

О НАИНИЗШИХ ТЕМПЕРАТУРАХ *

В. де-Гааз, Лейден

Как известно, наинизшие температуры осуществлялись до сих пор при помощи жидкого гелия, кипящего при низком давлении. Этот метод требует осуществления двух условий: необходимо применять насосы с большой скоростью откачки и, по возможности, совершенно исключить теплообмен путем излучения. Таким образом Камерлинг-Оннес в конце своей жизни достиг температуры в 0,82 абс. Кеезом позднее достиг температуры в 0,71 абс. Его диффузионные насосы обладали приблизительно в 15 раз большей мощностью, нежели насосы Камерлинг-Оннеса. Однако продвигаться далеко по этому пути затруднительно.

Дебай, уже в 1926 г., заметил (а также Джиок в 1927 г.), что, при адиабатическом размагничивании намагниченных тел, температура должна понижаться. Ланжевен уже раньше высказал ту же идею применительно к кислороду. Наблюдения Дебая относятся к сульфату гадолиния. Его соображения можно формулировать следующим образом: когда какое-либо тело намагничивается, элементарные магниты, которые мы должны себе представить существующими в этом теле, располагаются упорядоченным образом. В таком случае часть энтропии, связанная с этим упорядочиванием, уменьшается, и так как весь процесс мы представляем себе как изонтропический, то часть энтропии, связанная со статистическими движениями, должна увеличиться. Наоборот, когда вследствие размагничивания беспорядок в расположении элементарных магнитов увеличивается, часть энтропии, связанная с намагничиванием, возрастает, между тем как часть, связанная со статистическими движениями, убывает и тело охлаждается.

Для того чтобы получить отчетливые результаты, необходимо принять во внимание ряд обстоятельств: 1) элементарные магниты не должны быть уже упорядочены (тело — не ферромагнитное); 2) элементарные магниты должны обладать по возможности большим магнитным моментом, поскольку это не стоит в противоречии со сказанным в пункте 1; при низких температурах действие будет наиболее сильным, так как при этих условиях часть энтропии, относящаяся к упорядоченному состоянию, должна быть сравнимой с другой частью, между тем как одновременно упорядоченность сильно возрастает. Экспериментальные условия сле-

* Nature, 132, № 3332, p. 372 (9 Sept.), 1933; Naturwiss, 21, 732 (№ 41, 13 Oktober), 1933.

дующие: можно надеяться на получение очень низких температур, если излучение и конвекция по возможности устранены. При описываемых опытах эти условия осуществлялись.

Охлаждаемое вещество служит одновременно и термометром. Расположение опыта в очень схематическом виде представлено на рис. 1. Стержень *A* укреплен на весах. На нижнем конце этого стержня повешен маленький вакуумный сосуд. В этом сосуде находится, как показано на рисунке, стеклянный стержень *B*, к нижнему концу которого прикреплена трубочка, наполненная CeF_3 (CeF_3 выбран по указанию Г. А. Крамерса, см. Leipzig. Vorträge, 1933). Весь прибор расположен между полюсами большого лейденского магнита — и при том расположен так, что CeF_3 находится в месте, где $H \frac{dH}{dx}$ имеет наибольшую величину (x = вертикальная координата).

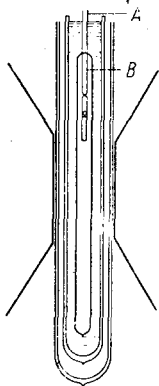


Рис. 1. Схема расположения опыта для получения весьма низких температур. Трубочка на нижнем конце *B* содержит CeF_3 . С обеих сторон сосуда указаны полюсы магнита.

Весь нижний конец стержня с маленьким вакуумным сосудом целиком окружен жидким гелием, кипящим при $1,26^\circ \text{K}$. Тепловая изоляция CeF_3 настолько хороша, что должно пройти 4—5 час., прежде чем весьма малое количество соли с чрезвычайно ничтожной теплоемкостью охладится до 126°K (теплоемкость убывает пропорционально T^3). Но откуда известно, что указанная температура в конце концов достигается? Оказывается, что CeF_3 показывает свою собственную температуру. Парамагнитное тело втягивается полем ($31 \text{ K}\text{\AA}$) с силой $K = M \cdot \frac{dH}{dx}$, где M — есть полный момент, действующий на тело. Так как $M = \varphi(H, T)$ и так как H постоянно, то путем измерения K можно легко установить момент, когда T становится постоянной. Как только это наступает, происходит размагничивание; при первых опытах это размагничивание происходит до $2,4 \text{ K}\text{\AA}$, при последующих — до 1000 и 500. В этом слабом поле мы измеряем силу, действующую на весы как функцию времени, и получаем, таким образом, кривую, изображенную на рис. 2.

