

МО РФ
Поморский государственный университет имени М. В. Ломоносова
кафедра общей физики

**Лабораторный практикум
по молекулярной физике**

***Газовый термометр: градуировка и
измерение температуры.***

Архангельск, 2005

Описание предназначено для студентов I курса физического факультета ПГУ
им. М. В. Ломоносова.

Составитель: доцент кафедры общей физики

Колпачников Г. Н.

Работа поставлена и экспериментально проверена студентом III курса отделения
химии-биологии

Введенским Ю. И.

Газовый термометр.

Цель работы: овладеть методикой и техникой градуировки и измерения газовым термометром рабочим веществом которого служит воздух, находящийся под пониженным давлением (не более 0,45 атм.).

Приборы и материалы: 1) газовый термометр, 2) насос Камовского, 3) манометр измерения давления в системе, 4) сосуды для реализации состояний, соответствующих реперным точкам: тающий лед и пары над кипящей водой.

§1. Теоретическое введение.

Понятие об эмпирической (опытной) температуре как степени нагретости тел у человечества сложилось задолго до современных представлений о ней. Приборы, фиксирующие изменение температурного состояния той или иной системы появились еще до н. э. – сегодня их принято называть термоскопами, приборами, показания которых зависят от внешних условий (к примеру, от давления) и конструктивных особенностей. Считают, что одним из первых сконструировал термоскоп Филон из Византии (примерно II в до н. э.). Наилучший, из ныне известных, термоскоп был выполнен Г. Галилеем. Он в 1586 году был установлен на ратушной площади в Итальянском городе Флоренции.

К определению понятия температуры можно прийти, следуя нулевому началу термодинамики: любая изолированная система переходит в равновесное состояние и никогда самопроизвольно из него не выходит. Если несколько соприкасающихся тел находятся в состоянии теплового равновесия, т. е. не обмениваются энергией путем теплопередачи, то, этим телам приписывается одинаковая температура. Если при установлении теплового контакта между телами одно из них передает энергию другому посредством теплопередачи, то первому телу приписывается большая температура, чем второму. Ряд свойств тел (объем, давление, электрическое сопротивление ТЭДС и т. п.). При этом изменяются, а, следовательно, они зависят от температуры или разности температур. Любое из этих свойств может быть использовано для количественной меры температуры.

Приведем тело, выбранное нами для измерения температуры (*термометрическое тело*), в тепловое равновесие с тающим льдом, припишем телу в этом случае определенную температуру. Если поступить точно также для другого состояния, то это позволит ввести единицу измерения температуры и температурную шкалу. Как правило, базовыми состояниями (*реперными точками*) служат фазовые переходы, достаточно устойчивые с точки зрения температуры во временном интервале и легко воспроизводимые.

Исторически одним и тем же реперным точкам были в разных шкалах приписаны разные температуры. (См. таблицу 1).

Реперные точки	Эмпирические температурные шкалы			
	Фаренгейта (1709 г)	Реомюра (1730 г)	Цельсия (1742 г)	Кельвина (1848 г)
Тающий лед (P=1 атм)	32 °F	0° R	0° C	273.15 К
Пары над кипящей водой	212 °F	80° R	100° C	373.15 К
Температурный интервал	180 °F	80° R	100° C	100 К

