

一种测量太阳表面温度的新方法

董月娇 / 北京大学附属中学香山学校

指导教师 李冬梅 杨尚斌

◎ 简介

太阳距离我们地球 1.5 亿千米，直接测量它的表面温度目前是不可能的，只能采用间接的方法进行测量。目前主要有 3 种间接测量太阳表面温度的方法。这几种方法都需要非常复杂的理论推导和计算，测量的仪器往往也比较昂贵和精密，非专业人士开展科普活动时很难用得上。能否找到一种比较简便的、非专业人士可以使用的、同时还能大致准确地测定太阳表面的温度的方法呢？我们通过一种简化的黑体辐射测量法，利用科普望远镜和数码照相机开展观测，尝试对太阳的表面温度进行测量。

◎ 测量原理和参数设计

☞ 测量原理

自然界的任何物体都具有吸收和辐射电磁波的本领。电磁波的辐射强度在各个波段是不同的，也就是具有一定的谱分布。这种谱分布与物体本身的特性及其温度有关，因而被称之为热辐射。为了研究不依赖于物质具体物性的热辐射规律，物理学家们定义了一种理想物体——黑体 (black body)，以此作为热辐射研究的标准物体。黑体对于任何波长的电磁波的吸收系数为 1 (即完全吸收)，虽然它不能反射任何电磁波，却可以辐射出电磁波；而这些电磁波的

波长和能量则全取决于黑体的温度，不因其他因素而改变。整体而言，太阳上的物质处于等离子体状态，满足热动平衡条件 (即等离子体之间进行了充分的热交换)，其辐射的能量仅与其温度有关 (基尔霍夫辐射定律)，可以把它当作一个黑体。黑体辐射强度 $E(\lambda, T)$ 随波长 λ 的变化满足普朗克公式：

$$E(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

其中 $h=6.6260755 \times 10^{-34}$ Js 是普朗克常数， $k=1.380658 \times 10^{-23}$ J/K 是玻尔兹曼常数， $c=2.99792458 \times 10^8$ m/s 是真空中光速， T 是绝对温度 (它与日常用的摄氏温度 t 的关系为 $T=t+273.15^\circ\text{C}$)。不同温度时黑体辐射强度随波长变化的轮廓图可以根据此公式计算得到，图 1 所示为几个典型温度时的黑体辐射曲线。从图 1 可以看到，随着温度的改变，可见光波段强度的轮廓也在发生明显的变化，这启发我们能否根据光在不同波段处的强度判断温度的高低呢？

普通的数码照相机是在红、绿、蓝 3 个颜色波段分别得到物体的辐射强度，在电脑屏幕或者照片上以不同强度展示出来，形成了我们肉眼看到的观测对象。从图 1 的黑体辐射曲线上可以看到，如果观测对象 (黑体) 的温度不同，

在红、绿、蓝 3 个波段的相对观测强度也有所不同。这就启发我们可以用数码相机在红、绿、蓝 3 个颜色波段得到的数据估计观测对象的温度。

☞ 参数设计和理论计算

我们定义一个新的参数，称为温度指数 $Index$ ：

$$Index = \frac{R - G}{R - B}$$

其中 R 、 G 、 B 分别是在红光 (波长较长)、绿光 (波长居中) 和蓝光 (波长较短) 波长的能量强度值。利用黑体辐射公式和不同色光的波长范围，我们可以画出以温度指数为自变量、温度为因变量的函数曲线。

