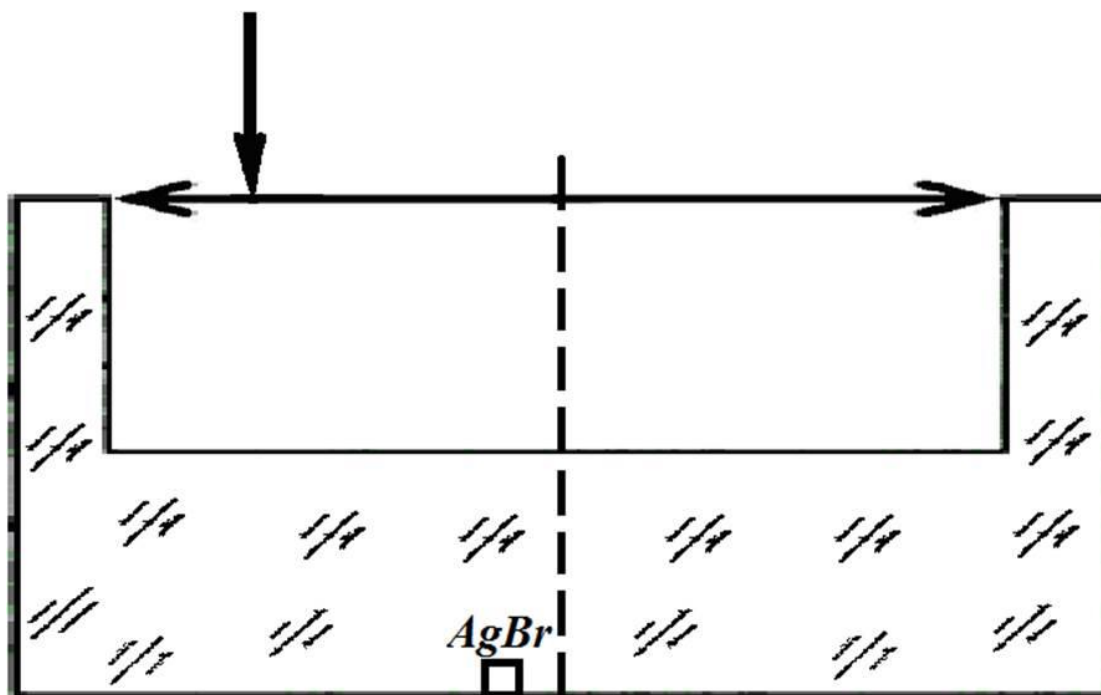
**Ответ: 44,6 секунды;  $2\text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MgO}$ .**

**Задача 6 (14 баллов).**

Тонкая выпуклая линза с фокусным расстоянием, равным 10 см, лежит на детали из стекла ( $n = 1.5$ ) так, как показано на рисунке. Эта деталь представляет собой цилиндр высотой 10 см с углублением в форме цилиндра высотой 5 см. В дне стеклянной детали на расстоянии 0,5 см от ее оси симметрии расположена область в форме куба с ребром 0,5 см, заполненная бромидом серебра (см. рисунок).

