

利用数码相机 (CCD) 测量所在地区纬度

唐 爽, 马世红

(复旦大学物理学系, 上海 200433)

摘要: 引入了一种全新的方法来确定所在地区在地球坐标上的纬度值. 利用普通数码相机, 对夜间星空进行连续拍摄. 根据所得图像上星体位置的变化, 便可确定观测地所在纬度. 最后所测得的中国上海地区纬度为北纬 31.3° , 与公布的标准数据相一致.

关键词: 数码相机; 电荷耦合装置 (CCD); 纬度测量

中图分类号: O 4 - 34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0712(2009)07-0056-03

数码相机采用电荷耦合装置 (Charge Coupled Device, CCD) 作为核心器件, 能够将拍摄图像转换为数字文件, 从而很方便地进行定量计算和处理. 近年来被广泛应用于各个领域. 数码相机的发明和普及, 极大地拓展了物理观测对象的范围, 丰富了实验的手段, 迅速推动了科研事业的发展. 将数码相机引入大学物理实验, 具有很大的仪器和实验开发潜力.

另一方面, 天球是天文学观测中一个最重要的概念, 是描述天体在地球上的视位置的方便有力的工具. 对天球模型的理解是进行天文学学习和观测的基础, 能够帮助我们对星空中天体的运动方式建立更深刻和直观的印象. 纬度是描述地球空间的基本地理参数, 因此对纬度的测量有着十分重要的意义.

1 实验原理

1.1 数码相机和 CCD 成像技术原理

CCD 是一种固体成像器件, 是由阵列排列的光敏元集成的光传感器. 组成 CCD 的基本单元是单个的光敏 MOS (金属 - 氧化物 - 半导体) 电容器, 通常称为一个像素, 用以将光强信号转换为电荷信号. 通过对阵列上各像素产生电荷包的电荷量的读取, 即可得到光强分布信息. 由于光敏 MOS 电容基元的金属电极之间距离很小, 而 Si 衬底是连续的, 各电容基元所产生的电势耗尽区可以发生相互重叠, 即势阱间可以发生相互耦合. 基于此, 通过控制各个势阱的相对深浅, 就可以驱使电荷包从较浅的势阱向较深的势阱流动, 从而将各个像素所产生的信号电荷的电荷包依次、定向的取出. 这样就可读出整个阵列

面上的光强信息, 此即为 CCD 技术.

数码相机是将传统光学相机的感光胶片部分用 MOS 阵列的 CCD 感光板取代. 从而将原始的用胶片记录的图像, 代之以通过 CCD 记录的图像数据文件. 这样, 既便于对数据进行读取、处理和保存, 又可以较精确的对图像进行定量分析. 在物理实验研究中, 具有很重要的意义.

1.2 地球的自转、公转和地心天球运动

在天文观测中, 常以天球描述观察到的所有天体位置. 所谓天球是以观测者所在点为球心, 以任意长度为半径的一个假想的球面, 其中以地球中心为球心的称为地心天球 (下文简称天球). 由于天体都离观察者足够远, 以致于无法分辨其远近, 各天体的视位置是天体沿观察者视线方向在天球上的投影. 天球上天体位置的改变主要由三方面因素构成: 地球的自转, 地球的公转, 天体自身的运动. 其中地球的自转周期是 $T_1 = 23.93444 \text{ h}$, 而地球的公转周期为 $T_2 = 365.2 \text{ d}$, $T_2 \gg T_1$. 如果在间隔很短的两个时间点观察天球上天体的转动情况, 可以近似地认为其位置变化全部是由地球的自转所引起, 如图 1 所示.

其中, O 为地心, N 、 S 为北、南极, Q_1 、 Q_2 为观察者在 t_1 和 t_2 时刻的位置, 其观察视线方向分别沿 OQ_1 和 OQ_2 ; A 为天球球面的一部分, A 为天球上的任一天体所对应的点. 可以看到, 随着时间的变化, OA 的连线和观察者视线所夹角度 α_1 、 α_2 由于地球自转是在不断变化的.

