

太阳元素

能知道太阳的组成吗？

我们现在要讲一种物质。这种物质最初是在太阳上发现的，后来才在地球上找到。

万物生长靠太阳。太阳是一个庞大的火球，给我们光和热。自从发明了望远镜，人们用望远镜研究太阳，看清楚了太阳表面的光斑和黑子。日全食的时候，还可以看到从太阳表面喷出的巨大的火焰——日珥。但是太阳的化学成分是什么，单靠望远镜是看不出来的。

1825 年，有一位法国哲学家，名叫孔德，他在他的哲学讲义中武断地说：“恒星的化学组成是人类绝对不能得到的知识。”他的话似乎有点道理。太阳虽然是最近的一颗恒星，但是离我们也有 1.5 亿千米。谁能飞到这样远的太阳上去取一些物质回来，在化学实验室里作分析呢？况且太阳表面的温度就有 6000 摄氏度。这是无论如何做不到的。

然而，这位哲学家的结论下得早了一点。1859 年，就在孔德死后不到三年，一位化学家和一位物理学家合作，发明了一种很巧妙的方法，可以不用离开地球，就能够测定太阳、恒星等遥远的天体的化学组成。

这位化学家是本生，这位物理学家是基尔霍夫。他们发明的方法叫做光谱分析。

本生和他的灯

本生是德国人，1830 年，他大学毕业，才 19 岁。以后，他除了在大学教书，还研究鼓风机顶上冒出来的气体，创立了气体分析的方法。1854 年，汉堡市开办了煤气工厂，本生的实验室里也装上了煤气。本生发明了一种新式的煤气灯，可以很方便地调节火焰的大小和温度。这种灯，现在的化学实验室中还在使用，大家管它叫本生灯。

故事就是从本生的灯开始的。

本生灯燃烧得最好的时候，温度能达到 2300 摄氏度，火焰几乎没有颜色。有时候灯没有调节好，火焰会缩到灯管里去，铜制的灯管烧红了，火焰就变成了蓝绿色。而在灯上弯玻璃管的时候，玻璃管烧红了，火焰又变成黄色。这些现象引起了本生的注意。他开始研究各种物质在灯上烧的时候，焰色会发生什么变化。

本生用白金镊子夹了一粒普通的食盐，放到火焰中烧，火焰立刻变成亮黄色，同时闻到呛人的氯气的气味——是高温把食盐（氯化钠）分解了。但是火焰为什么变黄呢？是氯的作用还是钠的作用呢？

为了搞清楚这个问题，本生选用了一些不含氯而含钠的化合物，例如纯碱（碳酸钠）和芒硝（硫酸钠）来做试验。如果这些物质也能使火焰变黄，就可以证明是钠起了作用。结果正是这样。纯碱和芒硝一放到火焰中，火焰立刻变黄了。

中公网总站：www.offcn.com 邮箱：offcn.com@163.com

电 话：010—62698755，82387776

地 址：北京海淀区学清路 38 号金码大厦 B 座 9 层

最后，本生把金属钠放在火焰中烧，火焰也立刻变成亮黄色。这个决定性的实验，证实了使火焰变黄的确实是钠。实验的成功使本生产生了新的想法：除了钠，别的金属是不是也能使火焰变色呢？他把实验室中所有的化学药品和金属，都一一做了试验。

本生发现，钾和钾的各种化合物使火焰变紫，而钡是绿色火焰，钙是砖红色火焰，锶是亮红色火焰，等等。这是 1858 年秋天的事，他把这些发现详细地记在实验记录本中。

本生真高兴，他相信他已经发明了一种新的化学分析方法。这种方法不需要复杂的设备，操作又非常简单，只要把需要分析的物质放在灯上烧一烧，看一下火焰的颜色，就能知道它含有什么金属。现在需要的是研究火焰的语言，弄清各种彩色信号代表什么元素。

彩色火焰之谜

本生搜集了各种各样的化合物来做实验，他用一根白金丝，一端弯一个小圈。用这个工具蘸上一滴溶液，就可以放到火焰中去烧。本生根据他的实验记录编了一张表，列举了什么物质产生什么焰色，反过来也可以由焰色判定是什么物质。

