

Mitteilungen

Der Abfall der Atomwärme bei tiefer Temperatur als Vorlesungsversuch¹⁾

Von

KLAUS CLUSIUS, Zürich

(mit 2 Abbildungen im Text)

1. Der von WALTER NERNST und seinen Mitarbeitern 1910 entdeckte Abfall der spezifischen Wärme aller festen Körper bei tiefen Temperaturen gehört zu den Tatsachen, die sich als eine Konsequenz der Quantentheorie herausgestellt haben. NERNST regte damals die von EUCKEN ausgearbeitete Methode des Vakuumkalorimeters an, um den Verlauf der wahren spezifischen Wärmen exakt zu messen. Dabei dient der Versuchskörper selbst als Kalorimeter, dem man eine bestimmte elektrische Energiemenge als JOULEsche Wärme zuführt. Die dadurch hervorgerufene Temperaturerhöhung misst man mit einem Widerstandsthermometer oder Thermoelement. Man kann dieses Verfahren zu einem Vorlesungsversuch ausgestalten, der den verschiedenen schnellen Abfall der Atomwärme der Metalle anschaulich zeigt, wenn man die elektrische Temperaturmessung durch ein Gasthermometer ersetzt.

Sehr geeignet ist das unterschiedliche Verhalten von Eisen und Blei für diesen Versuch, deren Atomwärme als Funktion der Temperatur auf Abb. 1 wiedergegeben ist. Bei Zimmertemperatur hat das Blei eine Atomwärme von $6,28 \text{ cal/g-Atom}^\circ$, das Eisen eine solche von $5,80 \text{ cal/g-Atom}^\circ$; beide Elemente weisen also nahezu den Dulong-Petitischen Wert für die Atomwärme auf. Dagegen beträgt bei der Temperatur der flüssigen Luft, d. h. etwa 85° K , die Atomwärme des Eisens nur $2,22 \text{ cal/g-Atom}^\circ$, während die des Bleis nur wenig, nämlich auf etwa $5,81 \text{ cal/g-Atom}^\circ$ abgesunken ist. Führt man je einem Grammatom der Metalle dieselbe elektrische Energiemenge bei Zimmertemperatur zu, so steigt ihre Temperatur praktisch gleich schnell an. Wiederholt man jedoch den Versuch, nachdem die Probekörper mit flüssiger Luft abgekühlt worden sind, so muss die Temperatur des

Eisens um $\frac{5,81}{2,22} = 2,62$ mal schneller steigen als die des Bleis, da seine Wärmekapazität im genannten Verhältnis abgenommen hat.

2. Abb. 2 zeigt ein Schema der Versuchsanordnung. Die als Gasthermometer hergerichteten Probekörper Pb und Fe hängen an dünnen Neusilber- oder Stahl-Kapillaren in zwei Behältern B_1 und B_2 aus Messing, die zur Verminderung der Wärmezufuhr oben zweckmässig in Neusilberrohren R_1 und R_2 enden. Auf eine Evakuierung der Behälter wird für Demonstrationszwecke der Einfachheit halber verzichtet, was bei der Einhaltung bestimmter Grössenverhältnisse durchaus möglich ist. Jede Stahlkapillare führt zu einem gläsernen T-Stück, das einerseits in einem Hahn endet, andererseits mit einem mit gefärbtem Wasser gefüllten Manometer (M_1 und M_2) mit grober Skala verbunden ist. Zweckmässig kommunizieren beide Behälter ebenso wie die Gasthermometer über Chlorkalziumrohre mit der Aussenluft, damit keine Feuchtigkeit eintritt. Die Hähne der Manometer dürfen nur während des Versuchs geschlossen werden; sonst sind sie stets offen zu halten, damit nicht bei der Abkühlung die Manometerflüssigkeit in die Kapillaren eingesogen, bzw. bei der Erwärmung nach dem Versuch aus dem Manometer herausgedrückt werden kann.

