

## 观天象 授民时

白天，太阳高挂天空，光芒万丈，给人类光明和温暖。夜晚，苍穹上布满繁星，争相生辉；有时出现时圆时缺的月亮，为大地洒下柔和的月光。这种昼夜交替的自然现象，对远古的人们来讲也是自然而然的。那么，昼与夜的概念就显而易见地产生了。

在远古人类中，狩猎是一项重要的生活资料来源，往往在月光中捕捉野兽，对月亮的圆缺变化自然非常关心，月夜景象历历在目，无月的夜晚即使满天星斗也是一片漆黑。这样就对月亮的位相变化的规律逐渐有所认识，月亮由圆到缺再复圆，有明显的周期性，大约是 29 天到 30 天，这样“月”的概念就形成了。

日、月建立以后，建立“年”的概念却不那么容易。远古的人们，其主要的生产活动是捕捉野兽和采集野果，在生活实践中人们逐渐感觉到草本枯荣、动物繁衍、寒来暑往等都具有周期性，但这样一个周期“年”到底有多少天是算不清楚的。由于他们所获取的对象都是自生自长的，哪儿有就到哪儿去，这种狩猎和采集经济也并不迫切要他们弄清“年”的长度。

进入了新石器时代以后，人们开始从原始的狩猎和采集经济向原始的畜牧业和农业过渡。牲畜的繁殖与农作物的生长都与气候紧密相关，这要求人们必须去弄清何时该播种、何时该收藏，这种社会需要迫使原始的历法得以产生。最早的历法，可能是一种物候历，即通过草木枯荣、动物回归及寒来暑往的规律大体确定季节，它对一年有多少天，还没有明确的数量概念。

要确定一年的长度，必须找出一种起算的明显标志。物候现象是不准确的，例如若以燕子回归为起算点，从今年第一次燕子归来到下一次燕子归来是一年，可是再看下一次燕子归来，两者可能不

一样长，差别可大到五六天之多。也许，古代有些聪明人发现，树的影子长短不仅在每天不同时刻都不一样，而且在不同季节中影长也发生变化。冬天的中午，太阳在南方低空中，树影就映得很长；夏天中午，太阳在头顶上照耀，树影映得很短。树影的这种变化启发古人，当他们在地上竖立一根竿子来观测日影的时候，认识就发生了质的飞跃，人们从此创造了一种最简单的天文仪器——圭表。

### 1. 圭表与日晷

圭表是测日影长的仪器，它是天文仪器中最古老的一种。人类能够开始用一种工具去认识自然应该说这已经前进了一大步。有可能最初就是在地上竖一根竿子，从竿影的变化计算时间、方位和判断季节，后来为了方便计量影长，就在地上刻画出尺寸。这样，圭表的两个主要部分就完备了，直立部分称表，南北方向平放的尺是圭。在我国，圭表的创制年代已无可考证。相传在三千多年前周公就在阳城（今河南省登封县告城镇）竖立 8 尺高的表来测日影了。

圭表虽制作简单，但有多种用途，例如：（1）可以定方向。方法有多种，如在平地上画一半圆，在圆心  $O$  处直立一竿，早晨看影端正落在圆圈上的一点  $A$ ，做好记号，傍晚再看影端落在圆圈上一点  $B$ 。 $A$  和  $B$  的连线即是东西方向，取  $A$ 、 $B$  的中点  $C$ ，则  $OC$  即为南北方向。

（2）利用影长定节气。由于太阳在北半球在正南方的地平高度逐日变化，所以每日中午表影的长度是不同的。中国古代历法中都有各节气的影长数据，说明古人曾经用圭表来定节气。方法是每日正午时刻测量表影的长度，而正午的表影长同节气之间有对应关系，因此测得表影长度就可知道到了什么季节。

（3）可以定回归年的长度。正午时表影的长度是一个客观象征，古人选择了冬至日作为计算年的起算日，因为这一天太阳在南天天空中的地平高度最低，那么表影最长，称为“日南至”。从这

次表影最长到下一次表影最长之间天数，就是回归年的日数。这样观测到的数值只可能是整数天。由于冬至日前后表影长度的每日变化不大，难以精确测量，回归年的日数也不正好是整数，所以会产生一二天的误差。但古人以多年的观测值来取平均值，从历史上记载的某日“日南至”到最近的一次“日南至”之间共有多少天，经历了多少年，这样取平均值后获得回归年的日数。由于所取的相隔年数往往总是几百或上千年，使得回归年日数的误差大大减少。