Точка *A* на кривой отвечает силе при самой низкой температуре, между тем как асимптота отвечает силе при $1,26^\circ \text{K}$; устанавливающейся по истечении продолжительного времени. Крутое спадание кривой вначале объясняется тем, что в вакуумном сосуде намеренно оставлены следы гелия (10^{-7} мм) для теплового контакта. Газообразный гелий конденсируется и отдает свою теплоту конденсации. Если оставить еще меньшее количество гелия, то форма кривой изменяется и нагревание со временем идет очень медленно. Холод является как бы „пойманным“. Возникает, до некоторой степени, абсолютный вакуум и теплота уже больше не подводится.

Величины силы прямо пропорциональны моментам и остается только определить, какие температуры отвечают этим моментам. Соотношение между температурой и моментом было найдено между $4,2^\circ \text{K}$ и $1,3^\circ \text{K}$. Это соотношение было линейно экстраполировано, хотя кривая обнаруживает менее сильное возрастание момента, нежели это отвечает линейной экстраполяции. Мы можем, таким образом, указать лишь верхнюю границу температуры.

Первые опыты в марте—апреле 1933 г. были сделаны со фтористым церием и дали для верхней границы температуры $0,27^\circ \text{K}$. Позднейшие опыты с этилсульфатом диспрозия дали верхнюю границу в $0,14^\circ \text{K}$. Наконец, опыты в июле 1933 г. с этилсуль-

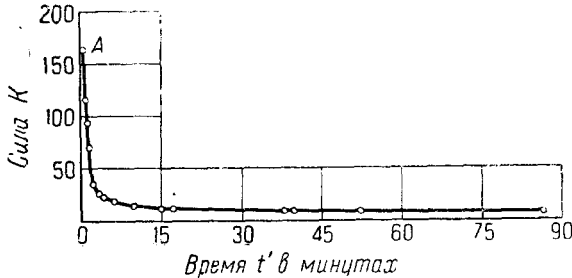


Рис. 2. Пример измерения температуры путем определения силы на образец в магнитном поле: нагревание образца после размагничивания A на $2,16^\circ \text{K}$.

фатом церия дали в качестве верхней границы $0,085^\circ \text{K}$. Вполне возможно, что с избранным нами расположением опыта могут быть достигнуты значительно более низкие температуры. Успех дальнейших опытов определяется выбором подходящего тела. Я убежден, что экспериментальное расположение приведет к теоретически возможному предельному значению.

Понятие температуры установлено при помощи идеального газа. Определение температуры производится при помощи гелиевого термометра с учетом необходимых поправок. Однако при достигнутых нами низких температурах, поскольку я мог убедиться, всякая возможность определения температуры газовым термометром исключена. Необходимо согласовать с абсолютной шкалой температур некоторый иной процесс и, в частности, можно воспользоваться магнитной шкалой. Подобно тому как это делается в газовой термометрии, должны быть найдены некоторые вещества, которые, в пределах достаточно значительного интервала температур, ведут себя одинаковым образом. Развитие соответствующей теории в таком случае сделает возможным создание магнитной термометрии, обладающей такою же достоверностью как и газовая термометрия.

Следует, однако, сделать оговорку для того случая, когда применяемое тело при очень низких температурах могло бы приобрести

ферромагнитные свойства или обнаружить какой-либо новый и своеобразный ферромагнетизм. В этом случае о температуре можно будет сказать мало.

Дальнейшее большое затруднение вытекает из следующего: если нужно, при помощи описанного процесса, охлаждать другое тело, то вопросы теплового контакта создают большие затруднения. Излучение имеет неизмеримо малую величину, а упругость гелия также настолько мала, что тепловой контакт при помощи газообразного гелия едва ли можно принимать во внимание.

Опыты, описанные выше, были произведены совместно с консерватором Лейденской криогенной лаборатории д-ром Е. Вирсма, которому я очень обязан помощью и многочисленными советами. Равным образом, я очень обязан проф. Г. А. Крамерсу ценными теоретическими соображениями.