信号表编好了，但是用起来并不那么简单，因为需要分析的物质不一定是纯粹的化合物。遇到混合物会怎么样呢？本生做了一些混合物的焰色试验，结果出现了这样的情况：

钠盐溶液——黄色火焰。

混有钾盐的钠盐溶液——黄色火焰。

混有锂盐的钠盐溶液——黄色火焰。

用三个灯同时烧这三种溶液，结果都出现黄色火焰，看不出任何差别。钠的黄色光太亮了，遮盖了钾的紫色光和锂的红色光。

本生没有灰心，他找来了各种不同颜色的玻璃片，透过有色玻璃去观察火焰。一块深蓝色的玻璃可以吸收掉钠的黄色光，透过蓝玻璃，看出了混在钠盐中的钾盐的紫色光，看出了混在钠盐中的锂盐的红色光。这有色眼镜帮了他的大忙。

但是问题并没有彻底解决。一种未知物质的溶液，能使火焰变成深红色。查查信号表：锂盐—深红色；锶盐—深红色。这未知物质是锂盐还是锶盐呢？分辨不清。本生找了各种颜色的玻璃，想用来区别两种深红色的火焰，但是他失败了。

就在这困难的时候，物理学家来帮忙了。

物理学家的建议

本生有个亲密的朋友叫基尔霍夫，是位物理学教授。他们俩经常在一起散步和谈心。

中公网总站：www.offcn.com 邮箱：offcn.com@163.com

电 话：010—62698755，82387776

地 址：北京海淀区学清路 38 号金码大厦 B 座 9 层

1859年初秋，本生在实验室中做焰色试验已经快一年了。这一天，本生跟基尔霍夫一起散步，他详细地讲了自己的实验和碰到的困难。

“分辨火焰的颜色！分辨火焰的颜色！……”基尔霍夫一边思索，一边喃喃地说。

基尔霍夫对物理学十分精通，他立刻想起物理界的前辈牛顿首先研究过太阳光，用三棱镜把太阳光分成红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫七种颜色；他也想起了已经去世30多年的德国光学专家方和斐，方和斐在45年前自己磨制了石英的三棱镜，详细研究了太阳光和各种灯光的光谱。基尔霍夫不但对方和斐的实验了解得很清楚，连方和斐亲手磨制的那块三棱镜，还保存在基尔霍夫的实验室中。

基尔霍夫沉思了一会，对本生说：“我是搞物理的。从物理学的角度来看，我认为应当换一个方法试试。那就是不要直接观察火焰的颜色，而应该去观察火焰的光谱。这就可以把各种颜色清清楚楚地区别开了。”

这是多么好的建议啊！

本生和基尔霍夫越谈越投机，一个物理学和化学合作的研究方案就这样定下来了。基尔霍夫回去准备实验用的仪器。本生也回到自己的实验室，他把四面的窗户都挂上了遮光的黑布，准备迎接基尔霍夫和他的仪器。

方和斐发现了什么？

在没有讲本生和基尔霍夫的实验以前，我们先来讲讲1814年方和斐的实验。

方和斐在小黑屋子的窗板上开了一条狭缝，太阳光通过这条缝射进屋里，成为一条扁扁的光束。在光束经过的地方放上一块三棱镜。这条光束通过三棱镜，就变成了宽大的扇形，落在对面的墙上，成为从红到紫的各种颜色的光带，这就是太阳的光谱。原来太阳的白光并不是单色的，而是混在一起的各种颜色的光。不同颜色的光通过三棱镜，偏转程度各不相同：紫色光偏转最大，红色光偏转最小，其他颜色的光的偏转程度在紫色光和红色光之间。正因为这个缘故，通过三棱镜的一束太阳光就被拆开了，变成按颜色排列的彩色光谱。

方和斐实际上在重复他的老前辈牛顿的实验，但是作了不少改进。他做了一条使光通过的狭缝；为了把光谱观察得更清楚，还用凸透镜作了一个窥管。方和斐研究了多种灯光的光谱。他本来想找一种只发出一种颜色的光的光源，这个目的没有达到，却发现了另外一些更重要的现象。

方和斐把一盏油灯放在狭缝外面，观察油灯光的光谱。他发现光谱带上有两条极其明亮的黄线，宽窄和狭缝一个样。不管怎样移动三棱镜的位置，转动窥管里的透镜，两条明亮的黄线依然存在。

