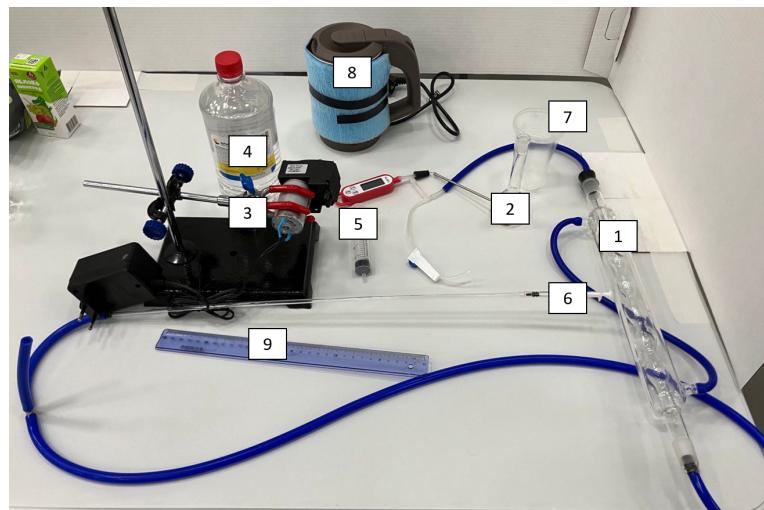


M1A - Не перегрей

Оборудование:

1. Вакуумная система с клапаном, термометром и капилляром
2. Колба с песком
3. Насос с питанием 12 В
4. Изопропиловый спирт
5. Шприц 20 мл
6. Шприц 1 мл
7. Два пластиковых стаканчика
8. Чайник, играющий роль калориметра с управляемой температурой
9. Линейка

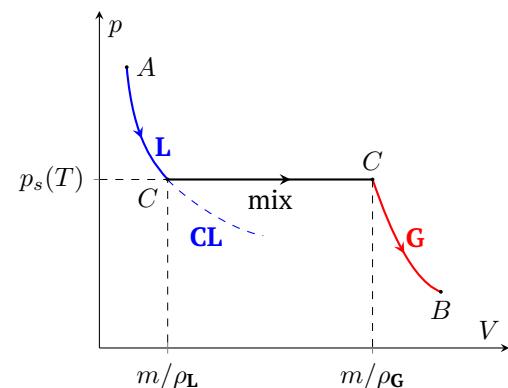
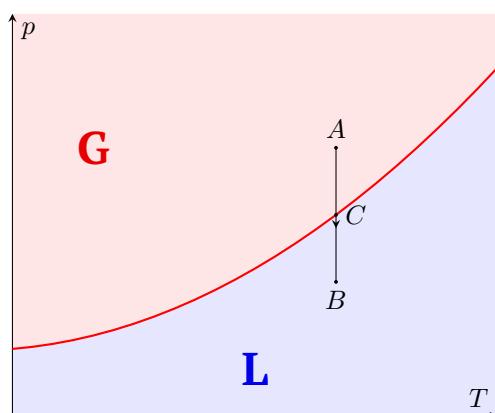


Если при постепенном изменении внешнего параметра, свойства физической системы резко меняются, то такое явление называют фазовым переходом. Когда физическая система зависит от двух параметров X и Y на график можно нанести все пары параметров (X, Y) , при которых происходят фазовые переходы. Получившиеся из этих точек кривые разделят плоскость X, Y на несколько фаз.

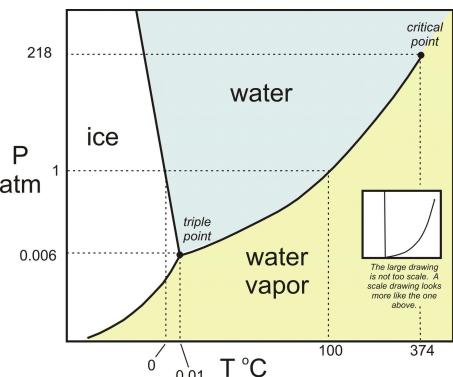
В данной задаче на примере изопропилового спирта (далее IPA) мы изучим фазовый переход жидкость(**L**) \leftrightarrow газ(**G**) в p, T координатах. Хоть IPA является распространенным антисептическим средством, **его ни в коем случае нельзя пить!** Также не стоит нюхать пары IPA так как это вызывает головную боль.

Температура кипения IPA при атмосферном давлении $p_0 = 101$ кПа равна примерно 83°C . Оказывается, что форма кривой фазового перехода (p, T) связана с удельной (на единицу массы) теплотой парообразования L через закон Клапейрона-Клаузиуса.

