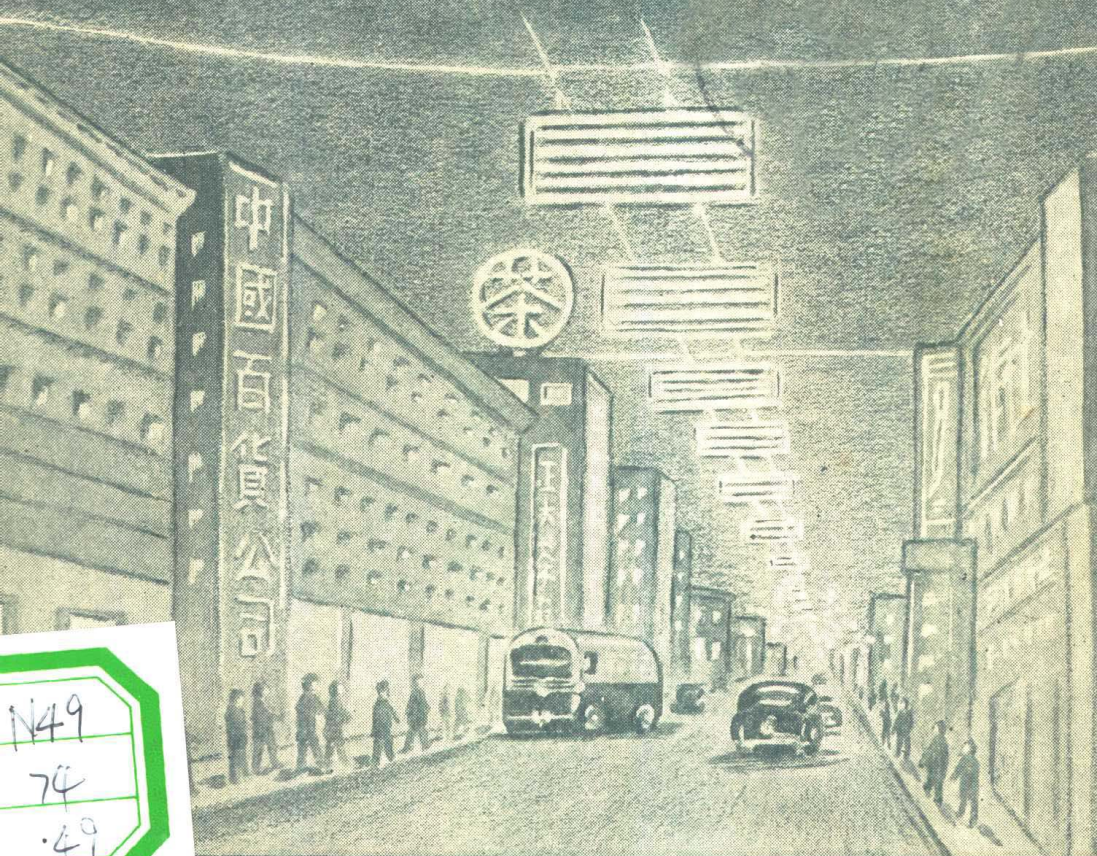


冷的光源

徐克明



中華全國科學技術普及協會出版

本書提要

冷光(發光)是一种有趣的自然現象。這本書通俗地講述冷光的科学原理和它在科学技术各个部門中的广泛应用。它从篝火、白熾电灯、弧光灯、太陽等热的光源說起，說到各式各样的冷的光源——發光生物、磷火、極光、霓虹灯、日光灯、夜光表以及倫琴射綫机和电视接收机的發光屏，也說到了發光分析和原子物理学中的重要技术裝置——閃爍計数器。讀了這本書，可以得到許多有关發光的科学技术知識，可以对我們周圍的物質世界有进一步的認識。