我国春秋末年（公元前5世纪）开始使用的《四分历》，其回归年长定为365.25日。到了南宋杨忠辅（1199年）制定《统天历》时，他首先采用了回归年为365.2425日这个极为精密的数值。比现今世界通用的阳历——格里历的回归年长度采用365.2425日要早400年。

（4）可以定一日内的时刻。将圭表稍加改进，就可以制成日晷，利用地球的自转引起的太阳周日视运动就可以定出时刻。当然，日晷的时刻是地方真太阳时刻。日晷形式多种多样，有赤道式、黄道式、地平式等。日晷分晷针和晷面，晷针指示影子，晷面上刻划着刻线，当针影指到什么刻线时，人们就知道当日的时刻了。

## 2. 浑仪

太阳、月亮和五大行星在似乎不变的星空背景上运动，对于地球上观看的人来说，用角度描述是较方便的手段。我国古代最早的测角仪器是什么样子已很难考证。流传到现在的我国古代测角仪器是浑仪。浑仪是一种立体的测角仪器，它有几个象征子午面、赤道面、地平面的圆环，这些圆环互相套装着，中间有一根窥管，通过窥管可观看天上的星，窥管可以在环圈内转动，以便指向天上任何位置的星。只要在窥管内看到要测的星，窥管在刻有度数的环圈面的位置就是该星的位置。做一次测量就可以在子午圈、赤道圈、地

平圈上得到各种数据。浑仪的出现使古代天文学家能较为精确地测定出恒星的位置，并了解日、月、行星在天球上的视运动，也使描述天上出现的彗星、流星的位置有了准确的依据。这也使古代天文学从“观象时”发展到更宽的领域。

### 3. 简仪

浑仪受到历代天文学家的重视，不断得到改进。元朝天文学家、水利专家和机械制造专家郭守敬（123—1316年）对浑仪作了根本的改革，创制了简仪。郭守敬年少好学，勤于思考，当他使用古代浑仪进行天文观测时，发现使用起来很不方便，便将结构复杂的浑仪加以简化，他把赤道坐标和地平坐标分开，成为两个独立的部分。每一部分各有一个望筒，分别得到天体的地平坐标和赤道坐标。简仪测量精度高，使用方便灵活，使测量天体的位置更加精确。

### 4. 仪象

仪象是人们习惯的叫法，实际上应该称做仪和象。因为仪是测量天体位置的仪器，而象是指表演天体视运动的仪器。它们均有着各自的特点。

### 5. 浑象

浑象是我国古代制造的一种表演天体视运动的仪器，人们又称为天体仪，实际上是现代教学上用的天球仪。可以说，古代的浑象是当代天球仪的祖先。

浑象是把太阳、月亮、二十八宿等天体以及赤道和黄道绘制在一个圆球面上，它能使人不受时间的限制随时了解当时的天象。白天可以看到当时在天空中看不到的星星和月亮，而且位置不差；阴天和夜晚也能看到太阳所在位置。用它能模拟表演太阳、月亮及其他星象，同时，也能看到天体东升西落的时刻、方位。还能形象地说明夏天白天长、冬天黑夜长的道理等。浑象能帮助人们直观、形

象地理解日、月、星辰的位置及运动规律，因此它是有很大实用价值的仪器。

中国古代第一架浑象大约是公元前 70 - 50 年间由耿其昌创制的。这架仪器是圆周长 7.35 尺（当时尺相当于 21 厘米）的球体。球面上绘制有表示赤道的大圆圈，并将其划分为  $365\frac{1}{4}$  度，同时按照当时的星象知识，把星体标在球面对应的位置上。

后汉的天文学家张衡在总结前人的基础上，创制了著名的“水运浑天仪”，其主体是浑象，直径不足五尺，球面上画有二十八宿、黄道、赤道与大量星辰、二十四节气、北极常显圈、南极常隐圈等。浑象的转动轴北出地平 36 度、南入地平 36 度，这相当于当时京城洛阳的地理纬度。

