

553341

3331

1144

低溫物理學淺說

譯者 張壽彭



徐氏基金會出版

553341

3331
1144

低温物理學淺說

譯者 張壽彭

徐氏基金會出版

內政部登記證內版台業字第1374號

中華民國五十八年元月十五月初版

低溫物理學淺說

版權所有
不准翻印

出版者 徐氏基金會出版部

台北郵政信箱3261號

香港郵政信箱1284號

發行人 鄧 普 賢

台北林森北路608號三樓

譯 者 張 壽 彭

經濟部聯合工業研究所

定 價 新台幣十五元

港 幣二元五角

序

在世界科學文明已進步到太空時代的今天，任何一個人都了解發展科學的重要性，談發展科學，必須提高大家研究科學的興趣，才能按步就班地求發展。

本基金會對於海內外中國人士從事發展科學研究的情況，向來都寄予深切的關心，過去六年，本會曾資助大學理工科畢業學生前往國外深造，贈送一部份學校科學儀器設備，同時選譯世界著名科學技術書籍出版供給在校學生及社會大眾閱讀，其目的都在幫助促進科學發展。

我們深深希望自由中國的科學家和工程師們了解本基金會的用意，主動的重視科學技術書籍為發展科學的基本工具，從事寫作和翻譯，並且熱誠盼望與我們聯繫合作，我們願意運用基金從事各種出版工作，共同為我們邁進工業化的途徑而努力。

徐氏基金會

1967年11月

3-4-8/02

徐氏基金會啓事

- 一、凡對本書任何一部份，或本會所出版之其他書籍，能在內容及文字方面，提供建議，致使讀者更易迅捷了解書中意義者，如被採納，當致酬美金十二元五角至一百二十五元（折合新臺幣五百元至五千元），以示謝意。
- 二、本基金會爲了提倡及鼓勵我國同胞研究科學的興趣，進一步希望達到發展科學的目的，特公開徵求下面各類有關的中文創作及翻譯稿件。

甲、自然科學類：

數學，化學，物理學，及生物學。

乙、技術及工程類：

機械工程，電機及電子工程，無線電，電視，電信，汽車修理，鐘錶修理及製造，房屋建築，木工，水泥工等以及機械工程，電機工程及土木工程的製圖。

丙、醫學類：

個人及家庭保健衛生等一般醫學常識及教育方法。

凡是應徵的稿件必需採用通俗而流暢的筆調，使得社會一般人士及中等以上學校的學生容易吸收及了解爲原則，至於科學同技術方面的名詞應以國立編譯館所譯經教育部審定公佈的名詞爲標準。

稿酬：應徵稿件經過本會審查接受者，一律按每一千字新臺幣一百元（美金二元五角）核付稿費，如果本會認爲

內容特佳，並得提高其稿酬。

三、獎助：經本會接受付給稿費以後之創作及譯稿，其版權即屬於本會所有，並由本會出版，分別在臺灣、香港、星加坡等地區銷售。

本會將在各該書籍出版以後的第二年年底，核計其總銷售量，並分別贈與作者及翻譯者下面三種獎金。

1. 銷數佔第一位者：獎給新臺幣二十四萬元（美金六千元）
2. 銷數佔第二位者：獎給新臺幣一十六萬元（美金四千元）
3. 銷數佔第三位者：獎給新臺幣八萬元（美金二千元）

獎助辦法實行期間：自即日起，每年頒獎一次，暫定實行三年。

應徵者請直接向香港郵政第一二八四號信箱徐氏基金會接洽

原 序

這本小冊子的目的是打算將低溫物理學中許多有趣題材作一番綜合性的介紹，完備當然是談不上的。我把精神集中於我所熟知的部分，因為我覺得即使把自己耳熟能詳的東西寫出來已經夠難了，再要想弄些艱深的題材攙進去形諸筆墨，簡直是不可能的！

本書有很多註解，旨在解釋一些不太常見的名詞，或簡述有關的科學家的生平。倘若這些註解會使你的注意力分散，可以不必理它，至少讀第一遍時不必理它。也許我算是個樂觀派，因為我認為本書還值得閱讀第二遍呢！