Этот закон можно вывести из общих теоретических соображений. Для этого рассмотрим изотермическое сжатие из точки **A** в точку **B** при температуре T .



При давлении большем чем давление насыщенного пара $p_s(T)$ кривая в p, V координатах является изотермой для жидкости **L** и ее форма не важна. При давлении, равном давлению насыщенного пара, в p, V координатах процесс имеет вид горизонтальной прямой. Этой прямой соответствуют равновесные смеси **G** и **L** в разных соотношениях. При давлении, меньшем чем $p_s(T)$, кривая в p, V координатах является



Фазовая диаграмма воды в p, T координатах.

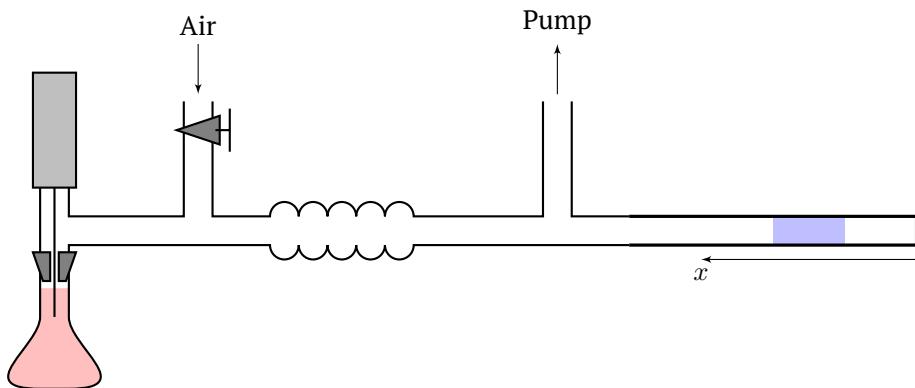


изотермой для газа **G**. Будем считать, что **G** подчиняется уравнению состояния идеального газа также известному как закон Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT,$$

где μ - молярная масса молекул газа, $R = 8.314 \text{ Дж/(К} \cdot \text{моль)}$ - газовая постоянная.

- A1** В p, V координатах нарисуйте кривые процессов типа A→B для двух температур: T и $T + dT$. Выберите цикл, для которого можно использовать теорему Карно для получения соотношения между $dp_s = p_s(T + dT) - p_s(T)$ и dT . В ответ могут входить давление p_s , температура T , удельная теплота испарения L молярная масса молекул μ и плотность жидкой фазы ρ_L . 2.0



Предлагается схема установки, изображенная выше. Левый выход имеет регулируемый клапан, который позволяет настраивать давление внутри системы. Правый выход подключен к вакуумному насосу. Для измерения давления предлагается использовать газовый манометр с капелькой внутри капилляра. **Будьте очень аккуратны с термометром! Новая вакуумная система выдаваться не будет.**

- A2** Найдите минимальное давления p_{\min} , которое вакуумный насос позволяет достичь внутри вакуумной системы. Для воздуха, запертого внутри манометра, выполняется закон Бойля-Мариотта $pV = \text{const}$. Цилиндр в клапане иногда вылезает из пазов, поэтому убедитесь, что клапан в закрытом состоянии полностью закрывает поток воздуха. 1.0

Реальные физические системы не всегда находятся в положении своего равновесия. Например, IPA часто демонстрирует перегретое состояние: то есть когда согласно фазовой диаграмме он должен находиться в газообразном состоянии, но находится в метастабильном жидком. Чтобы перегретый IPA в колбе испарялся, встряхивайте ее. Песок в колбе насыпан с той же целью.

- A3** Как можно точнее измерьте значение температуры кипения IPA при атмосферном давлении. 1.0

- A4** Измерьте зависимость T от p_s для не менее чем 10 значений давления $p_s < p_0$. Для этого воспользуйтесь следующей схемой измерений. При атмосферном давлении доведите IPA внутри колбы до такой температуры, чтобы она была заведомо больше температуры кипения при изучаемом давлении p_s . Затем с помощью клапана выставьте давление в системе равным p_s и наблюдайте за падением температуры в колбе. Если температура вышла на плато и процесс кипения не запускается встряхиванием, то указанная температура и есть температура кипения. 4.0

Молярная масса IPA $\mu = 60.1 \text{ г/моль}$. Плотность жидкого IPA $\rho_L = 0.786 \text{ г/см}^3$.

- A5** Постройте график зависимости T от p_s в таких координатах, чтобы он был линейным. 1.0

- A6** С помощью графика из пункта A5 определите удельную теплоту испарения спирта L . 1.0