具体计算时，我们可以采用如下的近似计算方法：对于蓝光值 B ，其波长

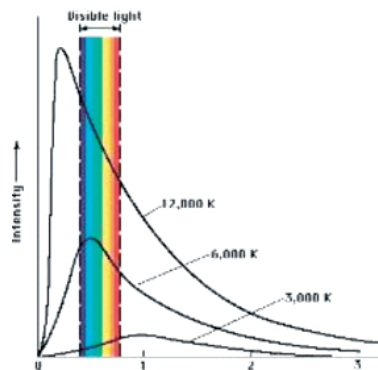


图 1 几个典型温度时的黑体辐射曲线

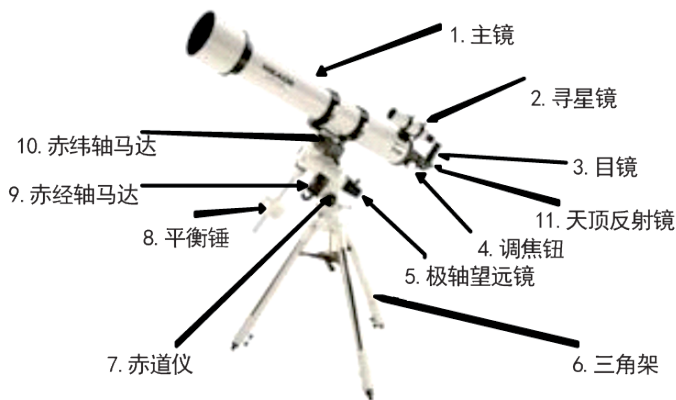


图2 天文望远镜结构

范围 $450 \sim 480\text{nm}$ ，取其中间波长值即 465nm ，代入公式中并假设一个温度取值例如 6000°C ，就可得到一个 E 值， E 乘以蓝光的波长范围 $\Delta\lambda$ （此处 $\Delta\lambda = 480 - 450 = 30\text{nm}$ ），就得到了在温度 6000°C 时的蓝光总强度 B ；与此类似，同样可以得到 6000°C 时的 R 和 G ，于是可以利用上述公式求得 6000°C 时的温度指数 $Index$ 。设定不同的温度，重复上述步骤就得到不同温度时的 $Index$ ，就可以做出温度指数与温度的函数曲线。

我在辅导老师的指导下，采用牛顿—克茨（Newton—Cotes）公式，并使用了数据处理软件 MATLAB 直接调用相关积分函数 QUAD8 求解，最终计算得到了温度指数与温度的函数关系。

◎ 观测仪器与观测步骤

➤ 仪器

观测使用 Meade LXD75 折射式望远镜和佳能 EOS 7D 单反数码相机，望远镜和数码相机用转接环连接。天文望远镜（见图2）的口径为 127mm 。焦距为 1143mm 。

➤ 观测步骤

◆ 将天文望远镜主镜放在德式赤道仪上，赤经轴指向北天极，仰角为 40° ，并在赤道仪上固定这个角度。

◆ 平衡的调节。通过调节平衡重锤和主镜上抱箍的位置使望远镜在赤经和赤纬两个轴上保持平衡。

◆ 寻星镜的调节。将主镜对准较远处的一处目标，将其放在视场中心；然后在寻星镜中调节，使该目标位于十字丝的中心。

◆ 太阳像的寻找。将白色的平板放在寻星镜后，当太阳像的汇聚点在寻星镜阴影中心时，太阳像就大致在照相机液晶屏幕上了，再通过精细地调节望远镜方向就可以将太阳像放在照片的中央。

◆ 太阳滤光片的使用。太阳光非常强，通过望远镜的聚焦，会产生很强的热能，因此需要在望远镜物镜的前端使用滤光片，以阻挡过多的阳光进入，避免烧蚀照相机。

◎ 观测数据处理和分析

本文的资料处理和分析过程如下：

◆ 调取相机拍摄的图像（JPEG

格式）；

◆ 用 PHOTOSHOP 软件将太阳像从原始图像上裁切成 2048×2048 的彩色图像；

◆ 选取日面中心区域，使用 PHOTOSHOP 分别提取出 R 、 G 、 B 单色图像；

◆ 使用 MATLAB 软件，分别读出 R 、 G 、 B 单色图像中每个像素点的数值，代入公式得到选取区域每个像素点的温度指数 $Index$ ；

◆ 将得到的温度指数 $Index$ 代入公式即得到每个像素点的温度值；

◆ 将每个像素点的 $Index$ 值或温度值用 MATLAB 软件写回图像中，就可以得到选取日面区域的温度指数或温度分布图。

◆ 对得到的日面区域的温度指数或温度分布图进行分析。

我们使用佳能 EOS 7D 拍摄时，经过实验，使用了它的自动选择各项曝光参数的功能（原始数据详见 <http://sun.bao.ac.cn/NAOCHSOS/data.html>）。