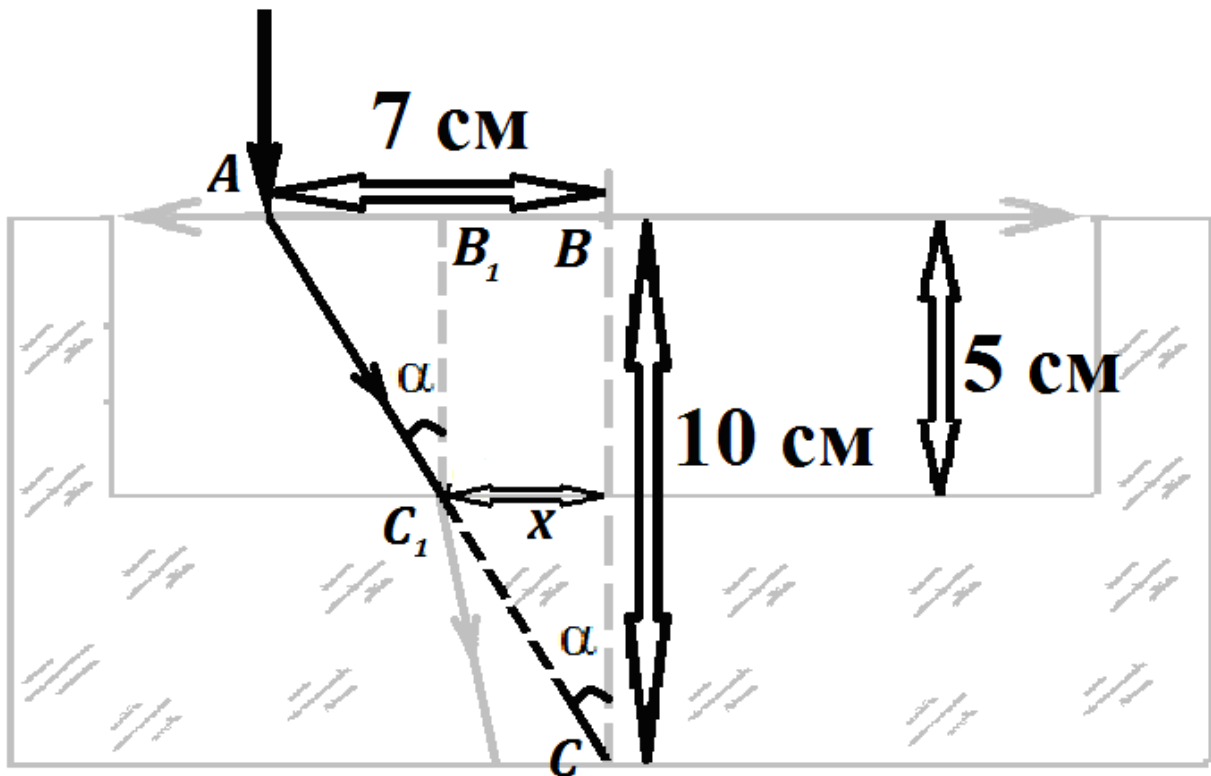
Какое(-ие) вещество(-а) будет(-ут) находиться в области, первоначально заполненной бромидом серебра, если на линзу в точку, расположенную на расстоянии 7 см от главной оптической оси линзы, падает луч света, расположенный в плоскости рисунка и параллельный главной оптической оси линзы?

Напишите уравнение реакции разложения бромида серебра под воздействием света.