浑象上还安装了一套齿轮系统，利用具有稳定性的漏壶流水推动浑象均匀地绕极轴转动。据记载，浑象的转动与真实的昼夜交替一模一样，浑象制成后作了示范表演，一个人在屋子里看浑象转动，一个人在外边观看实际星空的变化，看守人报告星星的东升、正南和西落与实际星象的升落完全一样。另外，浑象中还带动一个机械日历，可以表示日期的变化。张衡的浑象不愧为划时代的伟大创造。

我国古代将“水运浑天”的制造水平推向高峰的是宋代的苏颂和韩公廉。他们于元祐七年（公元 1092 年）制成了中国古代最雄伟、最复杂的“水运浑天”和“水运仪象台”。

此仪器包括有浑仪、浑象、报时三部分。最上层设置浑仪、具有干闭的屋顶，这已具有现代天文台的雏型。中层是浑象。下层是报时系统。这三部分用一套传动装置和一个机轮联接起来，用漏壶水冲动机构，从而带动浑仪、浑象、报时装置一起转动起来。需要指出的是，报时项目除了时刻之外，又增加了昏、旦时刻和夜晚的

更点等，可以说达到了空前的水平。苏颂和韩公廉等人在完成“永远仪象台”后，又制作了一架浑天象。他们在球面上相当于天空星象的位置上凿有小孔，人在里面可以看清点点光亮，犹如天上的星星一样，天球用水力机械带动旋转，形象逼真，可以说是近代天象仪的祖先。我国古代创制的浑象、实物虽然早已消失，但清代制造的天体仪，可以算得上是古代浑象的仿制品。

## 八架大型清代天文仪器

北京古观象台上安放着八架大型清代天文仪器，它们是赤道经纬仪、纪限仪、地平经纬仪、地平经仪、黄道经纬仪、天体仪、象限仪和玑衡抚辰仪。仪器上那昂首欲飞的苍龙、雕刻精湛的纹饰，无不显示出中国古代文化的辉煌。它们记载着 300 多年历史的沧桑。

1900 年，八国联军入侵北京，烧杀掠抢，北京古观象台也未幸免于难。法国侵略军将赤道经纬仪、黄道经纬仪、地平经纬仪、象限仪和明制简仪运到驻华使馆，后迫于舆论压力，于 1902 年归还中国；德国侵略者将天体仪、玑衡抚辰仪，地平经仪、纪限仪和明制浑仪运至柏林，直到 1921 年才根据有关和约运回北京。这些仪器后来被重新安放在北京古观象台。抗日战争期间，明代的简仪、浑仪和其他几件天文仪器被运往南京，现分别陈列在南京紫金山天文台和南京博物院。

### 1. 天球仪

天球仪古称浑象，汉代张衡说“立圆为浑”。故浑字古代作“球”讲，“象”即天象。浑象的制造历史悠久，但现存复制的浑象就是北京古观象台上放置的天球仪。这架仪器于康熙 12 年（公元 1673 年）制成，重 3850 公斤。它主要由一个直径六尺的空心铜

球、子午圈和地平圈组成。球面上共布列 1870 多颗星，分为 282 个星宫。铜球的轴线方向即地球自转轴的方向，北端指向北天极，南端指南天极。球体转动表示天球的周日视运动，它转动一周就是一昼夜。距南极 90 度的大圆上刻有赤道圈，与赤道圈相交的大圆为黄道圈，黄赤交角为  $23^{\circ}30'30''$ 。刻度采用世界通用的 360 度（每度又分为 60 分）舍弃了中国传统的  $365\frac{1}{4}$  的刻度，这也是中