方和斐拿掉油灯，换上酒精灯，还是有两条黄线；再换上蜡烛，两条黄线依然存在。不仅如此，只要三棱镜和窥管的位置不变，不管是什么灯光，两条黄线总在老位置上。

中公网总站：www.offcn.com 邮箱：offcn.com@163.com

电 话：010—62698755，82387776

地 址：北京海淀区学清路38号金码大厦B座9层

应该再研究一下太阳光。方和斐用一面镜子，把阳光反射进狭缝。他在太阳的光谱中找那两条明亮的黄线。可是没有，却发现太阳光谱中有许多黑线。方和斐仔细数了数，黑线有 500 多条，有的深些，有的淡些。他给那些最深的最清楚的黑线，用 A、B、C、D、E 等编了号。

看来，太阳光在黑线的位置上，少了某一些颜色的光。

经过仔细观察，方和斐发现灯光光谱中的那两条亮黄线，恰好落在太阳光谱中编号为 D 的那两条深黑线上，也就是说，位置恰好相同。

这真是怪事，灯光发出来的亮黄线，太阳光里恰好没有。但是，方和斐没能解释这是什么原因。

在方和斐以后，有不少人做了类似的实验。他们分析了各种光源，十之八九要出现这两条亮黄线。他们又研究太阳光谱，找到了更多的黑线（后来人们把这种黑线叫做方和斐线）。但是他们和方和斐一样，都说不清楚这是怎么回事。

现在，轮到本生和基尔霍夫来做实验了。

谜解开了

基尔霍夫带了他的仪器，来到本生的实验室。这套仪器是些什么样的宝贝呀？一块方和斐亲手磨制的石英三棱镜；一个直筒望远镜，已经被基尔霍夫锯成两截；还有一个雪茄烟盒；一片打了一道狭缝的圆铁片。都是一些最普通的东西。他们正是用这套简单的仪器，完成了伟大的科学发现。

实验的准备工作开始了。基尔霍夫在雪茄烟盒内糊上了一层黑纸，把三棱镜安装在烟盒中间。在对着三棱镜的两个面的位置上，把烟盒开了两个洞：一个洞装上望远镜的目镜的那半截，这是方和斐的窥管；另一个洞装上望远镜的另外半截，物镜在盒内对着三棱镜，朝外的筒口上盖着那开有细缝的圆铁片，这叫做平行光管。各部分都固定了，烟盒盖上了，世界上第一台“分光镜”就装配好了。

本生也没闲着，他在准备试料。试料有各种纯的金属，各种纯的化合物的溶液。几把白金丝做的小圈，也用硝酸洗得干干净净。

基尔霍夫先让太阳光射在平行光管的细缝上。在窥管中，他看到清晰的太阳光谱，还有那一条条黑色的方和斐线。仪器检查完毕，没有毛病。黑窗帘拉上了，本生点着了煤气灯，基尔霍夫把平行光管对准了煤气灯的火焰，实验开始了。

第一个实验就是食盐（氯化钠）。本生用白金丝蘸了一粒食盐在灯上烧，火焰立刻变成黄色。基尔霍夫把眼睛凑到窥管口上。“我看到两条黄线靠在一起。背景是黑的，只有两条黄线。”基尔霍夫说。

本生重复了他一年前的实验。苏打，芒硝，硝酸钠，各种钠盐都试过了，结果都一样，黑的背景上有两条靠在一起的黄线，而且位置也不改变。看来，这两条黄线就是钠的谱线。

下一个实验是钾。本生用白金丝蘸了些钾盐去烧，火焰变成了淡紫色。基尔霍夫看了几秒钟，说道：“在黑暗背景上有一条紫线和一条红线。当中的光谱连成一片，没有明亮的线条。”

实验在继续。

所有的锂盐都产生一条明亮的红线和一条较暗的橙线；所有的锶盐都产生一条明亮的蓝线和几条红线、橙线和黄线。总之，每种元素都产生几条特有的谱线，这些谱线都有固定的位置。

本生和基尔霍夫轮换着烧蘸有各种物质的白金丝，轮换着看光谱。后来，本生装了一个架子把白金丝夹住，两个人在自制的分光镜前你看一眼我看一眼，一直看到眼睛都花了。

他们还不休息，准备做一个新的实验。基尔霍夫揉着发酸的眼睛，在屋内走来走去。本生也一声不响，他把几种不同的盐混在一起。

实验开始了，本生用白金丝把混合的盐送到火焰中去，火焰立刻变成亮黄色。基尔霍夫趴在分光镜前仔细观察。实验室内静悄悄的，最后，基尔霍夫说话了：“你掺在一起的有钠盐、钾盐、锂盐和锶盐。”