§2. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

1. **Жидкостные термометры.** В такого рода термометрах термометрическим телом является жидкость, а температурным параметром — ее объем. Устройство их общеизвестно: жидкость заполняет стеклянный резервуар и часть полости стеклянной или кварцевой капиллярной трубки. Область их применения от -200°C до $+600^{\circ}\text{C}$. В таких термометрах чаще всего используются пентан (от -200°C до $+20^{\circ}\text{C}$), этиловый спирт (от -80°C до $+80^{\circ}\text{C}$), толуол (от -80°C до $+100^{\circ}\text{C}$) и ртуть (от -30°C до $+600^{\circ}\text{C}$). Подбор жидкостей связан с областью их существования. Так, ртуть отвердевает при -38°C и кипит при нормальном атмосферном давлении при 557°C . (Для измерения более высоких температур в ртутном термометре над ртутью должен находиться инертный газ при давлении до 70 атм.) Жидкостные термометры, рассчитанные на измерение высоких температур, имеют толстостенные резервуар и капилляр (при высоких температурах возникают большие давления паров жидкости). Недостатком таких термометров является неравномерность их шкал. Это связано с особенностями теплового расширения как жидкостей, так и материалов резервуаров и капилляров, в которых они находятся. Для повышения точности измерения температуры применяются так называемые укороченные жидкостные термометры, у которых шкала рассчитана на небольшое число градусов. Цена наименьшего деления шкалы таких термометров может равняться сотой доле градуса.

2. **Термометры сопротивления.** В них термометрическим телом является токопроводящая нить, термометрическим параметром — электрическое сопротивление. При этом материал нити подбирается таким, чтобы приращение удельного сопротивления при нагревании на один градус в измеряемом интервале температур претерпевало бы незначительные

изменения.

Наиболее употребительными материалами для термометров сопротивления являются чистая платина и медь. Платиновый термометр является эталонным в интервале температур от $-259,34^{\circ}\text{C}$ до $+630,74^{\circ}\text{C}$, но может применяться в более широком температурном интервале (от -263°C до $+1063^{\circ}\text{C}$), медный — от -50°C до $+150^{\circ}\text{C}$.

Особым видом термометров сопротивления являются терморезисторы (термисторы). В них термометрическими телами являются некоторые полупроводники (смеси TiO_2 с MgO , окислы марганца, меди, кобальта, никеля и др.), а термометрическим параметром — также электрическое сопротивление.

3. **Термопары.** Если спаи двух проводников A и B находятся при разных температурах t_1 и t_2 , то в электрической цепи, образованной этими проводниками, действует термоэлектродвижущая сила (термоэдс), которая зависит от разности температур спаев. Если один из спаев поддерживать при постоянной температуре, например t_1 , то термоэдс будет зависеть только от температуры другого спае t_2 . Обычно постоянство температуры одного из спаев обеспечивается погружением его в тающий лед, другой же спай приводится в контакт с исследуемым телом. Для точных измерений термоэдс используются мостиковые схемы (см. курс «Электричество»). Материал термопар подбирается таким, чтобы термоэдс E в измеряемом интервале температур достаточно точно была бы пропорциональна разности температур спаев. Область их применения примерно такова, как и термометров сопротивления. Характеристики различных типов термопар можно найти в специальной справочной литературе.

4. **Измерение высоких и низких температур.** Измерение температур свыше 1000°C с помощью термопар и термосопротивлений делается затруднительным из-за резкого изменения свойств последних. В этих условиях температуру определяют по интенсивности излучения исследуемого тела с использованием пирометров, принцип действия которых рассматривается в курсе оптики. Следует отметить, что практическая температурная шкала, фиксируемая постоянными точками, для температур выше 1063°C воспроизводится пирометрами.

При очень низких температурах (ниже -270°C) возникают свои трудности измерения температуры, которые связаны главным образом с тем фактом, что термометры любого типа в этих условиях вследствие теплопроводности изменяют температуру исследуемого тела. Как и в случае очень высоких температур, низкие температуры определяют по свойствам исследуемого объекта. Так, разработан способ определения очень низких температур по изменению магнитных свойств тел (магнитная термометрия).

5. **Газовый термометр.** Термометрическое вещество — газы, достаточно близкие по своим свойствам к идеальному газу. Чаще всего в термометрах используют водород, азот, гелий. Об изменении температуры судят по изменению объема при постоянном давлении (термометры постоянного

давления) или по изменению давления при постоянном объеме (термометры постоянного объема). Газовым термометром измеряют температуры от 2 К до 1300 К.

