

理科

华东师范大学 第二附属中学 校本课程

华东师范大学第二附属中学 主编



生活中的力学

刘莹 编著



华东师范大学出版社



华东师范大学 第二附属中学 校本课程

华东师范大学第二附属中学 主编

生活中的力学

刘 莹 编著



华东师范大学出版社

前言

。样查学参学选列选法
新查新查新，决之些不取野野出界出中路拉善融，对空回扣于由
五路新此
的少更示表作本限的更意有室出对计工善融林林本哲向，业查

定版 告融
凡 8 年 800S

随着二期课程改革实践的深入，一种更适应学生发展的教与学的模式逐渐发展起来。相比于传统的灌输式教学，这个模式以学生为中心，教学过程注重学生的研究探索，辅以教师的引导领路。与之相适应，教材体系也需要往这个方向发展。教材应体现学生的主动探索和研究过程，让学生利用现有的知识，能动地探究知识的发生与发展；不仅具有传输基本知识的功能，更应具备引导如何获取更多知识的途径的功能，实践创造性地教与学。

本教材贯彻二期课程改革的目标要求，适应新的教学模式的需要。从内容安排上，教材对课内基本知识的学习进行了拓展和补充，强调思考和实践。挖掘生产生活中利用物理规律的生动事例，深入探讨物理规律、定律，以应用的形式达到创造性教学的目标。有利于学生加深对概念的理解，举一反三，融会贯通。

本教材体例安排特色鲜明。“共同探讨”部分——放宽学生的思维空间，大胆发表个人的见解、观点或是疑问。例如第一章“身边力世界”关于“地球隧道”的问题，引导学生共同参与探讨。“知识链接”部分——溯源有关知识点、扩大知识面，开拓学生的视野。例如第三章“趣谈摩擦”中关于“摩擦传动装置”的探讨，使得这部分内容更丰富，进一步深入对基本知识的认识和理解。“你的观点”部分——充分调动学生的思考、研究和发表意见的积极性。全书大部分章节均有这部分内容。从实践中学习知识，在学习、思考中创造实践，是本书着重强调的思想，贯彻以学生为中心的教学模式，正符合新的、更具活力的教学过程的要求。

本教材可以作为高中学生课外补充学习资料，也可以作

为教师教学参考资料。

由于时间仓促,编著过程中出现的错误或不当之处,敬请读者谅解,批评指正。

在此,向对本教材编著工作提出宝贵意见的朋友们表示衷心的感谢!

编者 刘莹

2008 年 8 月

目 录

前 言 / 1

第一章 身边力世界 / 1

- 一、重力与万有引力 / 1
- 二、无底洞与地球隧道 / 4
- 三、潮汐的形成 / 6
- 四、重力异常与探矿 / 8
- 五、地球上的惯性力——科里奥利力 / 9

第二章 灿烂星空 / 14

- 一、三个宇宙速度 / 14
- 二、卫星的发射 / 15
- 三、人造地球卫星的轨道 / 16
- 四、卫星飞行过程中的变轨 / 19
- 五、卫星的种类 / 22
- 六、GPS 卫星系统 / 23

第三章 趣谈摩擦 / 26

- 一、摩擦力 / 26
- 二、静摩擦力和滑动摩擦力 / 27
- 三、摩擦的利与弊 / 28
- 四、摩擦传动装置 / 29
- 五、摩擦角与自锁现象及利用 / 31
- 六、摩擦桩 / 35
- 七、摩擦焊接 / 36