总号：412

冷的光源

著 者：徐 克 明

校閱者：許 少 鴻

繪圖者：王 永 杰

出版者：中华全国科学技术普及协会

(北京市文津街3号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第053号

發行者：新 華 書 店

印刷者：北 京 市 印 刷 一 厂

(北京市西便門南大街乙1号)

开本：31×43¹/₁₆

印張：1²/₁₆

1956年10月第1版

字數：19,000

1956年10月第1次印刷

印數：20,550

統一書号：13051·2

定价：(9)1角5分

在宇宙間，热常常和光紧密地联系着。我們可以發現，放光的東西（就是所謂“光源”）常常很热，好象高热和放光是分不开的。比如，拿太陽來說，它就很热，它的表面温度高到攝氏六千度。但是，它还不是最热的光源。有些恒星的表面温度更要高——高到几万度！今天的絕大部分的人工光源也很热，比如篝火、煤油灯、白熾电灯、弧光灯等等，它們的温度也要高到一、二千度，或者二、三千度。

那么，是不是一切光源都是很热的呢？不。物質世界遵循着一定的規律在运动着，但是表現的形态是各种各样的，它往往会使我們感到惊奇。只要稍稍留意一下，你就会發現，也有不热的光源。比如，螢火虫会放光，但是它一点也不热；能在夜間閃閃放光的夜光表，也不是热的；还有，霓虹灯和日光灯也不算很热……

如果說，从太陽之類很热的光源放出来的光，可以叫做“热光”，那么，相对地，从螢火虫之類不热的光源放出来的光，就可以叫做“冷光”。發射这种冷光的光源，正在一天比一天更加吸引人們的注意，因為它們不仅非常有趣，而且研究了它們，可以揭露出物質世界的奥秘的新的方面，同时这些研究的成果在科学技术上是非常有用的。

在这本小冊子里，我們試圖來說一說各种各样的冷光的有趣的道理，勾画一下它們的廣闊的应用的圖景。

光是怎么放出来的，

为了揭露冷光的秘密，有必要从光是怎样放出来的讲起。

我们把光分为热光和冷光，并不是说，热光和冷光是两种截然不同的光。从本性上说，它们是一致的。不管是热光还是冷光，都是波长十万分之几厘米的看得见的电磁波^①。或者正象近代物理学所指出的那样，都是由一种叫“光子”的基本粒子形成的激流，每个光子所具有的能量是万亿分之几尔格^②。热光和冷光的不同，只是在于发生的原因和过程。