Предлагаемый для градуировки и последующей измерительной практики газовый термометр содержит обычный воздух. Градуировка термометра проводится по двум реперным точкам: тающий лед и пары над кипящей при атмосферном давлении водой.

Лабораторная установка в условиях ее конкретной реализации максимально приближена к возможности осуществления с ее помощью изохорического процесса с рабочим телом газового термометра. Это достигается в первую очередь за счет того, что объем рабочего тела (воздуха в колбе) во много раз больше объема газа в шлангах, соединяющих ее с правым коленом манометра-термометра. Кроме того, возможные измерения давления над левым коленом манометра практически снимаются колбой-демфером.

В изохорическом процессе давление газа, как рабочего тела термометра, должно линейно зависеть от температуры $P = c \cdot T$. Это в свою очередь значит, что

$$P/T = \Delta P/\Delta T \quad (1)$$

В соответствии с (1):

- разность температур можно измерять через измерение разности давлений;
- отношение разности давлений к разности температур должно быть приравнено к отношению давления к температуре при конкретных условиях (например, при нормальных условиях).

Если в качестве давления при 0°C выбрать обычное атмосферное давление, то $\Delta T = 100^\circ\text{C}$ (100 К) соответствовало бы изменению давления измеряемого водяным манометром (ртутные манометры запрещены) равное:

$$\Delta p = \frac{p_0}{T_0} \Delta T = \frac{10,20 \text{ мм. вод. ст.}}{273 \text{ К}} 100 \text{ К} = 3,74 \text{ мм. вод. ст.}$$

Неразумность использования в лаборатории манометра высотой более 4-х метров очевидна.

Предлагаемый газовый термометр работает в режиме пониженного давления: $P_r = 80 \div 100$ делений по шкале манометра М.

§3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Ознакомьтесь с реальной установкой (газовый термометр), смонтированной в лаборатории. При этом четко уясните назначение различных элементов и узлов предлагаемого газового термометра. Особое внимание экспериментаторов обращаем на необходимость соблюдения правил и последовательности включения (закрытия) кранов, функционирующих в установке, на бережное отношение к основному и

вспомогательному оборудованию.

Все краны, входящие в установку, должны быть открыты.

2. Провести заготовку тающего льда (снега) и воды (для кипячения) в необходимых количествах и соответствующих емкостях. Воды в парообразователе должно быть столько, чтоб колба не касалась жидкости. Приступайте сразу к нагреванию парообразователя с налитой водой.

3. Подключить, если это не сделано, насос Комовского к газовому термометру. Кран K_1 перекрыть.

4. Разместите рабочее тело (колба с воздухом) в пластмассовом термостате с тающим льдом. При этом колба до пробки должна быть целиком погружена в тающий лед (снег).

5. Насосом Комовского в системе создайте необходимый вакуум: $80 \div 100$ делений по шкале манометра М.

Кран K_2 сразу после выполнения предыдущего требования перекройте.

Положение жидкости в коленях манометра-термометра должно остаться на одном уровне.

6. Время выдержки рабочего тела в тающем льде должно быть достаточным для установления теплового равновесия (5 минут).

Перед тем, как перенести колбу с воздухом (рабочее тело) в термостат с паром, кран K_3 необходимо обязательно закрыть.

7. Переместив колбу с воздухом в пары над кипящей водой, внимательно следите за положением уровней жидкости в коленях манометра-термометра.

Разность давлений Δp справа и слева в трубках манометра будет возрастать до тех пор пока температура воздуха в колбе газового термометра не достигнет температуры насыщенных паров над кипящей жидкостью (100°C !).

После того, как разность уровней перестанет изменяться, спустя 1 мин., снимите показания манометра-термометра. Данные внесите в таблицу.