西文化交流的一个佐证。黄道上分成十二宫，即白羊、金牛、双子、巨蟹、狮子、室女、天平、天蝎、人马、摩羯、宝瓶、双鱼。

天体仪的使用方法有许多种，主要是可以求某颗星的上中天时刻、某节气太阳出没的时刻及方位、某时刻的各星体在地平上的高度和方位角。

## 2. 赤道经纬仪

赤道经纬仪，重 2720 公斤。它分为赤道圈、赤纬圈和支架三大部分。整个仪器坐在一个半圆云座中，它由一条南北正立、昂首摆层的苍龙托起。龙的四爪分别牢牢地抓住下面十字交梁的一端，每端有螺栓，用以调整仪器的水平，这便是仪器的底座。立座中央有一孔穴，穴上有一狭缝。正对着子午圈的顶部有一小钩，用来挂铅锤，当垂线与子午圈下部侧面相贴，又恰好位于狭缝中间时，证明仪器上下垂直。子午圈外径六尺一寸镶于云座内，东西两面均刻有去极度。从赤面至南北两极各 90 度，每度分为 60 分。赤道圈外直径五尺九寸，位于平分两极赤道面上。南北两点与子午圈契合在一起，极轴过赤道圈中心，且与其面垂直，并有从南极伸出的两个象限弧支承。赤道圈的内弧面上及上侧面刻有周日时刻，以初正为始端分为 24 小时，每小时分为 4 刻，共计 96 刻。每刻均分为三个小长方格，每格平分为五等份，则每刻 15 分，每一分又用对角线的等比关系，进一步细分为十二等份。赤道经纬仪约有十几种用

途，但最主要的用途是测量天体的赤道经度和纬度以及真太阳时等。测量精度用游表可精确到秒。

### 3. 黄道经纬仪

黄道经纬仪是黄道坐标系统观测仪器，重 2752 公斤，观测部分的外层是子午圈，直径为六尺一寸，圈两面均刻有去极度，从赤道面零度起两极各 90 度。两极外分别安有钢轴。极至圈联接在极轴上，可四方游动。极至圈两面刻有去极度分；在距赤道南北两极各为  $23^{\circ}30'30''$  的两点，分别是黄道南黄极和北黄极。与黄道轴相垂直的大圈，是黄道圈。它与极至圈交于两点，靠近北极的交点是夏至点，靠近南极的交点是冬至点。圈两面分别用满汉两种文字刻有黄道十二宫，每宫 30 度，每度 60 分，若用游表可读到 15 秒。上下侧平面分别刻有宫度名称和节气。黄道经纬仪主要是测量天体的黄道经度和纬度、测定二十四节气。

### 4. 地平经仪

地平经仪，重 1811 公斤。它的底盘是一副十字交梁，交梁各端下有铜枕，可用水平螺栓调平。三面为屈身直立的苍龙，一面为铜柱作为四个柱脚，立于十字交梁上，托着一个直径六尺二寸、宽二寸四分的铜圈，这是此仪的天体地平圈。地平圈上平面按四个象限刻划度数，以正南正北为零点，各向东西刻划 90 度。外侧面从正面起沿逆时针方向顺序刻周天 360 度，东西两面从地平圈向上各树一桩，两条升龙蜿蜒而上，在四尺四寸处又相向伸延，在中心附近二龙各伸一爪，合捧一火球，球心即为天顶。天顶和地平圈中心的连线为铅垂线方向，沿垂线方向安有一正方形空心立表，上指天顶、下指地心，立表上可挂铅锤，以正地心。立表下端有一个与它垂直的横表平躺在地平圈上，横表两端各有一直线与天顶相连。立表插在从底座中心连接到地平圈中心的一个固定立柱上，它可做 360 度旋转。

具体观测时，运转横表，当待测天体与横表两端的直线和中心垂线所构成的平面平行时，就可以从横表指线所指刻度读出它的地平经度。

## 5. 象限仪

象限仪又叫地平纬仪，在一对十字底座的两个交叉点上，各树一桩，其柱高九尺四寸，刻于上面的苍龙蜿蜒而上。柱两边又各有一龙扶持，这既是一种装饰又起到了加固作用。从两柱顶端又向中心平伸出一条云形横梁。在两柱的下部也向中间平伸出方形横柱，中心设轴承座，从云柱中央到底部轴座的铅垂线方向，贯有一根可旋转 360 度的立轴，整个象限环全部固定在立轴上。象限环中间是一条腾云驾雾的巨龙，即增加仪器的生气，又起到了平衡的妙用。象限环的立边上指天顶，下指地心，横边与地平线平行。在两边的交点处，立一根垂直于仪面的横表。从横表到弧边有一个长游表贴在仪面上。观测时，从象限弧下端向上起算，弧尺的内面刻度为星的天顶距；如从上向下起算，弧尺的外面刻度为星的地平高度。天体的地平高度和天顶距之间的关系可表示为：