那么，热光和冷光又是怎样发生的呢？

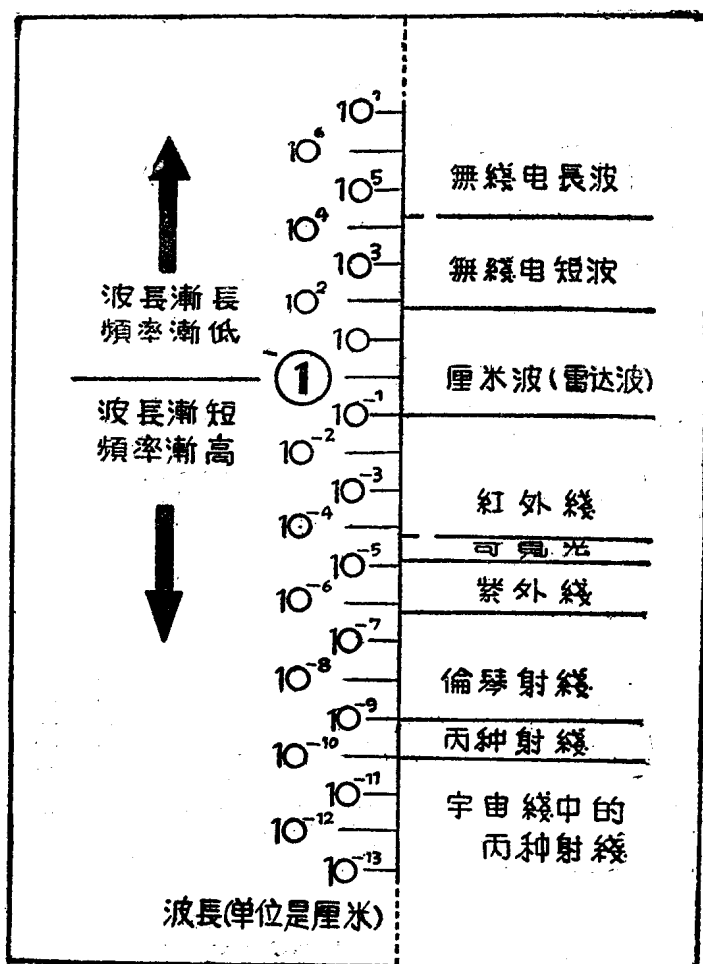
热光源的放光

热光的发生，原因就是高热，因此，在物理学上，就把这种放光叫做“热辐射”或“温度辐射”。原来，一切物体，不管是固体、液体或气体，只要加热到相当高的温度，就会放出光来。在篝火、煤油灯、白炽电灯、弧光灯、太阳和恒星里，都是高热的物体在放光。

-
- ① 电磁波种类很多，它包括：无线电波（长波、短波、雷达波）、红外线、可见光、紫外线、伦琴射线（X射线）和两种射线（包括宇宙射线中的硬两种射线）。它们的区别，主要在于波长不同。可见光就是看得见的电磁波。可见光又包括许多种波长不同（就是颜色不同）的电磁波，它的波长范围是7,600—4,000埃（1埃=10⁻⁸厘米）。
- ② 各种光子，有不同的质量、动量和能量。普通是用能量来表征光子的。每个光子的能量 $\epsilon = h\nu$ ，式中 h 是一个常数，数值为 6.624×10^{-27} 尔格秒， ν 是光的频率。对于可见光来说，每个光子的能量是 2.614×10^{-12} — 4.986×10^{-12} 尔格。

表1

各种电磁波



我們知道，篝火（圖1）里燒的木柴是一種複雜的有機化合物的混合物。在干餾（就是隔絕空氣加熱）木柴的時候，

我們可以得到甲烷（ CH_4 ）、木精（ $\text{CH}_3\cdot\text{OH}$ ）、醋酸（ $\text{CH}_3\cdot\text{CO}\cdot\text{OH}$ ）、丙酮（ $\text{CH}_3\cdot\text{CO}\cdot\text{CH}_3$ ）、木焦油和木炭等實物。

木柴的燃燒過程，實際上也就是木柴的干餾和干餾產生的實物的燃燒過程。

干餾產生的實物的組成元素之一——碳。會在燃燒過程中分解出來。

有趣的是：碳分解出來以後，會形成許多微小的碳粒，在火焰中一面飛舞，一面被燒掉。這些微小



圖1 篝火。右邊圓圈里是火焰中碳粒放光圖解。

的碳粒，由於在火焰中受到高熱，就放出明亮的光來。篝火的光，主要就是從這些高熱的微小碳粒上放出來的。

煤油燈放光的情況同篝火很相象。煤油是若干種液態碳氫化合物的混合物。煤油燈點燃的時候，燈芯上的煤油就受熱變

成蒸气，蒸气在火焰中燃燒形成二氧化碳和水蒸汽。同篝火里的情形一样，煤油蒸气里也会分解出碳来，也形成許多微小的顆粒，在火焰里飞舞。煤油灯的光，主要也是从这些高热的微小的碳粒上放出来的。