本書雖然薄，但對某些不能抽出時間讀完它的讀者，我建議，也許第一章或最後一章（反過來讀也可以）可以給你一些使你着迷的觀念，這些都是作者在研究這一門學問時有幸或多或少地受用過的。

在此，我應向下列諸位致謝：

道安特博士 (Dr. J. G. Daunt)，孟德爾松博士 (Dr. K. Mendelssohn)，及皇家學會 (Royal Society)。圖 12 係道安特及孟德爾松二位博士論文中之插圖 (Proc. Royal Society A942, 423, 1939)。

薛恩堡博士 (Dr. D. Shoenberg) 及劍橋大學出版處。圖 10 是由薛恩堡博士超導性一書中第 VII 表複製的 (Cambridge University Press, 1952)。

皇家學院院長布拉格爵士 (Sir Lawrence Bragg)，照片 V 是他供給複製的。

麻省、劍橋李托有限公司 (Arthur D. Little Inc.) 副主席麥克馬亨博士 (Dr. Howard O. McMahon)，照片 VI 是他供

IV

給複製的。

費爾弱德小姐協助打字抄稿；司彭 (J. Spong) 小姐及著者妻女協助校對等工作，謹在此一併致謝。

D·K·C·麥唐納 1961年於渥太華

目 錄

原序	V
第一章 何謂低溫物理學？	1
熱、運動、原子的混亂——凱氏絕對溫標	
第二章 如何製造低溫？	17
原子的有序及無序——「磁性冷卻」——低溫的保持	
第三章 傳導性與超導性	33
低溫狀態下的電阻——超導性之發現——超導性與磁——	
蒲朗克常數——計算機的低溫裝置	
第四章 氦——有趣的物質	53
原子間的作用力——零點能量——超流體——輕氦之行	
爲	

第五章 低溫物理學在其他科學上 之應用

61

化學與低溫——物理與工程——醫學技術上之應用

——溫度與宇宙

第一章

何謂低溫物理學

美洲北部的冬夜，溫度冷到 -40°F （此時剛好也是 -40°C ）左右，並不是一件什麼希罕的事。在這種地方渡過若干嚴冬的人們，說不定很瞭解，何以居然有人想要在實驗室中製造這麼低乃至於還要低的多的溫度。他們還可能問，這種低溫有什麼用處？我希望本書能使您明白，為什麼在極低溫度下的實驗，不僅使我們容易了解物質的性質——包括常溫下的物性——而且還可以幫助人類善用自然，例如藉改良導體以輸送電力。各位想必同意，對自然現象作有系統的研究，有其固有的、為科學而科學的意義；換句話說，無論是高溫或低溫，在北極還是在撒哈拉大沙漠，研究有生命或無生命的世界，都是值得做的。我相信人類跟其他動物的區別，最重要的就在這種不停的追求能力上。有些人永遠保持一種質疑的敏感，企圖了解自然界的現象。這種好奇心，這種敏感，正是科學進步的源泉。

請不要誤會，以為我讀成科學家應藏身「象牙之塔」與世隔絕。我個人認為頗可欣慰的是，由於對科學的了解，我們已經獲得許多幸福的成果，如留聲機（我喜歡欣賞音樂）電影、電爐、電冰箱（我也愛吃、愛喝）、彈簧床墊、油暖爐以及其他許多東西。但是另一方面，由於科學的進步，社會急速的技術化，以致人類有自我毀滅的可能，使我們大家都生活在困擾和憂鬱的氣氛中。很明顯的，科學研究的結果本身無所謂好壞；要看人們如何去應用它們。在此，我要強調，科學的探討和「研究」，就其本身而論，是一種有價值的、高貴的、人本意味的工作，我不相信它一定要有某種偏重或立場。當然，有些人也許渴望聲譽，或獲取較高的薪給，諸如此類不一而足，而這種企圖，正可以反映出科學家和學者，也都跟我們一樣是活生生的人。但