某天体的天顶距 = 90 度 - 该天体的地平高度

通过地平经仪和象限仪可测出某个天体的方位角和高度角来。

## 6. 纪限仪

纪限仪是用于测量两天体之间的角度，所以又叫做距度仪。整个仪器重 802 公斤。主要用于测量 60 度以内任意两颗天体的角距离。它的主要部件是一段 60 度的弧面，弧面半径六尺，从中央向左右两边各刻 30 度，每度约为 60 分，弧中间循半径方向安一铜竿，整个弧面便固定在这根铜竿上。铜竿上端有横轴，挂有窥衡。铜竿中部有一个与其垂直的横轴，使用时需要用一小滑车来带动它，整个弧面可绕横轴转动，而横轴又是半圆弧形齿圈的弦，齿圈面与地平面垂直。固定在底座上的一个小型齿轮与半圆形齿轮相互

咬合，与小齿轮相联的是一个手轮，用手摇手轮可推动半弧形齿轮圈，横轴便可做 180 度转动。支撑小圆齿轮的圆柱插在下面的游龙底座中，它可沿水平做 360 度转动，这样整个纪限仪弧面便可在一球面上运转自如，指向球面上任何一点。在弧面的圆心，同样有一个垂直于弧面的圆柱，它的直径与游表两狭缝的间距相同，以圆柱为轴引出一弧尺，长六尺，末端安游表并设有立耳，测星体用。弧背左右各设游表一个，用来测量另一星体用。

观测时，拉动滑车，转动手轮将弧面与两颗待测量星体运动到同一平面。一个人用窥表对准一颗星，另一人用游表对准另一颗星，两人都使各自的狭缝、横柱表与天体成为一条直线，游表与窥表之间的读数差，就是两颗星体之间的角距离。

## 7. 地平经纬仪

地平经纬仪，是将地平经仪和地平纬仪（即象限仪）合为一体，所不同的只是将象限弧向上，游表不用狭缝方法，而采用游表的两端各开一个窥孔的方法。

它的主体地平圈外直径五尺，宽七寸七分，周围刻四象限度，其下有四根西式圆柱立于底上托着地平圈，其上有沟槽环，借助于下面的四个螺栓调节水平。地平圈中心安有一个可四方调节的轴瓦，由主轴支撑的象限弧坐于其中，用四个螺丝杆推动轴瓦可准确确定象限弧的中心位置。地平圈东西各有高一丈一尺的立柱，分别用铁栓固定在下面的大石座上。两柱之间有一根二牛抬杠式的曲梁，梁正中南面有一轴瓦，它卡住下面立轴的上端。主要部件象限弧便固定在立轴上，其宽二寸七分，正面刻 90 度，它的中间部分由正方形及内接圆支撑。从弧心到弧尺有六尺长，游表以弧尺圆心为轴转动，游表尺形状就如一把宝剑，护手和剑尖上立耳各钻有一孔，用来观测天体。

测某天体的地平经纬度时，先移动象限弧，使天体与弧面保持

在同一平面上，并使天体及游表两端的窥孔成一直线，将表定位。此时象限弧上半径直角边所指的度数，就是该天体的地平经度。游表所指弧尺上的刻度就是该天体的地平高度。

地平经纬仪的立柱、横梁及整体构造，完全没有中国传统的游云、升龙等象征皇权的装饰品，而是采用西方构造，用众多部件组装而成。

地平经纬仪将地平经仪、地平纬仪合为一体，不仅用起来方便，而且可以减少由于两架仪器测量所带来的误差，保持观测的稳定性。

### 8. 玑衡抚辰仪

玑衡抚辰仪是参照浑仪而改造成的，它既可作为赤道、黄道坐标仪，也可以变换成地平坐标仪。玑衡抚辰仪与古浑仪一样，最外层直衡六尺，古称六合仪，只是比古浑仪少了地平圈。子午圈上北极高度取北京地理纬度。

玑衡抚辰仪的用法与赤道经纬仪相似。不同的只是它多了一个可以转动的游旋赤道圈，这样在测量某星的赤道坐标时，可以直接从上面读出此星的赤道经度来。测量起来不仅比赤道经纬仪方便，也可减少观测的误差。