“对！”本生激动极了。他把白金丝夹在架子上，立刻跑过去看。光谱显示得十分清楚：两条靠在一起的亮黄线是钠的；那条紫线是钾的；红线是锂的；属于锶的那条蓝线也很清楚。

成功了！他们这时候的高兴劲儿是可以想象出来的。他们创立了一种新的化学分析方法——光谱分析法。

大搜查

本生和基尔霍夫像着迷一样，在实验室中夜以继日地工作。他们编制了各种已知元素的光谱表，凡是能搞到手的东西，他们都要放到灯上去烧一烧，看一看光谱，搜查里面到底有些什么元素。

光谱分析法非常灵敏，只要1毫克(千分之一克)的三百万分之一的钠，送到火焰里，在光谱中就能看到钠的黄线。只要用手指摸一下白金丝，就可以烧出黄线，因为汗水中就有氯化钠；他们发现海水中，牛奶中，烟灰中，都含有锂。

更重要的是他们用光谱分析方法在一种矿泉水中发现了新元素铯；在一种云母矿中又发现了另一种新元素铷。在铯的光谱中有两条美丽的蓝色的谱线，因此，他们把它叫做“铯”——拉丁文的原意是“蓝色的”；铷的光谱中有两条深红色的谱线，因而就被称为“铷”——拉丁文的原意是“红色的”。

铯和铷的发现，是光谱分析的第一个大胜利！

光谱分析这种新方法很快就推广了，不少工厂成批地制造分光镜和光谱仪。现在，任何一个大的化验室中都有光谱仪，并且利用照相代替了肉眼观测。现代的光谱仪不仅能分析物质的组成，还能求出其中各种元素的含量。而各种光谱仪的老祖宗，就是基尔霍夫和本生装配的那台简陋的分光镜。

中公网总站：www.offcn.com 邮箱：offcn.com@163.com

电 话：010—62698755，82387776

地 址：北京海淀区学清路 38 号金码大厦 B 座 9 层

用光谱分析各种物质的组成，用光谱寻找新的元素，一时成了最时髦的科学研究工作。许多科学家在实验室中装了分光镜，参加了这次大搜查。除了本生和基尔霍夫发现的铷和铯以外，别的科学家还发现了铟、铊、镓、铈、钛、铕、钇、钆、镨等元素。这中间还有一个重要的元素，那就是我们要讲的太阳元素——氢。

又解开了一个谜

正当本生忙于搜索各种东西进行光谱分析的时候，基尔霍夫总想着他的那位物理学前辈方和斐观察到的黑线。他认为这个谜一定要解开：为什么太阳光谱的黑线恰好和钠的两条黄线位置一样呢？难道太阳上缺少钠吗？

1859年10月的一天，基尔霍夫开始研究这个问题。他先用分光镜看太阳的光谱，记住了D线的位置，然后遮住阳光，点燃了本生灯，在灯上烧起钠盐。果然，钠的两条亮黄线正好出现在太阳光谱的D线的位置上。

基尔霍夫想：让太阳光和烧钠的灯光同时射入分光镜，钠的亮黄线能不能把太阳光谱的黑线补起来呢？他打开遮板，让太阳光穿过本生灯的火焰照入分光镜。他在火焰上烧起钠盐来，火焰变黄了。但是出乎意料，在分光镜中，他看到太阳光谱中的两条D线不但没有亮起来，反而变得更黑了。

真奇怪！再挡住太阳光看一看，钠的两条亮黄线又出现了，而且正在那两条黑线的位置。

基尔霍夫想了很久，他又准备了一个新的实验。他不用太阳光了，换用了石灰光。用温度很高的氢氧焰去烧石灰，石灰会发出耀眼的白光。基尔霍夫知道，石灰光的光谱是连成一片的，没有特别亮的线，也没有方和斐黑线。

基尔霍夫在石灰光和分光镜中间放上本生灯，烧起钠盐。看！石灰光的连续光谱上出现了两条黑线，正好在太阳光谱的D线的位置上。换一种盐试试，又出现了新的黑线，位置和那种盐的谱线的位置一样。

原来是这样！基尔霍夫激动得一夜没睡，第二天赶忙跑去找本生。“昨天我弄清楚了：太阳上不是没有钠，而是有钠！”

太阳中心的温度极高，发出来的光本来是连续光谱。但是太阳外围的气体温度比较低。在这外围气体中有什么元素，就会把连续光谱中的相应的谱线吸收掉。这正像本生灯中的钠蒸气，能使石灰光的连续光谱出现两条黑线一样。