在白熾电灯（圖 2）中，放光的是鎢絲。

鎢絲掛在支架上，兩端各同一条特制的金屬綫——引入綫

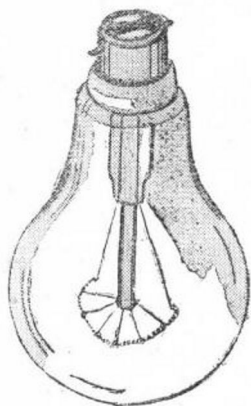


圖 2 白熾电灯。

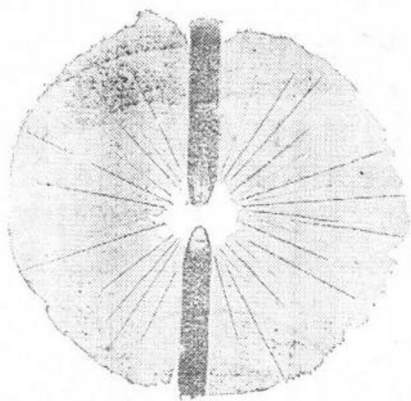


圖 3 电弧。

相連接。兩条引入綫都伸出在灯泡尾部，末端分別用錫焊住，成为兩個触点。

在开亮的时候，电流从一个触点通入，經由一条引入綫，通过鎢絲，再經由另一条引入綫，从另一个触点通出来。由于鎢絲的电阻很大，所以在被通电后，它就發生高热——达到二、三千度。正是这种高热，使鎢絲放出光来。

弧光灯的主体，是兩根用导綫連在电源的兩極上的碳棒

(圖3)。在开亮的时候，电流从一根碳棒，经过两根碳棒中间的空气隙，通到另一根碳棒上。这时候两根碳棒的尖端温度高到三、四千度，它们之间的气体也白热化了。弧光灯的光，主要就是这两个尖端和它们之间的气体由于高热而放出来的。

至于太阳和恒星，我们知道，它们都是巨大的高热的气态实物球。在它们上面，放光的是高热的气态实物。

那么，高热的物体又是怎样放光的呢？

来自分子和原子内部

要进一步揭露物体放光的秘密，就必须深入到分子和原子内部去，因为光是从分子和原子内部放出来的。

我们知道，分子是由两个或者更多的原子构成的；而原子又是由一个核和绕核旋转的电子构成的。在原子世界里有着严格的秩序，它的电子都在一定的壳层上运动（圖4）。而光就

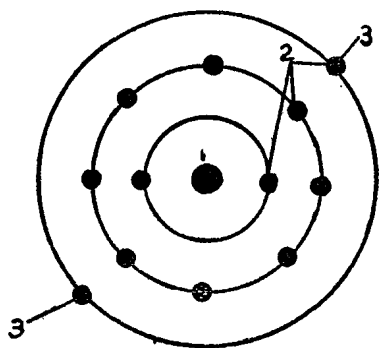


圖4 鎂原子的構造：1—原子核；2—電子；
3—最外面一個壳層上的電子。

主要是由于最外面一个壳层上的电子发射的。

分子或原子的外层电子，可以具有各种可能数值的能量。在正常状态的分子或原子中，外层电子具有最小的能量。当外来的能量激发分子或原子的时候，外层电

子就会吸收一分能量，这样，分子或原子就进入所谓“激发”状

态。然后，外層电子將吸收的这分能量以光能的形式放出，分子或原子也就回复到正常状态。

我們知道，所謂热，就是分子或原子的杂乱無章的运动。当物体受到高热的时候，它的分子或原子就很快地运动着，也就是說，它的分子或原子的动能变得很大。当分子或原子互相碰撞的时候，分子或原子的动能就常常会被外層电子所吸收，使外層电子所在的分子或原子进入激發状态。然后，外層电子將吸收的这分能量，以光能的形式放出来，使分子或原子回到正常状态。所謂热光，就是这么發生的。

分子或原子不仅可以由热能激發而放光，同样也可以由其他能量激發而放光。象化学能、电能，甚至輻射能（可見光、紫外綫、倫琴射綫和丙种射綫），都可以使分子或原子放光。冷光就是由热能以外的能量激發起来的。