## 欧洲古典的测角仪器

正当东方民族利用自己发明的各种仪器进行天文观测的时候，欧洲各民族也独立地创制了许多仪器，推动了欧洲天文学的发展。古希腊的天文学曾取得过辉煌的成就，甚至对现代科学还有深刻的影响。古希腊天文学最大的特点是几何概念明确，他们用一根木尺再附加一根垂直的小尺，做成简单的测角工具。小尺可以在长尺上做前后移动，通过小尺的端点观测两个天体，使两星之间的角距可通过三角关系换算出来。

在天文仪器发展中，欧洲也有大量的古代天文仪器，其中最著名的是丹麦天文学家第谷（1546 - 1601 年）曾做出的贡献。第谷出身于贵族家庭，13 岁考入哥本哈根大学学习，主要进修哲学和语言，当他在大学学习时，曾于 1560 年 10 月 21 日观看到一次日偏食。他对人们能精确预报日食发生的时刻感到十分惊奇。由此激发了他探索宇宙奥秘的热情。1572 年 11 月 11 日，他在茫茫星海中，发现了一颗过去从未见到的亮星并对它的亮暗变化进行了长达一年的观测，即后来称为“第谷超新星”的观测，这次观测取得了成功。他于 1573 年写出《超新星》一书，由此受到丹麦国王腓特立二世的赏识，聘任第谷为宫廷天文学家，并拨专款于 1576 年在位于丹麦和瑞典之间的纹岛上，建立了一个设备完善的天文实验室，也就是真正的天文台。在天文台内放置的天文仪器，与我国古代的浑仪——黄道浑仪、赤道浑仪、天球仪很相似。浑仪与中国相似的是环圈相套，中间安放的瞄准器为 2.13 米的窥管，使观测天体的精度比以前任何人的观测要精确多了。但不同我国浑仪的是欧洲多采用黄道坐标，在南北方向的子午圈内，安置以黄极为转动的黄纬圈，黄纬圈内装置平行于黄道的黄道圈，可以通过观测求得天体的黄纬，再经过计算求出黄经。由于第谷大量的精确观测，为后人留下了丰富的资料。特别是对火星的观测数据不仅准确而且数量多，为以后开普勒发现行星运动的三大定律奠定了坚实的基础。

古代的天文仪器给天文学提供了大量的观测资料，为编制各种历法、预报日月食及研究行星的运动和天体的结构、太阳系的确立等起到了重要作用。

### 三棱镜的魔法

1665 年，伦敦发生了一场大瘟疫。为了躲避瘟疫，英国学校

宣布放假，在剑桥大学念书的牛顿，便回到故乡等着瘟疫过后，再到学校上课。当时，牛顿正是 23 岁风华正茂的时刻，他因不甘寂寞便在家中开创了光学研究的新课题。牛顿在一间小黑屋中，看见一束日光从墙上的小孔射进屋里，射到对面墙上，显现出一个明亮的圆斑。有一次他把一个三棱镜，置在日光射来的方向上，他惊奇地发现明亮的圆斑变成了一条七色光的彩带，当把三棱镜拿开，七色的彩带便消失了，又恢复了原有的亮斑。为了做进一步探索，他又另取一个相同的三棱镜，颠倒地放在第一个棱镜之后，此时七色的彩带又聚拢成白色的圆斑。牛顿经过反复思考，认为原来白色的日光是由红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等各种不同颜色的光混合而成的。当这些不同颜色的光经过三棱镜时，它们具有不同折射率，使原来的光线不再按直线方向传播。受到折射的光发生弯曲现象，这种现象叫做色散。人们又将折射后离开棱镜的光线而扩展为彩虹似的一条彩带，称为光谱。这种使光色散成一个个连续的新带，又称连续光谱带。由于牛顿进行了开创性的实验，才使人们逐渐对光的本质有了认识，因而牛顿揭开了研究光谱学的序幕。

牛顿的实验使人们初步认识了光的本质，可是当时的人们并未理解它的真正价值。直到 1802 年，英国物理学家沃拉斯顿又重新做了牛顿的实验，又有了新发现。他改进了牛顿的原始实验，在三棱镜前加一个狭缝，让阳光通过狭缝后，再经过棱镜进行折射，他发现太阳光不仅被分解为连续光谱，同时在光谱中还夹杂着一些暗线；至于为什么在明亮光谱中产生暗线，使他迷惑不解，只好将它留给后人去探讨。