Da die Atomvolumina von Blei ($18,3 \text{ cm}^3$) und Eisen ($7,1 \text{ cm}^3$) recht verschieden sind, die Gasthermometer aber ein gleich grosses Volumen haben müssen, fallen die Dimensionen der beiden Versuchskörper unterschiedlich aus. Der Bleizylinder ist aussen 60 mm lang bei 27 mm Durchmesser, der Eisenzylinder 54 mm bei 25 mm Durchmesser. Die als Gasthermometer dienenden zylindrischen Höhlungen haben bei 50 mm Länge 22 mm Durchmesser und sind symmetrisch zu den Aussendimensionen angeordnet. Der Bleizylinder wird aus einem passenden Gussblock gedreht und ein Bleideckel mit

¹⁾ Vorgeführt in der Physikalischen Gesellschaft Zürich am 17. Februar 1950.

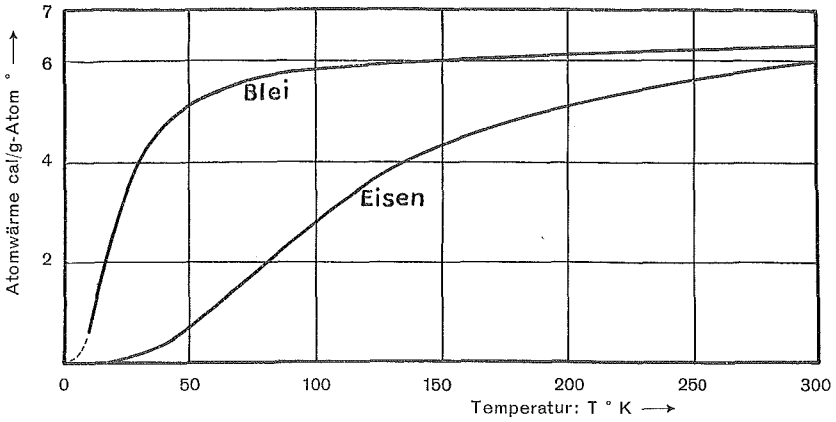


Abb. 1 Verlauf der Atomwärme von Blei und Eisen unterhalb von Zimmertemperatur.

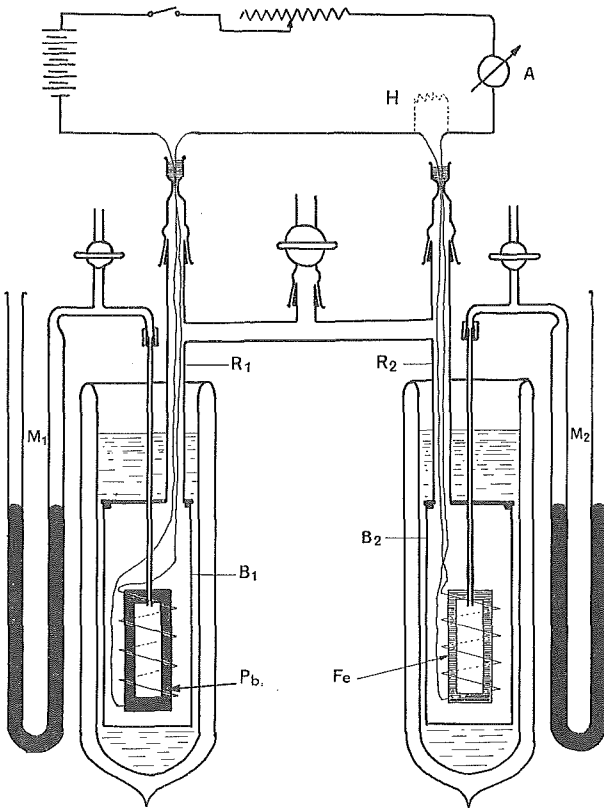


Abb. 2 Schema der Anordnung zur Demonstration des stärkeren Abfalls der Atomwärme des Eisens verglichen mit dem von Blei.