方和斐黑线的谜解开了。原来这些黑线和亮线一样，也能表示太阳大气中有什么元素。

本生和基尔霍夫又用铁作了实验。铁的光谱有60多条亮线，而在太阳光谱中，这60多条亮线的位置上正好有60多条方和斐线。这说明：太阳上有铁。

1859年10月20日，基尔霍夫向柏林科学院报告了他的发现。他根据太阳光谱中方和斐线的位置，证明太阳上有氢、钠、铁、钙、镍等元素。

中公网总站：www.offcn.com 邮箱：offcn.com@163.com

电话：010-62698755, 82387776

地址：北京海淀区学清路38号金码大厦B座9层

这个新发现立刻传遍全球：本生和基尔霍夫在地球上的实验室里，测出了太阳是由什么组成的！我们开头提到的那位哲学家的结论，这一回彻底破产了。自此以后，光谱分析不仅化学家经常用，也成为天文学家的有力手段。天文学家利用光谱，不断地揭露遥远的星球的秘密。

就这样，物理学家帮助化学家解决了化学的难题，化学家帮助物理学家解决了物理学的难题，他们还共同解决了天文学的难题。

太阳元素

日全食是天文学家研究太阳的最好机会。这时候，月亮正运转到地球和太阳中间，把太阳完全遮住了。这样就可以看清楚太阳最外层的大气——日冕，还可以看到太阳表面喷出的巨大火焰——日珥。

1860年7月16日，在西班牙发生日全食。许多天文学家把注意力集中在日珥上，还画下了图。大家都想解释，太阳表面的这种突出物到底是什么。但是日全食只有几分钟的时间，要想仔细研究，得等待下一次机会。

八年以后，1868年8月18日，印度又发生日全食。法国的天文学家詹森带着分光镜，长途跋涉来到印度。日全食开始了，詹森把分光镜的细缝对准了日珥。他看到了几条亮线：一条红的，一条蓝的，还有一条黄的。很清楚，红线和蓝线是氢的谱线。而那条黄线呢？难道是钠的吗？钠应该有两条黄线，可是只观测到一条啊！他想再看看清楚，但是日全食已经过去了。难道又要等上十年八年，到下次日全食的时候再研究吗？

詹森注意到这几条线很亮，因此他想：不是日食的时候，也许同样能观测到日珥的光谱。

第二天，太阳又升起在天空中。詹森把分光镜的狭缝对准太阳的边缘，相当于昨天看到的日珥的位置，昨天观测到的光谱又出现在分光镜里。成功了！经过研究，詹森发现那条黄线不是钠的两条谱线，而是在钠的谱线旁边的一条新的谱线。

詹森立刻写信把他的发现报告法国科学院。当时的交通很不方便，这封信在路上走了两个多月，于10月26日才到达巴黎。

无巧不成书，在法国科学院收到詹森的信的同一天，还收到了一封从英国寄来的信。这是英国天文学家罗克耶在10月20日写的，报告的是同一件事。罗克耶在英国用同样方法观察了日珥，也发现了那条不属于钠的新的黄线。

这两封信同时在法国科学院宣读。大家惊叹万分，决定铸造一块金质的纪念牌：一面刻着驾着四套马战车的传说中的太阳神阿波罗像，另一面刻着詹森和罗克耶的头像，下面写着：“1868年8月18日太阳突出物分析”。

詹森和罗克耶在日珥的光谱中发现了什么呢？就是那条新的黄线。经过查对，这条黄线跟当时已知的各种元素的谱线都不重合。结论只有一个，这条黄线属于一种未知的新元素。

中公网总站：www.offcn.com 邮箱：offcn.com@163.com

电话：010-62698755, 82387776

地址：北京海淀区学清路38号金码大厦B座9层

这种未知的新元素不是在地球上，而是用光谱分析，首先在太阳上找到的。罗克耶把这种新的元素命名为 helium（希腊文“太阳”的意思）——我国就译作“氦”。

太阳元素—氦被发现了，但是它有什么样的性质，人们还没法知道。天文学家们猜测：氦可能是一种很轻的气体。

关于怎样在地球上找到氦的故事，我们下边再讲。

中公网总站：www.offcn.com 邮箱：offcn.com@163.com

电 话：010—62698755，82387776

地 址：北京海淀区学清路 38 号金码大厦 B 座 9 层