1814 年，德国的光学家夫琅和费也重复了牛顿的实验，他也做了不少改进。他着手制作了一台分光镜，分光镜由一个狭缝、一块棱镜、在棱镜前装上的一个准直透镜组成。它可以把通过狭缝的光变成平行光。在镜后则装上了一架小型望远镜，用来精确测量光

线偏折角度的装置。开始夫琅和费本来想找到只能发出一种颜色的光的光源。他首先点燃一盏油灯，放在狭缝外面，让灯光通过狭缝进入分光镜，观察灯光的光谱。他发现在暗黑的背景上，有着一条条像狭缝形状的两条明亮的黄线，不管怎样移动三棱镜的位置，或者转动窥管里的透镜，两条明亮的黄线依然存在。当夫琅和费拿掉油灯换上酒精灯，还是两条黄线，再换上点燃的蜡烛，两条黄线依然存在，而且老在相同的位置上。由于这种光谱在暗黑的背景上有着分立的明线分布，故称为明线光谱，又称发射线光谱。但当时夫琅和费并不知道，只是想灯光和烛光也许太暗了，于是引进太阳光进行观测，他使用一面镜子，把阳光反射到狭缝之中，他又发现太阳光谱与灯光的光谱截然不同，那里不再存在有一条条明亮的黄线，而是在红、橙、黄、绿、青、蓝、紫的连续彩带上出现无数条暗线。这种在明亮连续光谱背景上叠加许多暗线的光谱，称为暗线光谱，又称夫琅和费光谱。每条暗线又称夫琅和费谱线。在 1814 年到 1817 年三年中，夫琅和费在太阳光的光谱里共数出暗线 500 多条，其中有的较浓、较黑，有的则较为暗淡。夫琅和费逐一记录了这些谱线的位置，并从红到紫依次用 A、B、C、D…… 等字母来命名那些最明显的暗线。夫琅和费经过仔细观察还发现，在灯光和烛光中出现一对黄色明线的位置上，在太阳光谱中没有了明线，但是代替的却是一对醒目的暗线，夫琅和费把这对黄线称为 D 线。

为什么油灯、酒精灯和烛光产生了明线光谱，而太阳光谱中，即在连续的暗线光谱中，有无数条暗线；又为什么前者的光谱中一对黄线的位置，在后者光谱中却成为一对暗线，夫琅和费只知其然不知其所以然，无法说清为什么，直到 40 年后才由基尔霍夫解开了这个谜。

## 光谱分析法

### 1. 本生灯的火焰

19世纪50年代德国化学家本生，发明了一种新式煤气灯，它可以随意调节火焰的大小和温度。目前在学校的化学实验室中还在使用这种灯，称为本生灯。这种灯在燃烧时，几乎没有什么颜色，温度可达**2300**多度。本生利用这种灯研究各种物质在灯上燃烧时，火焰的颜色会发生什么变化。他在选取不同物质进行燃烧时，所产生的情况千差万别。当他选用食盐或钠的化合物放在灯上燃烧时，看到火焰变成黄色；选用钾和钾的各种化合物，火焰变成紫色；选钡火焰呈绿色；选钙呈砖红色火焰；选锶是亮红色的火焰……这反映不同物质燃烧时，产生不同的火焰颜色。本生当时又想，若反过来由燃烧的火焰来判断燃烧的物质是什么，不是很有实际意义吗？但是，当本生更深入地用混合物做实验时，又发现准确区分各种元素十分困难。如钠盐溶液燃烧的颜色是黄色火焰；混有钾盐的钠溶液的火焰乃是黄色；混有锂盐的钠盐溶液也是黄色火焰；再选用三个灯同时燃烧三种溶液，结果还是黄色火焰，不管本生怎么努力想许多办法均看不出有什么差别。这可急坏了本生，使他一愁莫展。事情也凑巧，本生有个好朋友是德国物理学家叫基尔霍夫，他是夫琅和费的得意门生。当本生向基尔霍夫谈起这件事时，基尔霍夫想起他的老师曾做过的光谱实验，他建议本生用物理的方法来分辨火焰的光谱，用来区别各种物质。这真是“山穷水尽疑无路，柳暗花明又一村。”这个建议使本生茅塞顿开，二人一拍即合，开始了探索用光谱办法分辨火焰的颜色以判定物质的工作。