在物理学上，冷光的正式名字是“發光”。

奇 妙 的 化 学 發 光

在大自然中，我們常常可以看到許多由化学能激發起来的發光——“化学發光”。

首先，这就是許多种生物的發光，所謂“生物發光”。

發光的生物

能够發光的生物很多。某些真菌和細菌，某些海生無脊椎动物、昆虫和魚等等，都能够發光。最常見的是螢火虫（圖5）和引起海水發光現象的原生动物——夜光虫。

偉大的英国生物科学家查理斯·达尔文，在他的名著“乘軍艦比格尔号环航世界考察自然史与地質記”一書中写道：

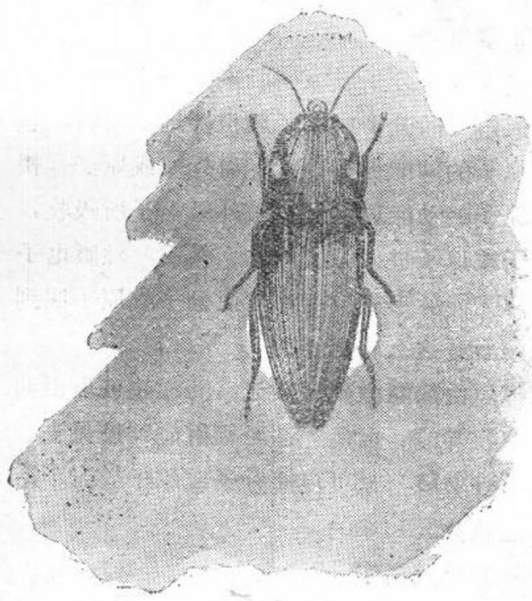


圖 5 一種大螢火虫（背面、腹面都有發光处，
背面發光处在圖中用白色表示）。

“有一天在
漆黑的深夜里，
我們駛到普拉塔
河口以南，這時
候的海景，真是
美麗無比。海面
微風習習，那些
在晝間好似一堆
棉絮的泡沫，此
刻都放出暗淡的
光芒。我們的船
破浪前進，兩旁
磷液般的巨浪隨
着滾滾而去，后
面還拖着一片裙
裾似的乳白色的
水光。凡是目光

所能看到的地方，每朵浪花的頂上，都光明閃耀。地平綫上的天空，映着這種鉛青色的焰光，似乎減少了漆黑的程度。”

①

我們的海員和漁民也常常發現這樣的景象。

很久以前，人們就發現，腐肉、死魚和朽木能在暗處放光。這是什麼道理呢？直到近代，才由科學家研究出來。原

① 黃素封譯“達爾文日記”第 238 頁。

来，腐肉和死魚的放光，是因为那上面繁殖着發光的細菌；而朽木的放光，是因为那上面繁殖着發光的真菌。

动物能發光的很多，除了螢火虫和夜光虫以外，还有許多海产动物。許多具有發光器的生活在深海中的魚（圖6）、蝦和烏賊，象是隨身帶着五顏六色的小灯籠，使黑暗的海洋深处呈現一幅奇異的景色。