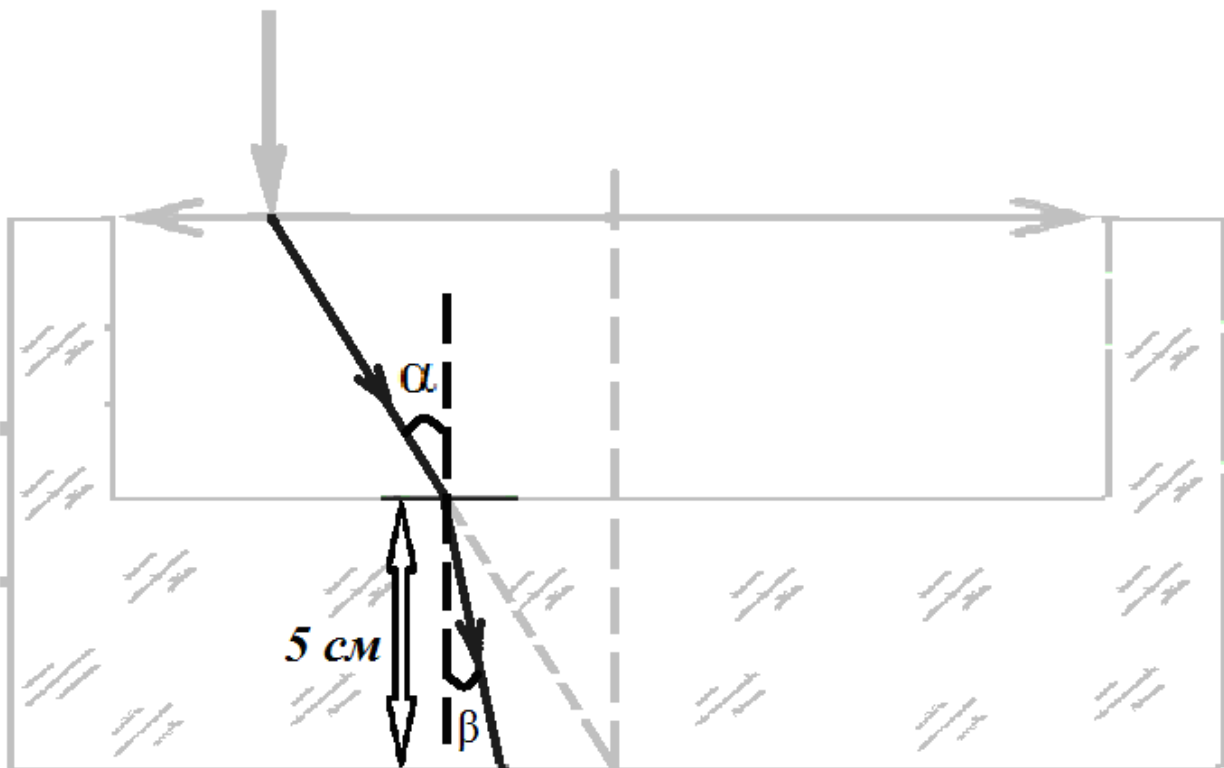
**Решение:**

Для начала определим направление хода луча после прохождения линзы. Все лучи, параллельные главной оптической оси, собираются в фокусе линзы. Значит, если бы не было стеклянной детали, то луч попал бы в фокус линзы. Определим, распространению под каким углом это соответствует.



$\text{tg}(\alpha) = 7/10$ , тогда  $\alpha \approx 35^\circ$ .

Под этим же углом луч падает на поверхность стеклянной детали. Найдем положение точки, в которой луч преломится на поверхности стекла, расположенной на расстоянии  $x$  от главной оптической оси линзы. Из подобия треугольников  $7/(7-x)=10/5$ . Отсюда  $x = 3,5$ .

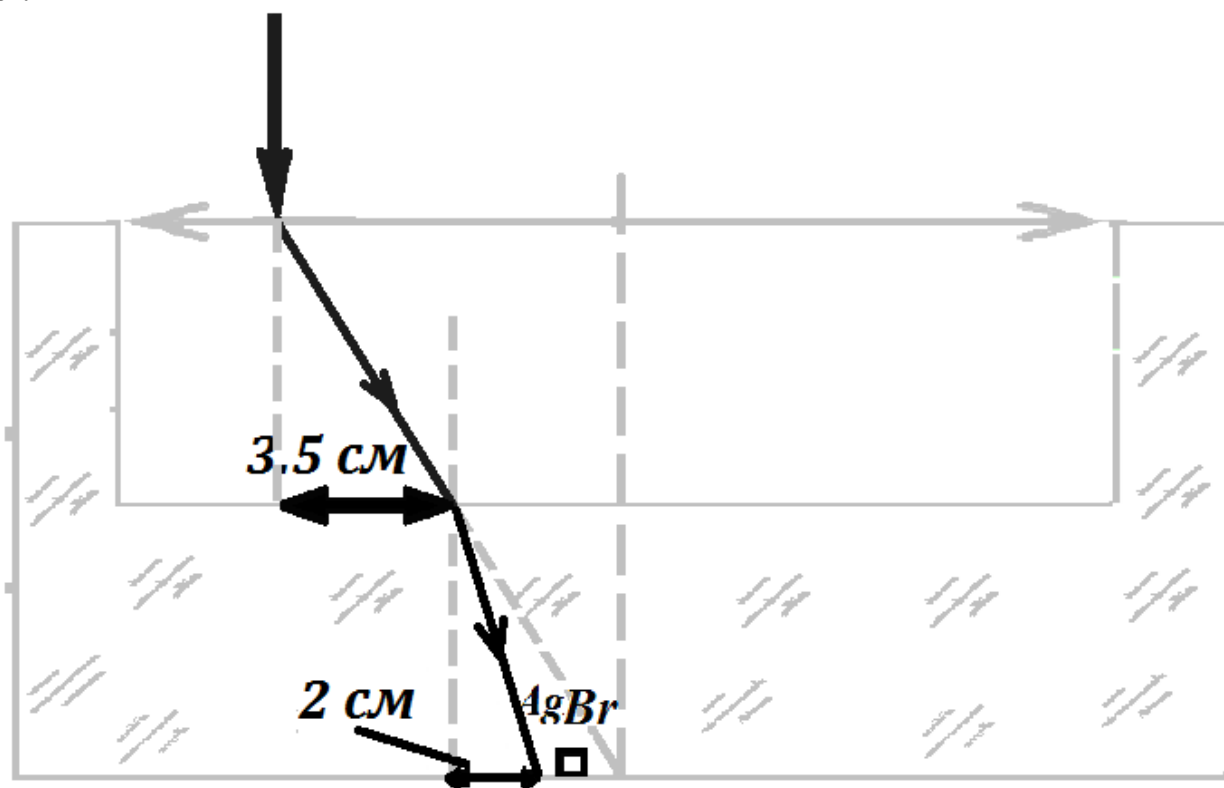


Запишем закон преломления света на границе воздух-стекло.