第四章 流体的奥秘(一) / 38

- 一、理想流体 / 38
- 二、流体的连续性 / 40
- 三、伯努利方程 / 41
- 四、伯努利方程的应用 / 46

第五章 流体的奥秘(二) / 50

- 一、流体阻力的产生 / 50
- 二、流体阻力的影响因素 / 52
- 三、流体阻力的利与弊 / 52
- 四、汽车的风阻 / 56

第六章 流体的奥秘(三) / 59

- 一、静止流体内部的压强分布规律 / 59
- 二、帕斯卡定律 / 59
- 三、阿基米德定律 / 59
- 四、流体静力学的应用 / 59

第七章 神奇的表面张力 / 64

- 一、表面张力 / 64
- 二、液体与固体接触处的表面现象 / 66

第八章 平衡的妙用 / 72

- 一、物体的平衡条件 / 72
- 二、物体平衡的种类 稳度 / 72
- 三、物体平衡条件的应用 / 75

第九章 探秘动量 / 84

- 一、动量 动量定理和动量守恒定律 / 84
- 二、动量定理和动量守恒定律的应用 / 84
- 三、火箭 / 89

第十章 旋转的科学 / 93

- 一、转动惯量、角动量、角动量守恒 / 93

二、角动量守恒的应用 / 94

三、神奇的陀螺 / 98

第十一章 生物中的力学 / 102

一、一个简单的模型 / 102

二、生物的体型大小与肌肉、骨骼比例 / 102

三、生物体的恒温与保温 / 104

四、生物的飞行 / 105

五、动物的跳跃 / 109

六、表面张力对小型生物的影响 / 110

七、人和动物的血压 / 111

八、称量人体各部分重力 / 111

第十二章 建筑中的力学 / 114

一、常见的形变 / 114

二、建筑的承重结构 / 115

三、承重结构的材料 / 118

四、建筑中平衡条件的应用 / 120

五、桥梁的种类及其负载 / 121

六、高层建筑的防震和抗风 / 123

第十三章 交通中的力学 / 125

一、交通工具中的力学 / 125

二、交通安全中的力学 / 131

第十四章 体育运动中的力学 / 136

一、举重中的力学 / 136

二、竞走中的力学 / 137

三、拔河中的力学 / 138

四、跳绳中的力学 / 141

五、跳水与跳高中的力学 / 142

第一章 身边力世界

一、重力与万有引力

地面附近的物体由于地球的吸引而受到重力作用,但是物体所受重力一般并不等同于地球对物体的万有引力。地球对物体的万有引力产生两个效果:一是使物体随地球一起参与地球的自转;一是使物体落向地面(或压在地面上)。也就是说,万有引力可以分解为两个力,即维持物体随地球自转(即绕地轴做匀速圆周运动)所需的向心力和重力。

如图 1-1 所示,图中 F 为特定纬度处某一物体所受地球的万有引力, F_1 是该物体随地球自转而沿纬圈做圆周运动所需向心力, G 为物体所受重力。由图可知,重力的大小一般不等于万有引力 F ,方向通常也并不指向地球中心,只有两极和赤道处的重力方向才指向地心。

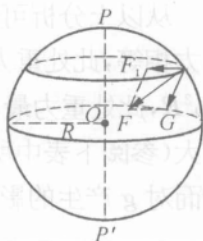


图 1-1

物体在地球上受到的重力都与哪些因素有关呢?

你的观点

1911 年 4 月,利比里亚商人哈桑在挪威买了 12 000 吨鲜鱼,运回利比里亚首府后,一过秤,鱼竟一下子少了 47 吨!哈桑回想购鱼时他是亲眼看着鱼老板过秤的,一点儿也没少秤啊,归途上平平安安,无人动过鱼。那么这 47 吨鱼到哪儿去了呢?哈桑百思不得其解。其实是重力“偷走了鱼”,你能做出解释吗?

1. 地理纬度对物体重力的影响

不同纬度处的物体随地球自转做圆周运动的半径不同,所需向心力 F_1 和物体所受重力 G 的大小也会变化。将地球看成球体,地面上各处同一

物体所受万有引力 $F_{\text{万}}$ 相同, $F_{\text{万}} = \frac{GMm}{R^2}$, 式中 R 为地球半径。物体随地球自转所需要的向心力为



图 1-2

$F_1 = m\omega^2 R \cos \phi$, ϕ 为物体所处的纬度。在赤道处 F_1 最大, 这时的 $\frac{F_1}{F_{\text{万}}}$ 约为 $\frac{1}{290}$ 。

某一纬度处力的平行四边形放大为图 1-2, 在 F 上截取一段等于 mg , 与代表 mg 的边构成一等腰三角形, 因为重力 mg 与 F 的夹角 θ 很小, 所以其底角为 $\frac{\pi}{2} - \frac{\theta}{2} \approx \frac{\pi}{2}$ 。因此有

$$F_{\text{万}} - mg \approx F_1 \cos \phi = m\omega^2 R \cos^2 \phi。$$

所以地球某处的重力可以表示为 $mg \approx F_{\text{万}} - F_1 \cos \phi = F_{\text{万}} - m\omega^2 R \cos^2 \phi$ 。实际上地球并非严格的球体, g 随纬度变化的关系要比上式更复杂一些。

从以上分析可知, 在地球两极处, $\phi = 90^\circ$, $\cos \phi = 0$, 重力与万有引力相等, 此处重力最大; 而在赤道处, $\phi = 0^\circ$, $\cos \phi = 1$, $mg = F_{\text{万}} - m\omega^2 R$, 此处重力最小; 其余纬度的重力值介于这两个极值之间, 但变动不大(参阅下表中所列数据), 其方向略有偏差。但是, 这种由于地球自转而对 g 产生的影响, 有时也要予以考虑。

纬度 ϕ	重力加速度正常值 (m/s^2)
0° (赤道)	9.780 490 00
15°	9.783 940 43
30°	9.793 377 64
45°	9.806 293 94
60°	9.823 624 37
75°	9.828 733 79
90° (南北极)	9.832 213 00

共同探讨

在北纬 15° 和北纬 40° , 同一个运动员用相同的速度将相同的铅球在同一高度水平抛出, 在不考虑风力及其他因素影响的情况下, 运动员在哪处将铅球投掷得更远呢?