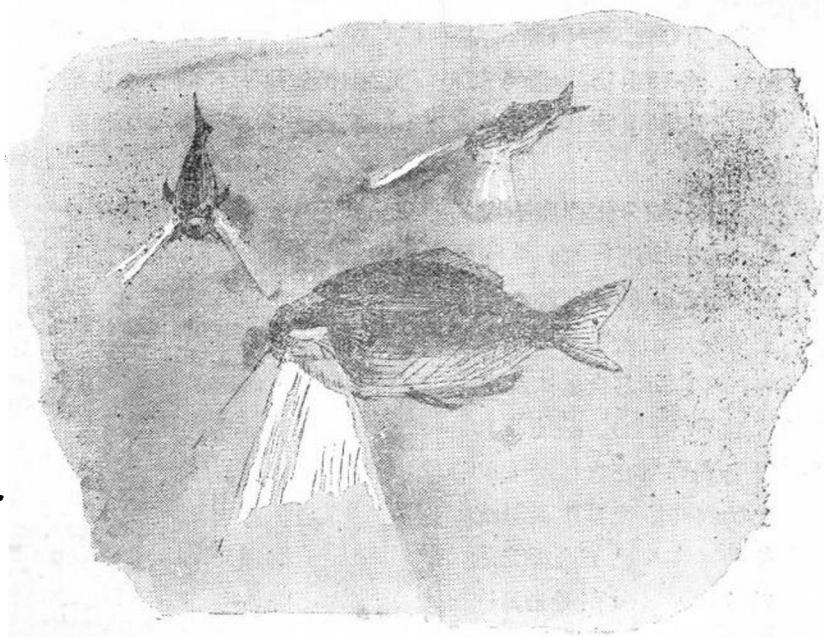


圖 6 具有發光器的魚（發光器內共生着發光細菌）。

許多發光生物，例如某些細菌、海生無脊椎动物、昆虫和魚，是自己發光的。某些本身不会發光的动物的發光，是因

为它们的發光器中定居着發光的細菌，看起来它們也象是在發光。

根据科学家的研究，生物發光是由化学反应所引起的。發光生物体内有兩種复杂的有机物質——熒光素和熒光素酶。在干燥的情况下，这两种物質是稳定的。但是，如果是在溶液状态，那么它們就要和氧气發生反应。在反应的第一步，熒光素酶是催化剂，在它的帮助下，熒光素發生氧化。在反应的第二步，熒光素將过剩的能量傳遞給熒光素酶，使熒光素酶發出光来。各种生物發光的顏色，又为什么往往不同呢？这是因为：不同的生物具有化学成分不同的熒光素和熒光素酶的緣故。

在一般分化程度不太低的發光动物中，發光現象是在專門的發光器中进行的。这些發光器的構造很巧妙，在它里面有由細胞層構成的反射鏡、聚光透鏡、濾光器和开閉器等，可以同复杂的人工光源媲美(圖7)。熒光素和熒光素酶(在自己發光的动物內)，或共生的發光細菌(在自己不会發光的动物內)，就在發光器內發光。

磷的冷焰

过去有人以为，生物發光是由于生物体内有磷

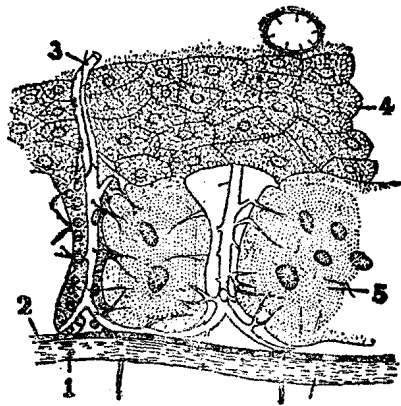


圖7 螢火虫的發光器切面：

1—表皮；2—真皮；3—气管；

4—反光層；5—發光層。

存在的緣故，从上面說的可以知道，这种看法是不对的。在常温下，白磷在空气中緩慢地氧化，的确能够放出藍色的光。如果这块白磷是放在暗处，那么我們就可以看見这种光。而且，这种光也是化学發光，磷也并不热（注意：白磷不能用手碰，不然会受伤）。但是，它不是生物發光的原因。

白磷在常温下在空气中緩慢氧化的过程是很有趣的。反应的第一步，白磷被氧化为亞磷酸酐（ P_2O_3 ）。反应的第二步，亞磷酸酐轉变成磷酸酐（ P_2O_5 ），同时放出光来。所以，这样看来，实际上是亞磷酸酐氧化發光，而不是白磷氧化發光。