### 2. 分光镜摄谱仪

基尔霍夫带来一架自制装置。它是在一个雪茄盒内糊上了一层

黑纸，把三棱镜安放在烟盒中间，在对着三棱镜两个面的位置上，把烟盒开了两个洞，一个洞装上望远镜的目镜的那半截，另一个洞装上望远镜的另外半截，物镜在盒内对着三棱镜，朝外的筒口上盖着一个开有细缝的圆铁片，组成平行光管。将各部分都固定好了，盖上烟盒，这样世界上第一台简陋的“分光镜”就装配好了。现代使用的是经过改进而成的“摄谱仪”。摄谱仪由三部分组成，即准直管、色散系统和照相系统。它的原理是当光线通过狭缝后，形成狭窄的光束，这些光束射入到准直管内，经过整理变成平行光线。这些平行光线通过三棱镜组成的色散系统，产生了折射，使不同波长的光波被分解成一条彩带，然后再由照相系统，将这条彩带拍摄下来，则形成完整的光谱像。实际上光谱中的每个条级都是狭缝的一个像。若将摄谱仪接到望远镜上，就构成天体摄谱仪。

当基尔霍夫和本生依次将食盐（氯化钠）、钾盐、锂盐分别放在灯上燃烧，这时通过分光镜再观看，分别看到食盐光谱在黑色背景上有两条明亮的黄线；钾盐有一条紫线和一条红线；锂盐产生一条明亮的红线和一条暗的橙线，也就是说每种元素燃烧都产生几条特有的谱线。而且这些谱线在光谱中均有各自的固定位置。

基尔霍夫和本生又将钠、钾、锂、铯、钡等不同的物质混合在一起，放在灯上燃烧，燃烧的火焰立即产生五颜六色，如同节日上燃放的礼花一样绚丽多彩。在用分光镜观看光谱时，光谱显示非常清楚，两条靠在一起的亮黄线是钠；那条紫线是钾；红线是锂；属于<sup>4</sup>的那条蓝线也很清楚。当看到这一切，他俩非常激动，他们发现了不同的物质燃烧时，产生各种不同的明线光谱，根据这些不同元素的光谱特性，便能很好地辨别出混合物中的各种物质。正如许多人在同一张照片上合影，仍然能够辨清每个人一样。这个新发现导致了光谱分析法的诞生。将光谱分析方法运用于观测天体时，便产生了天体分光学。

### 3. 太阳光谱的展示

正当本生忙于搜罗各种物质进行光谱分析的时候，基尔霍夫却想到 1814 年夫琅和费观测太阳光谱时，给人们留下黑线 D 的不解之谜。1859 年 10 月基尔霍夫开始考虑这个问题。他先用分光镜观看太阳的光谱，记住了 D 线在光谱中的位置；然后遮住阳光，点燃了本生灯，在灯上燃烧钠盐。令他惊奇的是钠的两条亮黄线处正好出现在太阳光谱 D 线的位置上。这种现象说明什么呢？开始基尔霍夫并不知道，但他考虑太阳上是否有钠元素的存在呢？为了证实这个想法是对的，他又做了新的实验，这次实验不用太阳光了，而选用燃烧时能产生连续光谱的石灰，基尔霍夫用温度高的氢氧焰去烧石灰，燃烧的石灰发出耀眼的白光，在分光镜中看到连接一片没有特别亮线的连续光谱，也就是说连续光谱是光源经过摄谱仪直接产生的光谱。它是炽热的固体、液体和高压气体发出的光谱，由连续分布的波长的光所组成。这种光谱又称发射光谱。基尔霍夫下一步便是在石灰和分光镜中间放上本生灯，燃烧钠盐，这时再看在石灰光的连续光谱上发现有两条黑线，黑线的位置又恰好在太阳光谱 D 线的位置上。基尔霍夫又换了另一种盐进行燃烧，结果还是一样。他非常兴奋，逢人便讲：“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，发出来的本应是连续光谱。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。

夫琅和费留下的谜被解开了。原来这些黑线和亮线一样，也能表示在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 条亮线的位置上正好有 60 多条夫琅和费线。这说明太阳上有铁元素。