相对地, 我们也可以认为地球是不动的, 而天球

收稿日期: 2008 - 12 - 11; 修回日期: 2009 - 02 - 20

基金项目: 国家基础科学人才培养基金资助项目 (J0730310)

作者简介: 唐爽 (1986—), 男, 四川成都人, 复旦大学物理学系 2005 级本科生.

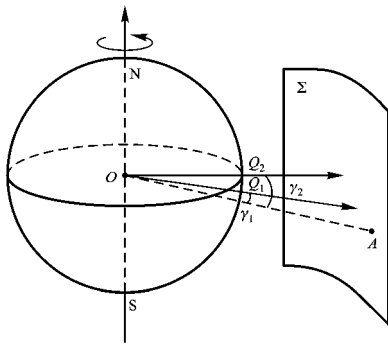


图 1 地球的自转所引起的位置变化

围绕地轴作相对转动,如图 2 所示. 其中, Q 为观察者所在位置, A_1 、 A_2 分别为天球上同一天体所对应的点在 t_1 和 t_2 时刻所对应的几何位置. 由于地球自转的角速度是一定的,所以只要 t_1 和 t_2 的时间间隔给定, γ_1 和 γ_2 间的角度差也就给定了.

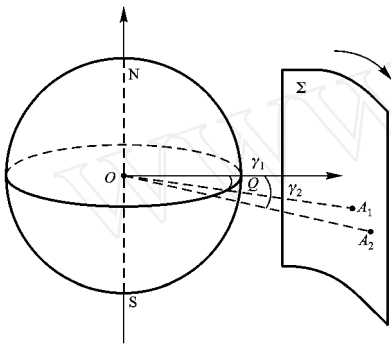


图 2 天球围绕地轴作相对转动所引起的位置变化

1.3 不同纬度上观测地心天球运动的差异

由于天体的视位置是天体沿着观察者的视线方向在天球上的投影,而地心天球始终绕地轴旋转,故在地球上不同位置,沿天球半径(即地球半径)方向观察天体运动,在相同时间内转动的角度因纬度而异的,如图 3 所示.

设天球上经线 l 在时间间隔 $t = t_2 - t_1$ 内,由 l_1 位置转动到了 l_2 位置,则在赤道上(即纬度为 0 的位置)观察到的 l_1 和 l_2 间的夹角 θ 和在纬度为 β 处观察到的 l_1 和 l_2 间的夹角 β 不同的. 图中的 G 、 H 为赤道上两点, J 、 K 为同一纬度圈上两点,纬度为 β . JG 、 KH 分别在 l_1 、 l_2 经线上,则 $\theta = \angle GOH$, $\beta = \angle JOK$,其代数关系满足

$$\cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{\beta}{2} = \sin \frac{\beta}{2}$$

相反的,只要知道了 θ 和 β 间的关系,便可知道观察点处的纬度为

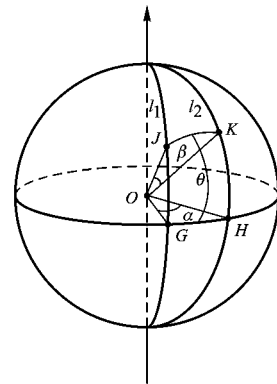


图 3 相同时间内转动的角度因纬度而异

$$= \arccos \left(\frac{\sin \frac{\theta}{2}}{\sin \frac{\beta}{2}} \right)$$

根据这个公式,利用 CCD 对天球上局部区域内的天体运动作出记录,便可以测出观察地所在的纬度.

2 实验装置

实验采用 Nikon D200 数码照相机,配合 AF - S DX VR 变焦 Nikkor 18 - 200 mmf/3.5 - 5.6G IF - ED 镜头. 在夜间对星空进行连续拍摄,获得局域天球球面上天体运动图像. 由于星体亮度较低,拍摄时 Nikon D200 数码照相机采用手动曝光模式 (M 模式),AF - S DX VR 变焦 Nikkor 18 - 200 mmf/3.5 - 5.6G IF - ED 镜头采用手控聚焦模式. 设置拍摄参数: ISO 为 100,曝光时间 15 s,光圈系数为 F3.5,焦距 18 mm.