除了亞磷酸酐以外，还有別的一些能够产生化学發光的無生物。

至于常在墓地出現的“鬼火”，那是由于从尸体分解出来的磷化氢，在空气中自然而产生的。

化学發光和燃料燃燒放光（例如篝火、煤油灯）的根本区别是：前者是由化学能直接变为光能；而后者是由化学能，先变为热能，再变为光能。

最經濟的光源

科学家研究証明，發光生物的發光是很經濟的。例如螢火虫，它就能將用来發光的化学能的百分之九十几，轉变为光能。这比起今天最普遍的人工光源——白熾电灯来，要經濟得多。在白熾电灯中，情形恰巧相反，它只能將它总共消耗掉的电能的百分之几变成光能，其余百分之九十几的电能，都变成热能、紅外線和紫外綫跑掉了。

現在的白熾电灯并不是不能再加改进了。它的經濟性还是可以而且应当設法大大提高的。但是它有一个根本弱点：在它

里面，电能是先变做热能，再变做光能的。在从热能变成光能的过程中，不可避免地要损失许多能量；因为，我們無法使热辐射的物体，只辐射可見光，而不同时辐射紅外線，当它的温度高到一千度以上的时候，还会同时辐射紫外綫。

原来，物体在各种温度下，都会产生电磁辐射。在温度比較低的时候，只辐射紅外線，辐射总能量也很少。随着温度的升高，依次增加波長越来越短的电磁波，辐射总能量也增加。当温度超过 500°C 的时候，出現紅光。温度再升高，依次出現橙、黄、綠、青、藍等色光。当温度超过 $1,000^{\circ}\text{C}$ 的时候，出現了紫光。温度再升高，最后出現了紫外綫。由此可知，温度高到二、三千度的白熾电灯，紅外線和紫外綫的产生是根本不可避免的。

在热的光源辐射出来的电磁波中，可見光总是只占不大的一部分。不錯，温度越高，它的百分比就增大了(圖 8)。但是，这也

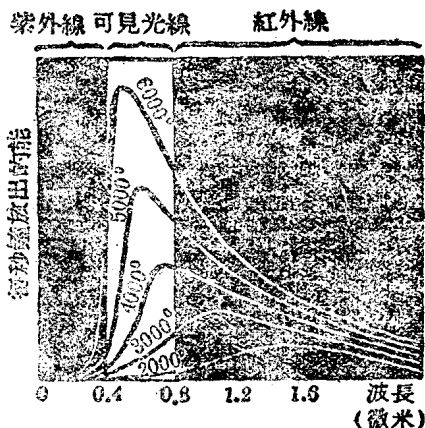


圖 8 絕對黑体①在各种温度下放出的辐射能量按波長的分布。每条曲綫代表一种温度。每条曲綫和坐标橫軸所包的面积，代表在該温度下的总辐射能，其中白色部分是可見光的能量。从这里可以看出可見光的能量在总辐射能中的比重，随温度而增加。

① 絕對黑体是一种理想的物体，它能吸收全部光綫，它的辐射本领也高于同一温度的一切实际存在的物体。

有个限度。到了 $6,700^{\circ}\text{C}$ ，它的百分比就达到了顶点——40%。而且，实际上，温度高到五、六千度的人工光源始终不能应用；因为只要达到三千几百度，连最难熔化的东西——碳也要熔化了。

在这里，显出了生物发光的优越性。在发光生物中，化学能是直接变成辐射能的。在它们辐射出来的电磁波中，几乎都是对人眼特别敏感的黄绿色光，红外线 和 紫 外 线 还没有发现过。因此，效率特别高。伟大的俄罗斯学者 M. B. 洛莫诺索夫曾经着重地指出：“必须要考虑到朽木和发光虫类的无害的光。然后必须写下，光和热并不是永远互相地联系着，因而是各异的。”洛莫诺索夫的这些话启发了我们：可以利用冷的光源。