2 低溫物理淺說

是現在有一等人，老是想從別人的工作中尋求某些背後的動機或隱藏的目的，這實在是可悲的。因為毫無疑問的，最佳的及最有價值的研究工作——至少在目前——都是由那些除了他們所欲解決的問題以外，對其他任何事物都不感興趣的人們完成的。這種工作動機，跟驅使希拉瑞 (Hillary) 和田興 (Tensing) 攀登埃弗勒士峰一樣，是不假外求的。當然，每人都有自己的嗜好。我一想到要攀登一座小山，便會毛骨悚然，而且我可以斷言，埃弗勒士峰準會把我的骨髓凍結起來；反過來，希拉瑞爵士也許會認為再沒有比作低溫實驗更令人倒胃口的事了！好了，現在還是言歸正傳吧。

首先，我們要大概的了解一下所謂低溫的含意，以及它在物理科學中的一般意義，然後以下諸章中，再詳盡的一一加以討論。因此，若本章有不夠詳盡之處，尚請各位暫時原諒，只要能有個粗略印象就夠了。

太陽表面的溫度約 6000°C ，但這並不是太陽產生輻射能的所在，那是在太陽內部有核子反應的地方進行的。太陽深處的溫度很可能在攝氏四千萬度左右——這是天體物理學家說的（註1）。這個溫度比我們日常生活中的溫度大約高出十萬倍，而此種極高溫度下的核子反應，對於物理科學而言自是非常重要的一部份。相反的，比我們日常生活中的溫度低幾十萬倍時又如何呢？研究如此冷的事物有什麼意義或目的沒有？所謂冷上幾十萬倍的事物究竟是什麼意思呢？這兩個問題多多少少算是低溫物理學的核心所在，以下將分別加以粗略的解答。

熱、運動，和原子的混亂

首先要說的是物體都有它的「熱度」。直到一百年前，人們還在懷疑物體變熱是由於什麼東西進入其中所致，換句話說，有關熱的本

（註1）最近剛聽說一位專家邦地教授 (Professor Hermann Bondi) 說，太陽中心的溫度只不過一千三百萬度；看來有關這一點的誤差真不算小呢！

質問題還是學者們聚訟紛紜的一項話題。平常一談到我們很熱時，大家自然都明白是什麼意思；這種說法表示我們有不舒服的感覺。如果覺得太熱，則可能很不好受了。從醫學上的觀點來說，這種症候是極令人擔心的。我們不要忘記，一切科學都從人類的感官開始，例如質量的觀念，是由於人類覺察到物體的「重量」引起的；力的觀念，則是由推動物體的難易感覺出來的。但是你却不能問一張椅子或桌子是否不舒服了？或是否覺得太熱或太冷？此外，倘若缺少某種獨立的尺度時，我們就無法測定物體冷熱的程度。因此，一般而言，單靠個人的感覺，是無法對自然界的冷熱加以判斷的（先把雙手分別浸在一冷一熱的水盆中，再同時浸在同一盆水裡，兩手將有不同的溫度感覺）。湯遜（Benjamin Thomson）（後為巴瓦利亞的鑾福特伯爵（Count Rumford of Bavaria））（註2）對於物體變熱在物理上的意義，是敘述得既清楚又明確的最初數人中的一位。1798年他寫道：「……對既能激發又可傳導的東西——像熱在許多實驗中所表現的那樣，要我形成一種清晰的觀念，除了（原子）運動外，雖非不可能，也是頗為困難的。」這是說物體受熱時，其中原子便漸漸加強振動，亦即原子的能量逐漸增加。這個定義對於人的冷熱感受並未以任何方式加以改變；但的確能表示物體（生物或無生物）受熱時，能量增加的通性。這種性質很容易測量出來。有關物體冷熱（即溫度）的科學，基本上是跟原子或分子所具有的能量分不開的。

現在以大家熟悉的一種情況來討論一下。假設在極冷的天氣下，拿一塊冰來，如用適當的X—射線照射（這可使我們了解原子或分子的排列情形），就可發見水分子排列成一種極有規則的型式，即所謂

（註2）湯遜1757年生於美國麻省吳堡。他對英國倫敦皇家學院（Royal Institution）的建立著有功績。學院成立之初的院長是戴維爵士（Sir Humphrey Davy）和法拉第（Michael Faraday）。湯氏的著名論文載於1798年倫敦的皇家學會會報，討論的是摩擦生熱。他在引言中說：「在日常生活中，常有許多機會觀察一些極奇妙的自然作用……。（我）相信，若有注視各種現象過程的習慣時，生活常常可以導致……寶貴的疑問，以及切合實際需要的計劃……相形之下，要比哲學家的深思冥想有用的多。」對這一段敘述，筆者不敢贊一詞！

