

如何计算天体的质量

王志刚 王耀华 王莉 王志广

(唐山师范学院物理系 河北 063000)(滦南川林中学 河北 063500)

一、历史回顾

古往今来,太阳每天都是东升西落。天上繁星闪烁,异彩纷呈。这些壮观的天文现象自古以来就吸引着人们去探究其运动规律。早在公元前数百年,人们就开始有了对这些天体运动的各种解释。到公元150年前后,古希腊的亚历山大城的学者托勒密著成《天文学大成》一书。该书系统地提出以地球为中心的宇宙学说——“地心说”。这一学说认为:太阳、月亮及所有的行星、恒星都绕地球转动。这一学说与“上帝创造一切,人类为宇宙的中心”的神权思想一致,从而得到教会的支持和保护。“地心说”在长达1000多年的时期内,在欧洲天文学中一直占据着统治地位。

随着天文学的发展与观测,不断有人对“地心说”提出质疑。到16世纪,波兰天文学家哥白尼通过近40年的亲自观测,对大量数据分析合算和不懈地研究,认为“地心说”对于繁琐复杂,且有很多问题不能解释。他提出地球和其他行星都绕太阳作等速圆周运动,恒星位于远离太阳的天球上静止不动。太阳是宇宙的中心。“日心说”能简单准确预测行星的位置,还能解释很多“地心说”所不能解释的难题。但“日心说”由于违背神权思想,哥白尼受到了教会迫害,临终前于1543年发表了《天体运行论》这一巨著。“日心说”与“地心说”经几百年的激烈争论,“日心说”终于取代了“地心说”而在天文学上占据了统治地位。后人称哥白尼是“拦住太阳,推动地球”的伟人。

二、开普勒定律

被称为观测大师的丹麦天文学家第谷独立地研究与精密观测了行星在天球上的位置,绘制了上千颗恒星较准确的星图。他测量和记录了20多年来行星的位置,积累了大量珍贵资料。经分析整理得出结论发现,哥白尼的行星运动轨道学说只是粗略的近似情况。

第谷的学生,德国天文学家开普勒更注重从理论上思考问题。他认为哥白尼学说基本是对的,但

他更忠实于导师的观测数据。第谷死后,他根据导师20多年对行星的各种精密观测数据进行综合分析整理,反复核算,断然否定了哥白尼的“匀速”、“圆周”运动理论,于1609年和1619年提出关于行星的运动定律,现称为开普勒三定律。现归纳如下:

第一定律:行星沿椭圆轨道运行,太阳位于椭圆的一个焦点上。

第二定律:行星与太阳连接的线段,在相等的时间内所扫过的面积相等。

第三定律:行星绕太阳运动轨道的半长轴 a 的立方与公转周期 T 的平方成正比,即

$$a^3/T^2 = \text{常数 } k \quad (1)$$

常数 k 叫开普勒常数,它只与太阳有关。定律所描述的运动是相对于日心—恒星系而言的。

开普勒行星运动定律表明,行星运动轨道不是正圆而是椭圆。太阳系中不同行星绕太阳运转的周期不同,距离越远,周期越大。这对哥白尼学说中关于行星运动轨道模型做出了重要修正。对人们进一步认识行星的运动“天机”提供了重要的理论基础。为人们以后求得天体质量奠定了不可磨灭的功勋。意大利科学家伽利略在1609年制造了世界上第一台天文望远镜。通过观测,进一步扩大了人们的天文视野。后人观测发现开普勒定律也只是近似的,但行星的实际运动情况与开普勒定律只有少许的偏差。

三、万有引力定律

开普勒定律虽然描述的是天体的运动规律,而天体为什么按这样的规律运动并不太清楚。开普勒并不知道定律中蕴涵着更为简洁、更为深刻、更为普遍的物理法则。这些天体运动机密后来被英国大科学家牛顿成功地破译了。

牛顿通过深刻理解地球表面物体的运动及相互作用规律,认为这种相互作用规律对天体之间的行星也同样遵守着共同的运动法则。因此,牛顿将自己的运动定律与开普勒3个定律结合起来,于1687年发表了《自然哲学的数学原理》一书。该书的核心

现代物理知识

内容是运动定律及万有引力定律。万有引力定律是牛顿力学体系的重要组成部分,由此进而创立了天体力学,使得更精确地描述了太阳系。

万有引力定律的内容如下:

任何两物体间都存在相互作用的引力,力的方向沿两物体的连线,力的大小 f 与两物体的质量 m_1 、 m_2 的乘积成正比,与两者之间的距离 r 的平方成反比,即

$$f = Gm_1 m_2 / r^2 \quad (2)$$

其中 G 为万有引力常数,它是与物体无关的普适量。

万有引力定律成功地描述了太阳系。在太阳的强大引力下,太阳系中的九大行星、大量小行星和彗星,都遵循各自的轨道绕太阳运转。从而太阳系各种天体相互作用、相互制约,构成了一个运动不息的天体系统。将万有引力定律推广到整个宇宙星系,同样可解释宇宙星系之间的相互作用及制约关系。但在当时的条件下,因为没能测出万有引力常数,天体的质量始终没有被算出。在万有引力定律发表 100 多年后,英国化学家卡文迪什最早在实验室通过精巧设计的扭称实验,反复进行测量,于 1789 年发表了万有引力常数的测量结果是 $G = 6.754 \times 10^{-11} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ 。从卡文迪什到现在的 200 多年间,许多人用很多方法测量了 G 的数值,不断地改进精度。国际科学联盟理事会科学数据委员会(CODATA)1986 年推荐的数值为 $G = 6.675259(85) \times 10^{-11} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$,不确定度为万分之 1.28。

四、关于星体的质量

开普勒定律与万有引力定律不仅适合于太阳系,它们对具有中心天体的引力系统和双星系统都成立。双星系统也称为两体问题。两体问题是指两体在内力作用下相对惯性系的运动问题。由万有引力定律易证两体质心相对惯性系作惯性运动。而两体相对质心系作圆锥曲线运动。绕转天体相对中心天体作椭圆轨道运动。

设中心天体 S 的质量为 M ,绕转天体 P 的质量为 m ,通过万有引力定律及开普勒第一、第二定律可推导出,绕转天体 P 的周期与轨道半长轴的关系为:

$$a^3 / T^2 = G(M + m) / 4\pi^2 \quad (3)$$

上式表示,对太阳系中,不同绕转天体,开普勒常数不同。它正是由于太阳相对惯性系也具有加速度而对开普勒定律的修正。当 $M \gg m$ 时,可以认为

$a^3 / T^2 = GM / 4\pi^2$,这正是开普勒第三定律。实际上,任何天体在宇宙空间都是运动的。

由(3)式可以看出,只要能测出绕转天体相对中心天体的运动周期 T 及半长轴 a ,就可计算出双星的质量。如果中心天体的质量远大于绕转天体的质量,所求质量即可认为是中心天体质量。目前所公布的天体质量大部分是按以上方法算出的。如果再考虑到其他天体的作用,用数值微扰理论加以修正,就可以得到较为精确的天体质量。

我们知道,地球有一天然卫星月亮,二者看成构成二体问题。通过观测,月亮绕地球的运转周期为 $T = 27.32166$ 日。月亮绕地球运转的半长轴约为 384400 千米(轨道扁率为 0.006),将已知数据代入(3)式,则得双星质量约为 $6.043 \times 10^{24} \text{kg}$ 。通过数值微扰理论修正后,得地球质量为 $5.974 \times 10^{24} \text{kg}$ 。

太阳的质量占太阳系的绝大部分(99.865%),在太阳的强大引力下,九大行星中的任一行星和太阳都可看成是二体问题。从而很容易计算出太阳的质量。例如,地球与太阳构成的两体问题,地球绕太阳的运转周期为 $T = 365.25636$ 天,地球到太阳的中心距离约为 $a = 1.495979 \times 10^{11} \text{m}$ (轨道扁率仅 0.0034),将已知数据代入(3)式,得双星质量约为 $1.9892 \times 10^{30} \text{kg}$ 。通过考虑其他星体的作用,用数值微扰理论可得太阳质量修正值为 $1.9891 \times 10^{30} \text{kg}$ 。

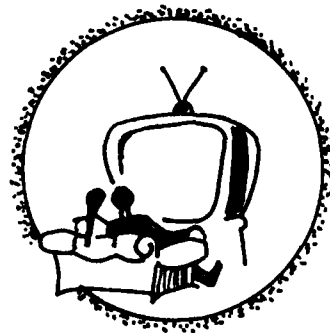
当然,确定天体质量的办法不是惟一的。例如,将天体近似看成圆球,只要测出天体半径 R 及该天体的重力加速度 g ,用 $mg = GmM/R^2$ 也可估算出中心天体的质量 M 。