拍摄时,相机焦平面与铅垂线垂直,且拍摄多张照片时其位置和取向均保持不变. 拍摄地点为中国上海市复旦大学,地理位置为东经 121.4°;北纬 31.2°. 拍摄时间为 2008 年 4 月 24 日凌晨.

3 结果与讨论

在一个小时内,拍摄到的局域天球上星图的变化情况如图 4 所示.

其中:图 4(a)拍摄于 2008 年 4 月 24 日 0:10,图 4(b)拍摄于 2008 年 4 月 24 日 1:10. 首先对数码图像上能够分辨的明显的星体进行圈定,然后比较上述 2 张图像,确定出同一天体在两张图像中所对应的位置变化,并用同一数字标记出来. 利用图像处理软件(如 Mspaint、Photoshop 等)读出各个天体所对应点的平面坐标位置(以像素点为单位),如表 1.

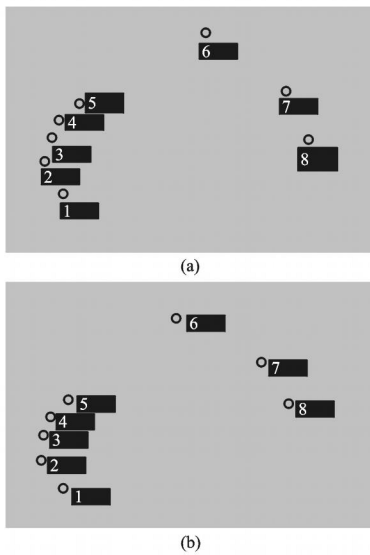


图 4 局域地球上星图的变化 (为清楚起见,对原照片作了反色处理)

表 1 天体的对应点的平面坐标位置

序号	X_1 像素点	Y_1 像素点	X_2 像素点	Y_2 像素点
1	2 090	782	1 809	1 419
2	2 015	648	1 717	1 300
3	2 042	552	1 730	1 201
4	2 073	470	1 754	1 121
5	2 163	409	1 830	1 050
6	2 688	108	2 284	712
7	3 023	352	2 634	895
8	3 115	556	2 753	1 070
几何中心	2 401	485	2 064	1 096

在 Origin 7. 0 中,以像素点为单位标出的这些星体对应点在 1 小时内位置的变化如图 5 所示. 为了消除偶然误差带来的影响,计算所有这些天体对

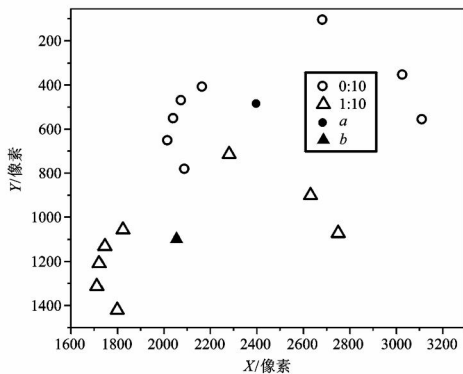


图 5 星体对应点在 1 小时内位置的变化

应点的位置的平均变化,即计算其几何中心的位置变化情况.如图 5 中 a 和 b 分别代表 0: 10 和 1: 10 时这些天体投影的几何中心,其平面坐标分别为 $a(2\ 401, 485)$, $b(2\ 064, 1\ 096)$.

下面计算天体相对于观察者视线的角度变化的平均值.如图 6 所示, L 为照相机成像透镜, Ω 为感光板 ($3\ 872 \times 2\ 592$ 像素), P 为透镜光心, A, B 分别为天体系的几何中心于 t_1, t_2 两个时刻的在天球上的位置, a, b 分别为其在感光板即最后所成图像上的像位置. 根据几何关系, 向量 \vec{Pa}, \vec{Pb} 间的夹角, 即为 A, B 相对于观察者移动的角度. 根据已知数据, 像素点大小为 $6.065\ 3\ \mu\text{m}$, 焦距为 $F = 18\ \text{mm}$. 由于物距可视为无限远, 故可认为焦平面与像平面重合, 焦距即物距, 合 $2\ 968$ 像素. P, a, b 的立体坐标分别为: $P(1\ 936, 1\ 296, 2\ 968)$, $a(2\ 401, 485, 0)$, $b(2\ 064, 1\ 096, 0)$, 所以 $\vec{Pa} = (466, -811, -2\ 968)$, $\vec{Pb} = (128, -200, -2\ 968)$. 由向量公式, 其夹角关系

