

Измерение температуры в диапазоне 1.2-300 К

Аннотация. Описаны принцип действия, конструкция и порядок работы при измерении температуры холодной камеры криостатов Практикума.

Ключевые слова: температурная шкала ITS-90, газовый и конденсационный термометры

1 Международная температурная шкала ITS-90

Последняя версия международной температурной шкалы принята в 1990 году. Ее краткое обозначение – ITS-90. Фундаментальной единицей измерения величины T , известной как термодинамическая температура, является Кельвин (К), определенный как $1/273.16$ от термодинамической температуры тройной точки воды. По историческим причинам, термодинамическая температура, выражаемая в градусах Цельсия, принимает за нулевую точку отсчета температуру замерзания льда при нормальных условиях, то есть 273.15К. Далее мы будем пользоваться исключительно градусами Кельвина.

Шкала ITS-90 состоит из диапазонов температур, в каждом из которых определен конкретный метод метрологического измерения. Нас здесь, в первую очередь, будет интересовать диапазон гелиевых температур.

1.1 Определение температуры по давлению насыщенных паров гелия

Значения констант в формуле и температурные диапазоны их использования. Н. Preston-Thomas «The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)», Metrologia, 1990, 27(1), 3-10.

$$T_{[K]} = A_0 + \sum_{i=1}^9 A_i \frac{\ln(P_{[Pa]}) - B}{C}$$

	³ He 0,65–3,2К	⁴ He	
		1,25–2,1768 К	2,1768–5,0 К
A_0	+1.053447	+1.392408	+3.146631
A_1	+0.980106	+0.527153	+1.357655
A_2	+0.676380	+0.166756	+0.413923
A_3	+0.372692	+0.050988	+0.091159
A_4	+0.151656	+0.026514	+0.016349
A_5	–0.002263	+0.001975	+0.001826
A_6	+0.006596	–0.017976	–0.004325
A_7	+0.088966	+0.005409	–0.004973
A_8	–0.004770	+0.013259	+0
A_9	–0.054943	+0	+0
B	+7.3	+5.6	+10.3
C	+4.3	+2.9	+1.9

1.2 Газовый термометр с гелием в качестве термометрического газа

Формула для газового ^4He термометра в диапазоне от 3–24.5561К.

Н. Preston-Thomas *The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)*. Metrologia 1990, 27, p.3-10.

$T_{[K]} = \frac{a + bP + cP^2}{1 + B(T)N/V}$, где P -давление в Па, a, b, c -константы, численное значение которых определяют калибровкой при трех известных температурах, N -количество газа в молях, V объем колбы манометра, а $B(T)$ зависящий от температуры второй вириальный коэффициент, учитывающий отклонение от законов идеального газа для ^4He при температурах ниже 4К.

$$B(T) = \left(16.708 - \frac{374.05}{T} - \frac{383.53}{T^2} + \frac{1799.2}{T^3} - \frac{4033.2}{T^4} + \frac{3252.8}{T^5} \right) 10^{-6}$$

2 Практическая реализация термометра на ^4He в стандартных криостатах Практикума

2.1 Конструкция

2.2 Порядок работы

- Подсоедините и подготовьте к работе *газовый термометр*.

Газовый термометр состоит из низкотемпературной камеры и мембранного манометра ®Baratron, которые соединены между собой капиллярной трубкой с внутренним диаметром $\varnothing 0.8$ мм, изготовленной из нержавеющей стали. Для крепления трубки использованы штуцера типа «шар/конус» с прокладками из алюминиевой фольги. Чтобы изготовить прокладки используйте специальный инструмент, – высечки, диаметром 10 и 4 мм.

Проверьте герметичность газового термометра. Для этого его следует откачать, закрыть и наблюдать за ухудшением вакуума $P(t)$ по показаниям мембранного манометра ®Baratron. Если $P(t)$ имеет нелинейный, выходящий на плато характер, то это свидетельствует о процессе десорбции газа (паров воды) и откачку следует повторить. В итоге, ухудшение вакуума менее 10 Торр/сутки (в основном за счет десорбции) можно считать удовлетворительным.

Чем страшна негерметичность газового термометра?

При длительной работе с жидким гелием, в камере термометра может замерзнуть просочившийся через течи атмосферный воздух. Когда жидкий гелий в криостате заканчивается, температура камеры поднимается достаточно быстро, что может привести к резкому возрастанию давления, в объеме газового термометра. Это приведет к деформации или даже разрыву мембраны манометра и к раздуванию камеры.

Заполните объем газового термометра испаряющимся из транспортного дьюара гелием (гелий из *гелиевой сети* может содержать примесь воздуха и капель масляного тумана. Откачайте объем и заполните его гелием еще раз. Выведите формулу для расчета температуры камеры в зависимости от давления в термометре.

3 Программа на графическом языке LabView для работы с газовым термометром