在我国，也很早就有人想到利用发光生物来照明。最著名的就是晋代学者车

胤“囊萤读书”的故事。车胤幼年就是好学不倦的，但是他家里很穷，连灯油都买不起。在夏天的时候，他就常常捉一些萤火虫，放在纸袋里，照着读书（图9）。

但是，生物发光现象，直到



图 9 车胤囊萤读书。

現在，還沒有研究得很清楚，甚至發光細菌的熒光素和熒光素酶還沒有能分離出來，人工合成這些實物那是更遠的將來的事。而且，用這種方法發光，過程很複雜，所能得到的光也很弱。所以，冷的光源的發明家們，沒有向發光生物們學習。他們是在想辦法取得另外一些容易取得、效率很高的“冷光”，用來照明。

電致發光的種種

在北極或南極一帶，有時候，在夜里，會發生這樣一種瑰麗的自然現象：在天空中突然出現了若干條各種顏色的寬闊而明亮的帶子，它們形成了天鵝絨般的光的帷幕，不停地飄動着，奇怪地卷起來又打開。這就是“極光”（圖10）。首先

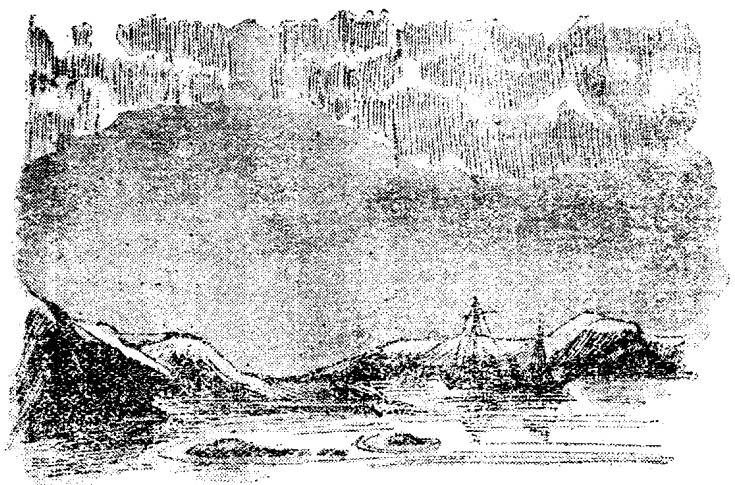


圖 10 極光。

揭露極光的秘密的，也是洛莫諾索夫。他天才地預測：極光是由電引起的。近代科學的成就，証明洛莫諾索夫的想法是正確的。原來，極光是從太陽來的帶電粒子（質子和氦、氮、氧、碳等元素的原子核）的激流，在地球高空（高度80—1,000千米）的稀薄空氣中激發起來的冷光。地磁使這些帶電粒子偏向地球兩極，所以極光通常發生在地球兩極附近。由於高空的地磁場不斷地變動，所以極光也不斷地變動。

在這裡，我們是遇到了另一種冷光——由電引起的冷光，即“電致發光”或“電光”。

氣體被迫導電

氣壓同大氣壓強相差不大的氣體（或蒸汽），原來基本上是不導電的。但是，要是我們能夠從氣體分子（或原子）“扯下”一個或者幾個電子，那麼氣體就會導電了。

從氣體分子（或原子）“扯下”電子的過程叫做氣體的“電離”。

氣體分子（或原子）平常是電中性的，就是說，它的各個電子的陰電荷，和原子核的陽電荷互相抵消。在它被“扯下”電子的时候，那麼未被抵消的陽電荷就要顯現出來。這時候，我們說它變成了“陽離子”。

電子被從氣體分子（或原子）扯下來以後，會同別的電中性的氣體分子（或原子）相結合，形成大小不同的“陰離子”。陽離子也會同別的電中性的氣體分子（或原子）相結合，形成更大的陽離子。

如果，這時候，在氣體里面存在陰極（同電源的陰極相接的導體）和陽極（同電源的陽極相接的導體），那麼，陰離子