$$\cos \beta = \frac{\vec{Pa} \cdot \vec{Pb}}{|\vec{Pa}| |\vec{Pb}|} = 0.975$$

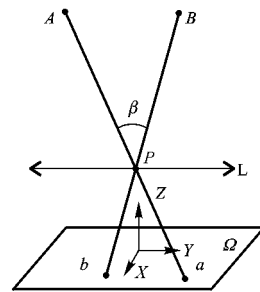


图 6 天体相对于观察者视线的角度变化

另一方面,地球自转周期为 $T_1 = 23.934\ 44\ \text{h}$, 故理想情况下,若在纬度为 0 的位置观察, $1\ \text{h}$ 内其转动角度为

$$= \frac{360^\circ}{23.934\ 44} = 15.041\ 09^\circ$$

这样,即可求得观察点所在地区纬度为

$$= \arccos \left[\frac{\sin((\arccos 0.975)/2)}{\sin(15.041\ 09^\circ/2)} \right] = 31.3^\circ$$

其与标准数据 31.2 几乎相吻合.

4 结论

本文介绍了利用数码相机确定观测点所在地的

(下转 64 页)

空着的正能态。

图 5 是黑洞表面 (r_+) 附近狄拉克真空能级的示意图。 μ 和 ω 分别为粒子的静质量和能量, ω_+ 为最低

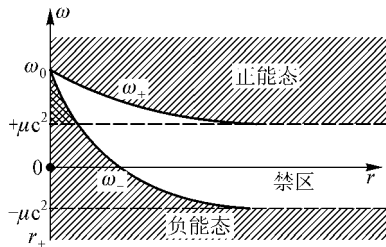


图 5 黑洞附近的真空能级与自发辐射

正能级, ω_- 为最高负能级, 二者之间是不存在粒子的禁区. 远离黑洞的地方, $\omega_+ \approx \mu c^2$, $\omega_- \approx -\mu c^2$, 与平直时空情况相同. 在转动 (或带电) 黑洞的外视界附近, 真空能级发生变化, ω_+ 与 ω_- 均升高并在视界处重合于 ω_0 . 图中黑影部分为高于最低正能态的负能区, 那里充满了粒子.

这时, 禁区相当于势垒, 负能粒子可以通过隧道效应穿越势垒成为正能粒子, 然后跑向远方. 这些粒子带走黑洞的转动能量、电荷和电磁能, 从而使激发态的黑洞慢慢蜕化到基态.

(本连载内容均源自作者专著《物理学与人类文明十六讲》(高等教育出版社, 2008年9月出版), 有兴趣的读者请参阅该书——编者)

(上接 58 页)

纬度的方法. 实验所用仪器简单, 测量方便. 实验涵盖内容丰富, 包括天球观测、地球经纬度、CCD 技术、光学成像原理, 以及多种数据处理方法, 如图像标定、数据统计等. 该实验适合在本科实验教学中推广.

参考文献:

- [1] Stephen W Hughes. Measuring the orbital period of the Moon using a digital camera [J]. Phys Edu, 2006, 41 (2): 144 - 150.

- [2] 胡中为. 普通天文学 [M]. 南京: 南京大学出版社, 2003.
- [3] 朱蕴璞, 孔德仁, 王芳. 传感器原理及应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [4] 刘步林, 成松林. 简明天文学手册 [M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [5] 洪韵芳. 天文爱好者手册 [M]. 成都: 四川辞书出版社, 1999.
- [6] 刘学富. 基础天文学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.

Measurement of the latitude with digital camera (CCD)

TANG Shuang, MA Shi-hong

(Department of Physics, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: A brandnew method for measuring the latitude of the observer's location is introduced. By utilizing an ordinary digital camera, we have taken a series of photographs at two consecutive hours. The latitude of our observation station is obtained via the analysis of the data of such photographs. Finally, the measuring latitude of Shanghai China, is N. Lat. 31.3° , which is almost consistent with the standard value.

Key word: digital camera; CCD; latitude measurement