我们选取太阳上一块中心区域，见图3。利用前面介绍过的方法、步骤，

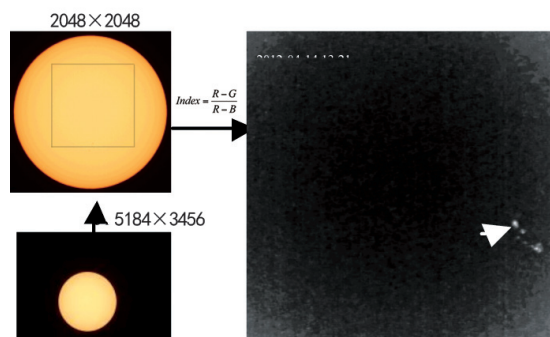


图3 太阳像处理过程

计算出该区域内的温度指数，每个像素点一个值，从而得到整张图片上的温度指数分布图。

可以得到对应的太阳表面的平均温度是 6263.89K (5990.74°C)。同时我们也可以看到在日面上有温度明显降低的区域。

◎ 总结和讨论

我们利用物理学中黑体辐射和数码相机还原彩色图像的原理，提出了一种新的测量太阳表面温度的方法。设计了衡量温度大小的温度指数，利用分析通过天文望远镜与数码相机拍摄到的太阳彩色图像推断太阳的温度。我们分析得到的太阳温度约为 $6370 \pm 316\text{K}$ ($6097 \pm 316^\circ\text{C}$)，这与目前已知的太阳表面温度基本一致。

在实际观测中，我们发现，不同时刻观测的太阳温度有较大变化，我们分析，引起变化的原因主要可能是太阳光线穿过的大气。

除了地球大气的影响外，我们测量的误差还来源于如下几个方面：

◆ 观测样本的数目还比较有限，只有做大量统计的研究和多次测量才能

够较准确地得到太阳和太阳黑子等的平均温度。

◆ 仪器本身也会带来误差。我们使用的太阳滤光镜不能很好地保证在红、绿、蓝3个波段都是相对均匀地消光，而且望远镜本身是折射望远镜，虽然采用了消色差物镜，但是仍然存在着色差。这些因素都会对最后红、绿、蓝3个波段的强度测量产生影响导致最后太阳温度测量中存在误差。

◆ 虽然我们巧妙地利用了数码相机还原色彩的原理，但是与专业的天文分光仪器相比，仍然是有明显差距的，只能是一种近似方法。

◆ 为了避免复杂的数学计算，我们采用了近似计算，这也为结果带来一定误差。

我们这种测量太阳表面温度的新方法在实际的生产、生活中能不能产生一些积极的应用呢？我们知道太阳是一颗处于主序阶段的恒星，她的亮度和温度在数十亿年都不应发生明显的变化。从本节的讨论中也可以看出测得的太阳表面温度的变化实际上反映了太阳光通过的地球大气状态。这提示我们可以把太阳作为一个标准源，利用测量得到的太

阳表面温度的变化定性估计大家都非常关心的大气污染程度。另外，我们的方法测量是基于黑体辐射的原理，在日常生产、生活中如果遇到近似满足黑体辐射，但又不方便直接测量其温度的物体，例如需要精密控制炉温的炼钢炉，都可以采用与本文类似的方法进行测量。在下一步的研究中我们将探讨测量太阳表面温度的方法在实际中的应用。

该项目获得第28届全国青少年科技创新大赛创新成果竞赛项目中学组地球与空间科学一等奖。

专家评语

作者基于基尔霍夫和普朗克定律，利用三原色成像与波长的关系，提出了温度指数的要领和太阳表面温度计算的公式。在此基础上，连续对太阳表面拍摄，对所得数据处理后代入经验公式，完成了对太阳表面温度的测量与计算。整个研究过程思路清晰，计算结果可信，达到了较高的研究水准。■