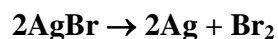
$\sin\alpha/\sin\beta = n = 1,5$ , следовательно,  $\beta \approx 22,4^\circ$

Далее луч движется в стекле под углом  $\beta \approx 22,4^\circ$  на глубину 5 см. По горизонтали при этом он сместится на расстояние, равное  $5 \cdot \text{tg}\beta \approx 2$  см.

В итоге луч сместится на  $(7 - 3,5) + 2 = 5,5$  см в горизонтальном направлении. Выйдет луч из стеклянной детали на расстоянии от  $7 - 5,5 = 1,5$  см от ее оси симметрии. А бромид серебра находится внутри куба с ребром 0,5 см на расстоянии 0,5 см от той же оси, и, значит, луч не пройдет через эту область. Под действием света происходит реакция разложения бромида серебра, но поскольку свет в эту область не попал, то и химической реакции происходить не будет.



Если бы луч попал в куб, то произошла бы химическая реакция, описываемая следующим уравнением:



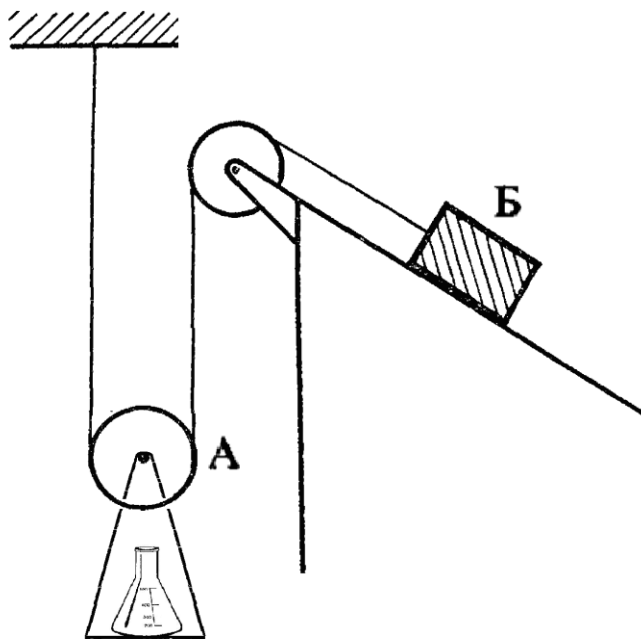
Ответ: бромид серебра,  $2\text{AgBr} \rightarrow 2\text{Ag} + \text{Br}_2$ .



### Задача 7 (16 баллов).

Один край невесомой нити закреплен так, как показано на рисунке. Другой ее край связан с бруском **Б** массой 1 кг. К центру подвижного блока **А** подвешена колба. В колбе исходно содержится 100 мл восьмидесятипроцентного водного раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . В какой-то момент в колбу добавляют порошок меди массой 15 г. С каким ускорением будет двигаться брусок **Б** после того, как в колбе закончится химическая реакция, начавшаяся после добавления в нее меди?

Наклонная плоскость составляет угол  $30^\circ$  с горизонталью. Масса колбы 150 г. Массой блоков и трением в системе пренебречь. Плотность восьмидесятипроцентного раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  считать равной 1.7 г/мл.



### Решение:

Сначала решим химическую часть задачи.

Уравнение протекающей реакции выглядит следующим образом:



При нормальных условиях диоксид серы – это газ, который покидает колбу, и его массу не надо учитывать при расчете движения блоков и грузов.

Определим массу выделившегося  $\text{SO}_2$ .

Для этого найдем массу 80-%ного раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ :

$$m_{\text{р-ра}} = 1.7 \cdot 100 = 170 \text{ грамм.}$$

Масса чистого  $\text{H}_2\text{SO}_4$  составляет  $0.8 \cdot 170 = 136$  грамм.