“晶體格子 (lattice) ”。此種規則的原子排列，使許多物質顯出一定的結晶形態，使雪花呈現常見的那種美麗而規則的花樣。但即使在地球上最冷的日子，冰的晶體內的分子仍然並非完全固定的。要是用一種「放大兩百萬倍的顯微鏡」來觀察它們，便會發見每一個分子都在急速的跳動，但平均位置則差不多沒有改變。若用專門術語來說，便是各個分子都在以其平衡位置 (Position of equilibrium) 為中心不停的振動 (見圖 1)。若把這塊極冷的冰稍微加熱，繼續觀察，我們會發現隨著溫度上升，冰的分子振動得越來越激烈，分子運動的增強，表示冰的晶體內熱能的增加。倘若一直加熱，最後 (到達 0°C 時) 必會因為分子振動太過劇烈，而使冰的晶體無法維持其完美的規則型式。當這種作用開始時——它開始得很突然——每個分子便穿梭於其他分子間，所以他們不僅迅速的振動著，並且還迅速的向各方擴散，不會在一處長久的停留。這時，一件十分戲劇化的事情發生了！這塊又硬又脆的冰，忽然之間變成一團流動的液體——冰已經變成水了。這種突然熔解的情形，是自然界中最令人激賞的景色之一。如果沒有這些現象，很多使人興奮的宇宙奇觀，尤其是在加拿大境內的冰川凍原在大地春回時呈現的美景，我們都無福消受了！

如把已經熔成水的冰繼續加熱，即可發現水中各分子向周圍運動得愈來愈自由 (用專門術語來說，便是黏滯性減小；油受熱時，這種情形是很明顯的，它會很快的“爆跳”起來)。只要不過分加熱，則就整體而言，水分子仍然是聚集在一起的；這是由於分子之間的引力，但如果再加上很多熱量 (約到攝氏 100°)，每個分子的運動就更快，並開始打破聚集狀態而飛散，可能一去就不回了。這種現象發生時，我們就說水汽化成蒸汽了。

現在再舉一個比較簡單的例子，以說明上述現象的主要特點，或許更直接了當些。假設在一間教室裡有一群小孩子，按著座位整整齊齊的坐著，他們有位很嚴厲的老師 (如果我斗胆說一句他或她甚至有權敲他們的手板，不曉得各位會不會見怪？) 小朋友起初乖乖地很

