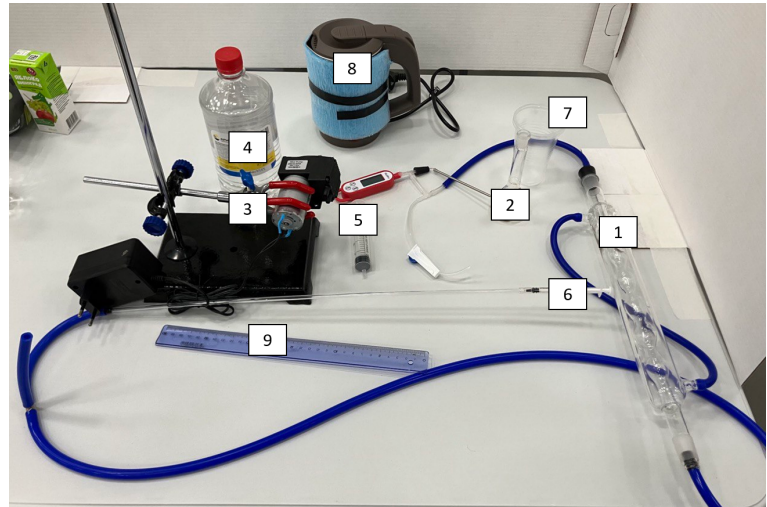


## M1A - Не перегрей

### 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

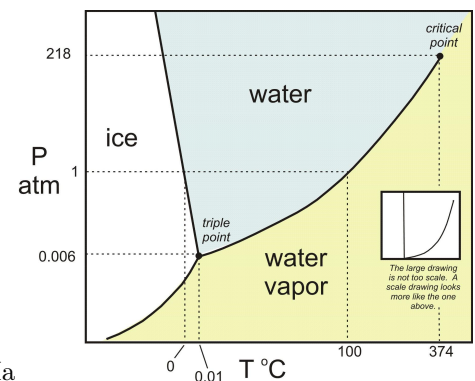


Если при постепенном изменении внешнего параметра, свойства физической системы резко меняются, то такое явление называют фазовым переходом. Когда физическая система зависит от двух параметров  $X$  и  $Y$  на график можно нанести все пары параметров  $(X, Y)$ , при которых происходят фазовые переходы.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

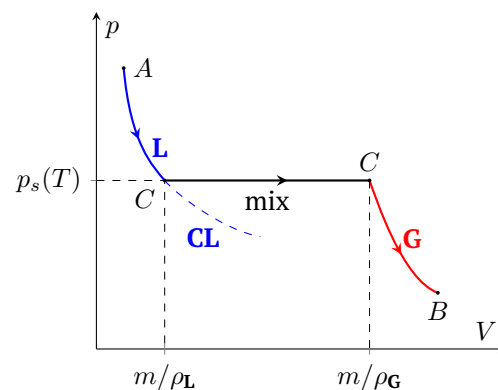
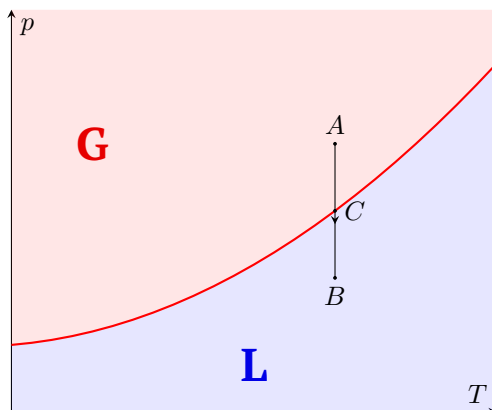
В данной задаче на примере изопропилового спирта (далее IPA) мы изучим фазовый переход жидкость(L) $\leftrightarrow$ газ(G) в  $p, T$  координатах. Хотя IPA является распространенным антисептическим средством, **его ни в коем случае нельзя пить!** Также не стоит нюхать пары IPA так как это вызывает головную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

Температура кипения IPA при атмосферном давлении  $p_0 = 101$  кПа равна примерно  $83^\circ\text{C}$ . 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  $T$ .



Фазовая диаграмма воды в  $p, T$  координатах.



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

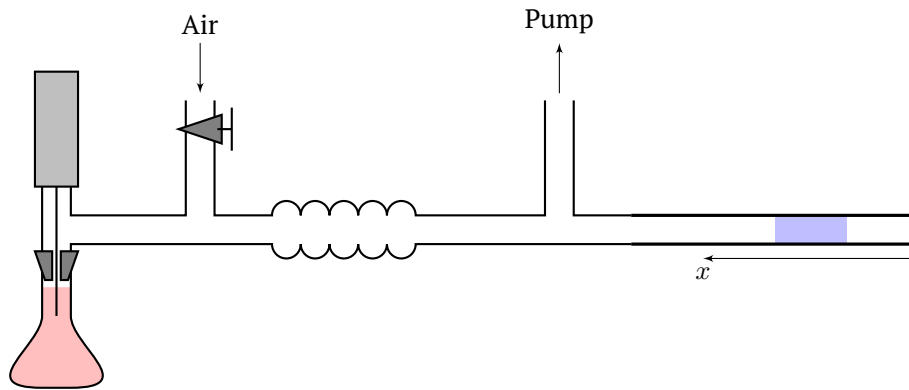


изотермой для газа **G**. Будем считать, что **G** подчиняется уравнению состояния идеального газа также известному как закон Менделеева-Клапейрона:

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

где  $\mu$  - молярная масса молекул газа,  $R = 8.314$  Дж/(К · моль) - газовая постоянная.

- A1** В  $p, V$  координатах нарисуйте кривые процессов типа  $A \rightarrow B$  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  $\mu$  и плотность жидкой фазы  $\rho_L$ . **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 каплей 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  $\mu = 60.1$  г/моль. Плотность жидкого IPA  $\rho_L = 0.786$  г/см<sup>3</sup>.

- 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**