Количество  $\text{H}_2\text{SO}_4$  составляет  $\nu_{\text{H}_2\text{SO}_4} = m(\text{H}_2\text{SO}_4) / \mu(\text{H}_2\text{SO}_4) = 136 / (2 + 32 + 64) = 1.38$  моль.

Количество  $\text{Cu}$  составляет  $\nu_{\text{Cu}} = m(\text{Cu}) / \mu(\text{Cu}) = 15 / 64 = 0.23$  моль.

Из уравнения реакции  $\nu_{\text{H}_2\text{SO}_4} / \nu_{\text{Cu}} = 2$ .

Из данных задачи  $(0.5 \cdot \nu_{\text{H}_2\text{SO}_4}) / \nu_{\text{Cu}} = (0.5 \cdot 1.38) / 0.23 = 3$ , значит, решаем по  $\text{Cu}$ .

Из уравнения реакции следует, что количество выделившегося  $\text{SO}_2$  равно количеству добавленной в смесь меди, и, следовательно, равно 0.23 моль.

Тогда  $m_{\text{газа}} = \nu(\text{SO}_2) \cdot \mu(\text{SO}_2) = 0.23 \cdot 64 = 15$  грамм.

Таким образом, масса колбы с ее содержимым (т.е. груза, прикрепленного к блоку **А**) после реакции составит:

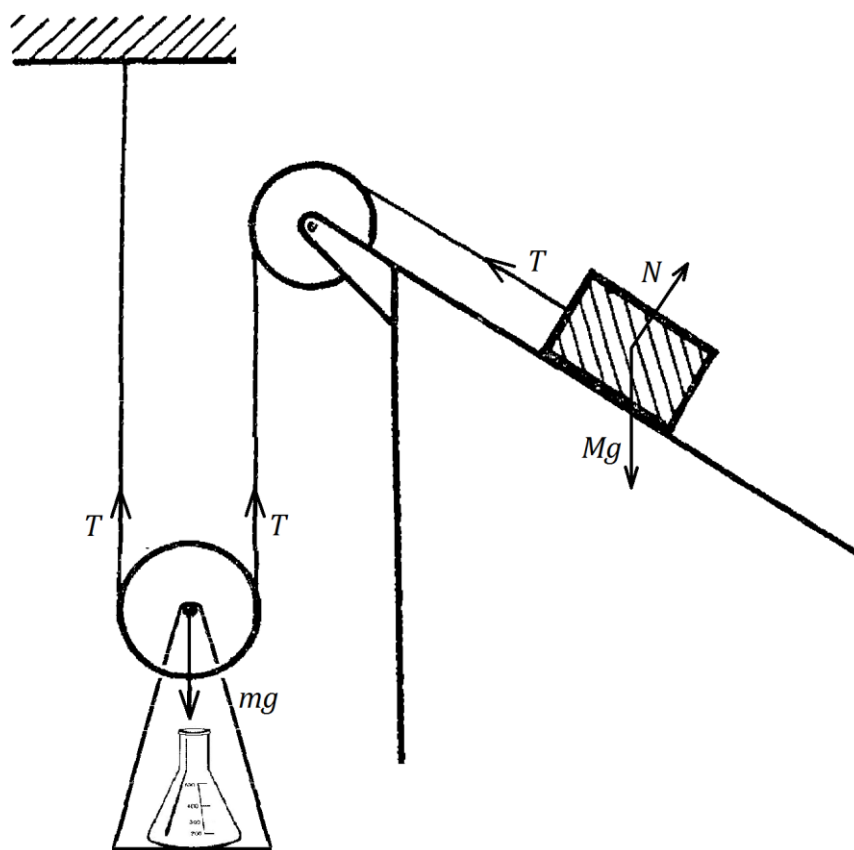
$$m_{\text{груза}} = m_{\text{колбы}} + m_{\text{р-ра}} + m_{\text{Cu}} - m_{\text{газа}} = 150 + 170 + 15 - 15 = 320 \text{ грамм.}$$

Теперь переходим к физической части задачи и записываем сумму сил, действующих на груз **Б** массой  $M = 1$  кг вдоль наклонной плоскости, составляющей угол  $\alpha$  с горизонталью:

$$M \cdot g \cdot \sin \alpha - T = M \cdot a_{\text{Б}}$$

Запишем сумму сил, действующую на подвижный блок:

$$2T - g \cdot m_{\text{груза}} = a_A \cdot m_{\text{груза}}$$



Поскольку нить невесомая и нерастяжимая, то существует связь между  $a_B$  и  $a_A$ .