Таблица данных

тающий лед		Пары кипящей воды		$\Delta T_{\text{реп}}, \text{ К}$	$\Delta P,$ мм.вод. ст.	$\Delta T/\Delta p,$ К/мм.вод.ст
$t_0^\circ\text{C}$	$T_0, \text{ К}$	$t_n^\circ\text{C}$	$T_n, \text{ К}$			

*! $\Delta T/\Delta p$ – цена деления по шкале манометра в единицах температуры. Этот показатель и будет основным при последующем использовании проградуированного термометра для расчета измеряемой температуры.

Оставьте положение кранов в прежнем положении.

8. Выньте колбу газового термометра из парообразователя и разместите ее пластмассовой емкости на подоконнике (или на столе экспериментатора) для того, чтоб измерить температуру в данном месте.

Дождитесь установления постоянной разности давлений в трубках манометра-термометра и запишите полученный результат в таблицу. Рассчитайте комнатную температуру.

Если будет предложен еще объект для измерения температуры, то проведите и это измерение.

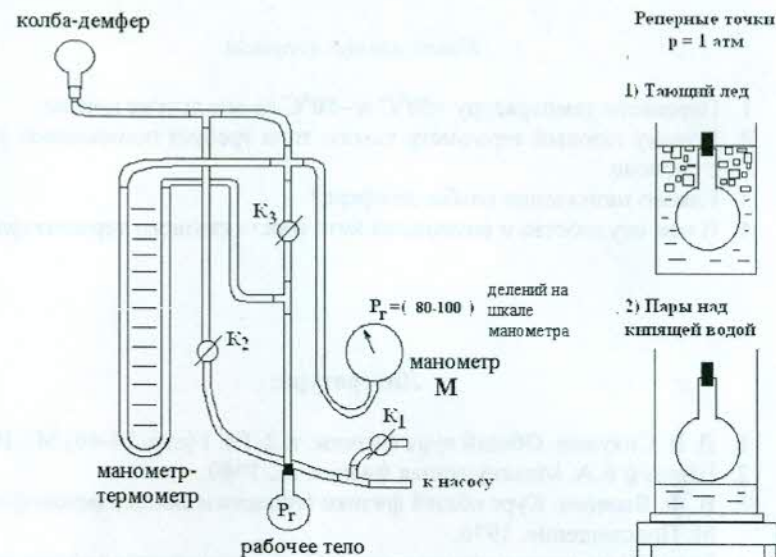
$\frac{\Delta T}{\Delta p}, \frac{K}{мм.вод.ст.}$	$\Delta p_1 \text{ изм.}, мм.вод.ст.$	T_1, K	$\Delta T_1, K$	$\Delta p_2 \text{ изм.}, мм.вод.ст.$	T_2, K	$\Delta T_1, K$

*! Проведите наблюдения за показателями газового термометра при каждом измерении в течение 7÷10 измерений и попытайтесь таким образом оценить случайную погрешность.

9. Завершив выполнение работы, систему приведите в исходное состояние, открывая последовательно краны K_3 , K_2 и K_1 . При этом внимательно следите за тем, чтоб жидкость в каналах манометра-термометра уровень изменяла только медленно.

Замечание:

Понятно, что такой газовый термометр не удобен для повседневной измерительной практики, но с его помощью можно достаточно точно градуировать и проверить другие термометры.



ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ РИСУНОК

Контрольные вопросы:

1. Перевести температуру $+50^{\circ}\text{C}$ и -50°C во все другие шкалы.
2. Почему газовый термометр такого типа требует пониженное давление в системе.
3. Каково назначение колбы-демфера?
4. В чем неудобства и возможная неточность газового термометра?

Литература:

1. Д. В. Сивухин. Общий курс физики. т. 2. Гл. I (стр. 14-40) М.: 1975.
2. Штрауф Е.А. Молекулярная физика. Л., 1949.
3. В. Ф. Яковлев. Курс общей физики (теплота и молекулярная физика) М. Просвещение. 1976.
4. Большая советская энциклопедия. Слова: термометр; температура.
5. Физический энциклопедический словарь. Слова: температура, термоскоп, термометр.