哥白尼的日心说理论体系及开普勒的行星运动定律是人类认识宇宙的重大进展,但这些理论仍保留了一些旧的错误观点。例如天体正圆的运动轨道及恒星和太阳是固定不动的宇宙中心等。随着天文学的发展,一些错误的观点先后被否定了。实际上作为太阳系中心天体的太阳,也不是宇宙的中心,而是银河系中的一颗普通恒星。整个银河系也不是宇宙的中心,它是由大量恒星和星际物质所组成的庞大天体物质系统,是太阳及太阳系所在的星系。银河系是一个呈旋涡状旋转的星系,这是这个庞大的天体系统不停地作旋转运动的结果。银河系质量大部分集中在银河中心附近,银心与太阳也可看成二体问题。通过观测,太阳到银河系中心的旋转半长轴约为 33000 光年,太阳绕银河系的中心的旋转周期约为 25000 万年,将这些观测数据代入(3)式,同样

现代彩色电视发展新概念

刘 勍 温志贤

(天水师范学院物理系 甘肃 741000)



自从 1925 年英国贝尔德表演了实用的机械扫描电视以来,电视的发展经历了机械黑白、电子黑白和电子彩色电视阶段。由于科技的发展,近几年来,出现了很多新概念电视,并开始逐渐进入消费者的日常生活,但是大多数人并不知道许多新电视的“概念”,本文试图给这些新的“概念电视”作一诠释。

1. 模拟电视(ATV)

模拟电视是现行的普通电视系统。这种电视系统是从人眼的视觉特性出发根据光电转换原理,在电视摄像机中,利用电信号去模拟一幅光象;而在电视接收机中,则是产生一幅光象来模拟电视信号。从摄像到显象和幅度上都是连续的。现行模拟电视发展到今天,就技术而言,已相当完善,但是模拟电视信号在处理和传输过程中还存在着非线性失真、相位失真的积累和杂波干扰的积累以及稳定性差等一些缺点。

2. 数码电视(DTV)

数码电视又称为数字处理电视,是应用了数字信号处理技术的模拟电视。它接收的电视信号仍然是模拟信号,数码电视机与模拟电视机在电路程式上基本相同,仅在视频检波后将模拟的解码电路改成数字处理电路,从而能增加画中画、双画面、倍场、倍行等改善电视图像和增强显示图像花样的功能,克服了模拟电视存在的一些困难。数字信号处理电路是数码电视的核心,它先把模拟视频信号经模/数(A/D)转换电路,变成 8 比特(bit)的数字信号,然后按功能要求进行数字处理,如黑电平扩展、画中画处理、双画面显示处理等。经数字处理后的数字视频信号(比特流)还须经数/模(D/A)电路,变成模拟视

频信号,送显象管显示出图像。目前数码电视在我国市场上占有和将占有主要地位,且完全有可能成为中国中、高档模拟信号电视机在较长时间的发展方向。

3. 纯平电视

纯平电视是采用纯平面显象管的数码电视。这种电视的纯平面显象管采用垂直栅条设计,红绿蓝 3 色的色条是连续的(普通显象管使用网状栅每一条被分割成一小段一小段不同),这一设计使垂直方向的图像更连贯,整个画面色彩更鲜明。纯平电视的显象管采用了新型高强度高透光率玻璃,并通过计算机模拟辅助设计达到安全的最小厚度,和普通的球面管玻璃屏厚度相当。这种电视与超平电视相比视角更加广阔,没有画面扭曲失真,极大地减小了屏幕上的反射,图像显得很舒服。目前已成为 29 英寸以上消费的主流电视。

4. 变频电视(数码双频)

它采用 100Hz 数码倍场扫描或逐行扫描电路。100Hz 倍场扫描电路是对视频信号运用数字处理技术,按一定规则运算产生两场新的视频信号,使场频从 50Hz 提高到 100Hz(NTSC 制提高为 120Hz),它利用场存储器存储每场信号,再以高一倍的速度将同一场内容重复读取两次,使 1 帧由原来 2 场变成 4 场,场频及行频均提高了一倍;逐行扫描的技术手段则是将一帧信号的奇、偶两场写入同一片帧存储器内,写入时使奇数行和偶数行交错间置,然后按顺序逐行读出,即可实现逐行扫描,使其行频升高一倍。由此,“100Hz 逐行扫描”是分开的二项技术,在某一电视机中不会同时进行,即 100Hz 倍场时,不是逐行扫

可近似计算出银河系的质量约为 $M_{\text{银}} = 2.9 \times 10^{41} \text{ kg}$
 $\approx 1.4 \times 10^{11} M_{\odot}$ 。

当然,我们相信,随着科学技术发展及理论的不
断创新,测量各种数据的仪器的现代化程度不断提

高,天体的质量观测将更加精确,人们认识宇宙的发展规律也会更加清楚。人类要想完全认识宇宙的真实发展及变化情况,可能还要付出几十代或更长时间的共同努力。