Блок А дает выигрыш в силе в 2 раза, при этом появляется проигрыш в пройденном расстоянии также в 2 раза. Таким образом, ускорение, с которым движется блок А, в два раза меньше ускорения, с которым движется веревка:

$$a_B = 2a_A$$

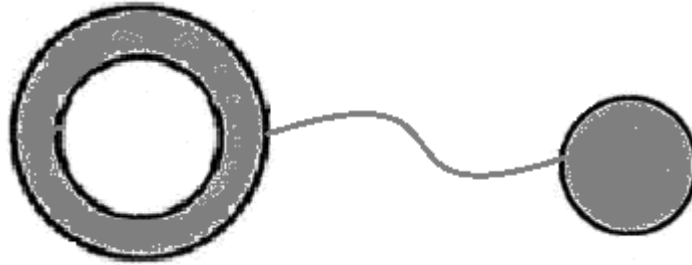
Получившиеся уравнения можно решить как систему. В результате всех преобразований получается, что  $a = g \cdot (4M \cdot \sin \alpha - 2m_{\text{груза}}) / (4M + m_{\text{груза}})$ .

Подставляя числа получим, что  $a \approx 3.14 \text{ м/с}^2$ .

Ответ: 3.14 м/с<sup>2</sup>.

**Задача 8 (13 баллов).**

Два шарика соединены тонкой легкой нитью. Первый шарик объема  $V$  имеет полость, заполненную легким газом, второй шарик объема  $V/8$  полостей не имеет. Чему равен объем полости в первом шарике, если после помещения этой системы в жидкость и установления равновесия шарик с полостью оказался погружен лишь наполовину? Плотность вещества, из которого сделаны оба шарика, равна  $\rho$ . Плотность жидкости равна  $\rho_{ж}$ ,  $\rho > \rho_{ж}$



**Решение:**

Запишем условие равновесия второго шарика. Он полностью погружен в воду, т.к.  $\rho > \rho_{ж}$ , и удерживается в равновесии за счет силы натяжения нити  $T$ .

$$\rho_{ж}gV/8 = T + \rho_{ж}gV/8$$

Теперь запишем аналогичное уравнение для первого шарика. Учтем, что сила Архимеда действует лишь на ту его часть, которая в воде, т.е. на  $V/2$ :

$$\rho_{ж}gV/2 = T + \rho g(V - V_{пол})$$

Если для сплошного шарика  $T$  было направлено вверх, то для полого вниз. Масса полого шарика определяется лишь долей его объема, заполненной веществом с плотностью  $\rho$ .

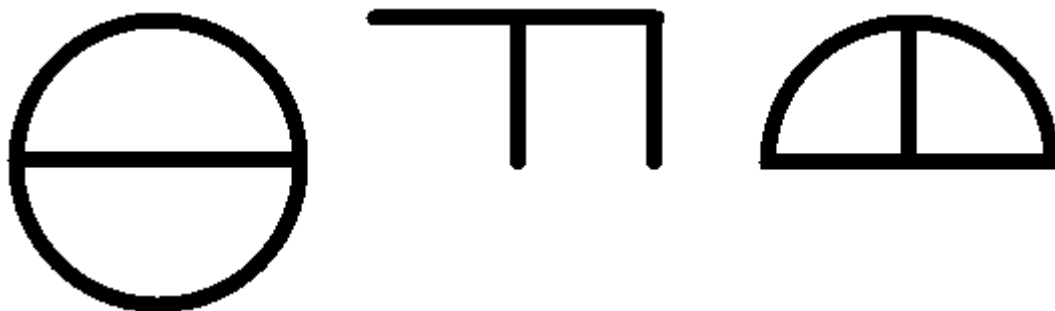
Из этих двух уравнений получаем объем полости  $V_{пол}$ :

$$V_{пол} = V(9 - 5\rho_{ж}/\rho)/8$$

**Ответ:**  $V(9 - 5\rho_{ж}/\rho)/8$ .

**Задача 9 (10 баллов).**

Нарисуйте общий вид детали, имеющей такие проекции (очертания).



**Решение:**

Возможный ответ представлен на рисунке ниже.