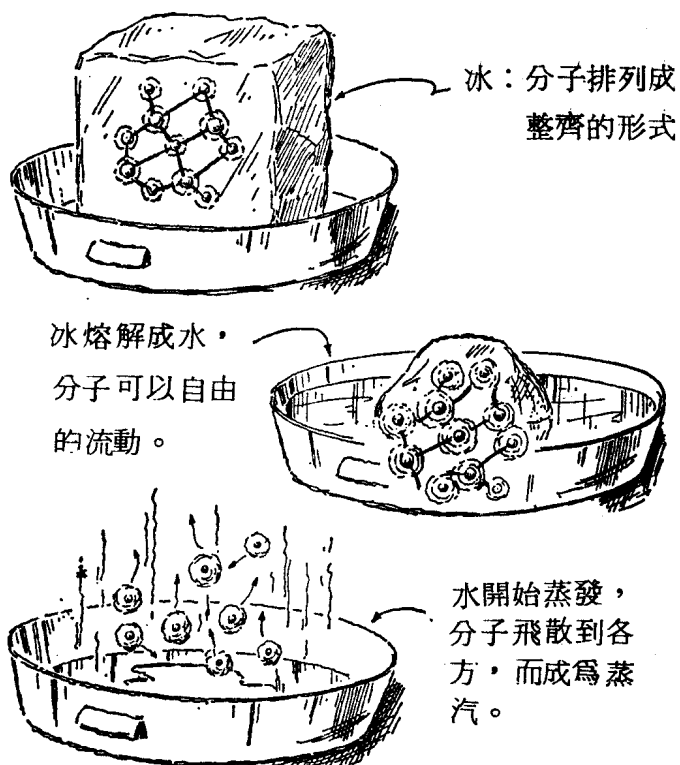


圖 一

6 低溫物理淺說

有秩序的坐在自己的座位上。後來，老師注意力稍微分散了，他們就漸漸扭動起來，最後老師離開教室幾分鐘，小朋友便開始由這個位子溜到那個位子去了。這時，我們可以說孩子們的規則性或「結晶型態」「熔解」了，形成了液態的娃娃群。他們因為還料到老師會回來，所以雖然由這個位子溜到那個位子，卻始終就在教室裡。過些時候，知道老師不會回來了，很快的，他們就溜出門口，有些甚至從窗戶跳出去，跑到操場，甚至溜到野外去，離學校越來越遠，大多數都不回來了（至少在明天以前不會回來）。這時，我們就說液態的學生「蒸發」成「氣態」的小孩，並且很快的奔向各方去了。就整體而言，他們不會再互相「拉扯」了。在此我要努力說明的是，這些孩子之越來越「不守規矩」，多多少少與冰塊加熱最後汽化的情形相似；冰受熱後，其中原子的運動越來越不規則，最後向各方飛散了。大致說來，物體的溫度越高，其原子的混亂程度也越大。反之，將物體冷卻到低溫，原子就越來越有秩序。在上面的例子中，我們把老師好有一比，比作一位低溫物理學家，他能把原來亂成一團的情況誘導為井然有序。

再舉個例子好讓各位對上述的一般概念更清楚些。假如把銅或銀的金屬線接到電池上（圖2），在一段時間內，金屬線上會有電流通過，但電池最後會消耗掉，因而不能再使電流通過導線。現在我們已經知道，金屬之導電，是由於原子排列成金屬的晶體結構時，每個原子都捐出一個或兩個電子當做共同「基金」，而這些電子大體上是可以自由運動的。所以在金屬上加一電壓，便可以推動電子產生電流。要是繼續用電壓推動電子，而沒有阻止電子運動的因素時，它們便越走越快，導線中的電流也就越來越大。但實際情形並非如此。當電子群開始要通過導線時，會覺得很難穿過構成這種金屬的原子；它們經常會撞上原子。碰撞的結果有二：第一，連續碰撞產生了電的「摩擦」（專門術語稱為金屬的電阻），此種阻力限制了電子前進的速率，換句話說，它限制了一定電壓下的電流大小，此種電流與所施之電壓成正比的關係，稱為歐姆定律（註3）。第二，推動電子通過導線要消耗能量，因此過些時候電便消耗掉了（原有的電能因用來克服金

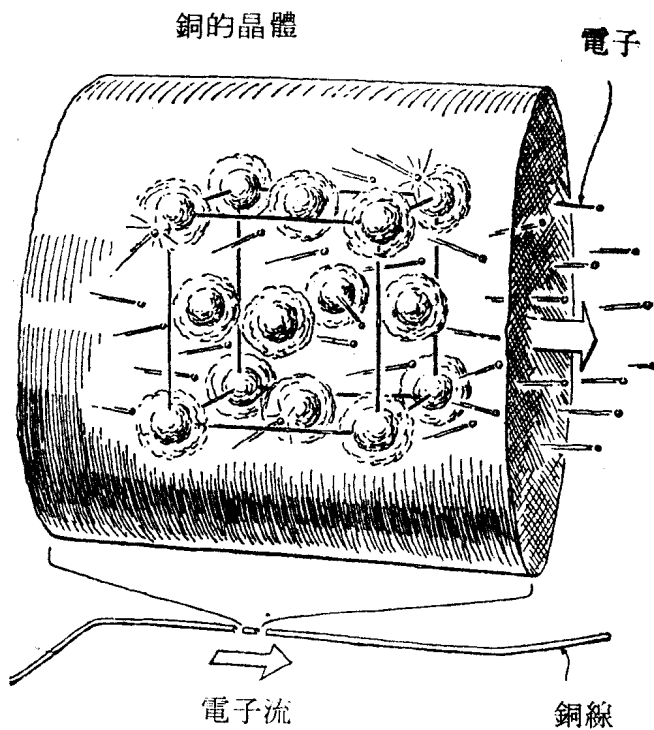


圖 二