Bleilot (80 % Pb, 20 % Sn) und Stearinsäure-Talggemisch als Flussmittel eingelötet. Der eiserne Zylinder wird aus Automatenstahl gefertigt, der Deckel eingeschweisst und nachträglich nochmals überdreht. Die Körper wiegen etwa 164 und 44 g.

Die Versuchskörper erhalten 0,3 mm tiefe Spiralnuten eingeschnitten. Diese nehmen gleich lange Stücke mit Seide isolierten Manganin- oder Konstantandrahts von etwa je 80 Ohm Widerstand auf und werden durch etwas Japanlack mit dem Metall in guten thermischen Kontakt gebracht. An die Enden des Drahtes sind 0,3 mm dicke seideisolierte Kupferdrähte angelötet, die zu einem Kabel vereinigt und durch eine Kitzung am oberen Ende der Neusilberrohre herausgeführt werden.

Die Heizwiderstände sind mit einem Demonstrations-Amperemeter A in Serie geschaltet. Bei den angegebenen Dimensionen gibt eine Spannung von 60 Volt eine Stromstärke von 0,37 Amp, wodurch ein gut beobachtbares Ansteigen der Manometer bei Zimmertemperatur bewirkt wird, das einer Erwärmung von etwa 30° C in der Minute entspricht. Trotz aller Sorgfalt bei der Herstellung wird vielleicht anfänglich eine kleine Unsymmetrie hinsichtlich der Erwärmungsgeschwindigkeit bestehen. Da es sehr mühsam wäre, durch Wegnahme von Material an dem zu schweren Körper die genaue Kompensation der Ausschläge herbeizuführen, schaltet man einen passenden Widerstand parallel zu dem Heizdraht, der die zu schnelle Erwärmung bewirkt. Man ermittelt dazu einmal den richtigen Wert des Hilfswiderstandes H durch Probieren, und wickelt sich eine entsprechende Spule aus Manganindraht, die fest mit auf das Grundbrett montiert wird.

3. Zu Beginn der Vorlesung wird nach dem Schliessen der Manometerhähne das gleichmässige Ansteigen der beiden Manometerflüssigkeiten beim Einschalten des Stromes gezeigt. Darauf werden die Hähne geöffnet und beide Messingbüchsen in flüssige Luft getaucht. Die Abkühlung dauert wegen der schlechten Wärmeleitung der die Versuchskörper umgebenden Luft etwa 40 Minuten. Das eingetretene Temperaturgleichgewicht kann daran erkannt werden, dass die Manometer beim Schliessen der Hähne in Ruhe bleiben. Schaltet man jetzt den Strom wieder ein, so beobachtet man ein viel schnelleres Ansteigen des Manometerdruckes auf Seiten des eisernen Versuchskörpers, ein Beweis für den viel stärkeren Abfall seiner Atomwärme.

Bei dieser Gelegenheit bemerkt man leicht, dass die Empfindlichkeit der Anordnung bei der Temperatur der flüssigen Luft etwa 3,5mal so gross als bei Zimmertemperatur ist. Man erkennt dies daran, dass auch das Bleithermometer erheblich schneller steigt als bei gewöhnlicher Temperatur. Die Zuhörer sollten auf dieses Ergebnis gleichfalls hingewiesen werden, das für das Verhalten der Gasthermometer charakteristisch ist. Es gilt nämlich

$$p v = n R T$$

und für die Temperaturempfindlichkeit

$$\frac{d p}{d T} = \frac{n R}{v} = \frac{p}{T}$$

Da wegen der bei der Abkühlung geöffneten Hähne sowohl bei Zimmertemperatur wie bei der Temperatur der flüssigen Luft in den Gasthermometern zu Versuchsbeginn Atmosphärendruck herrscht, ist die Empfindlichkeit der absoluten Temperatur umgekehrt proportional. Sie ist also bei flüssiger Luft um $298/85 = 3,5$ mal grösser.