解: 根据平抛运动公式 $x = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$, 在低纬度地区, 重力加速度 g 更小, 所以在其他条件完全相同的情况下, 在低纬度地区铅球被抛得更远。

知识链接

重力加速度的单位除了我们常用的米/秒²外,还有一个单位叫做伽里,

1 伽里 = 1 厘米 / 秒²。

这个伽里的实用单位是为了纪念意大利物理学家伽利略对落体理论的研究而设的。

2. 高度对物体重力的影响

在不考虑地球自转的情况下,物体的重力加速度还随离地面的高度的变化而变化。

在离地 h 高处的物体重力大小等于在该处物体受到的地球的万有引力, $G_h = \frac{R^2}{(R+h)^2}G$, 其中 G_h 为物体在某一高度处的重力, G 为物体在地球表面的重力。在距离地面的高度为等于地球半径处, 物体的重力是它在地面处重力的 $\frac{1}{4}$ 。在地表附近可以近似认为万有引力与重力是相等的。

3. 速度对物体重力的影响

在地面上或地面附近运动的物体(例如人、火车、船只或飞机、人造卫星等)都会或多或少地由于自身的运动而使向心力发生改变,从而改变它的重力。例如,如图 1-3 所示,

观察一列沿着纬线运动的火车,由于地球自西向东旋转,当火车东行时,它行进的方向跟地球自转方向一致,这时火车绕地轴运动的速度等于地球转速和火车速度之和;当火车西行时,它行进的方向跟地球



图 1-3

自转方向相反,于是绕地轴运动的速度为它们之差。可见,相对于地轴而言,火车东行比西行的速度快,东行的角速度比西行的大,根据重力公式 $G = F_{\text{万}} - F_1 \cos \phi = F_{\text{万}} - m\omega^2 R \cos^2 \phi$ 可知,这列火车东行时的重力比西行时的轻。

这种重力随物体速度(水平方向)变化的现象叫做“奥特伯斯”效应,也被称为“东行轻西行重”现象。

这种效应除了极地或沿着经线运动外,在地球上广泛存在的:

从人的行路、奥林匹克运动员赛跑到船只航行、飞机飞行,乃至人造卫星、宇宙飞船发射等等都存在这种效应。并且越接近赤道地区,这种效应越显著。因此,人造卫星或环球飞行的飞机、宇宙飞船在发射或飞行时都巧妙地利用这一效应,让发射地点尽可能选择在低纬度,且发射方向均朝东,从而达到减少能量的损耗、增大初速度的目的。

4. 地下深度对物体重力的影响

研究这个问题时,我们应用以下两个定理:

(1) 均匀物质球对它的外部质点的吸引问题,可以看作整个均匀球质量集中于球心上且用一个质心代替,那么就把球与球外质点的吸引问题简化为质心与质点的吸引问题;

(2) 均匀物质球不会吸引分布在球内的质点(质点放在球壳内任意位置,整个球壳对它的万有引力的合力为零)。

以地心 O 为球心,以 OP 间的距离 x 为半径,作一个球体。当质点位于地球表面以下如图 1-4 所示的 P 点时, P 点以外的阴影部分可以看作是许多层球壳构成,由前面的结论可知,阴影部分的厚球壳对质点 P 的引力恰好相互抵消,所以质点所受的引力就等于以半径为 x 的内球体对物体的引力,不考虑地球的自转,此时的引力就是重力。设地球的半径为 R ,质量为 M ,内球体的质量为 M_x ,则:

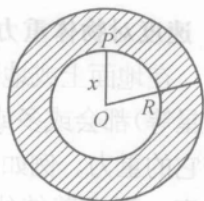


图 1-4

$$M_x = \frac{4\pi x^3}{3} \rho = \frac{x^3}{R^3} M,$$

内球体对物体的引力等于重力:

$$mg = G \frac{M_x m}{x^2},$$

此处的重力加速度为:

$$g = \frac{GMx}{R^3},$$

物体的重力与物体到地心的距离成正比。

二、无底洞与地球隧道

共同探讨

1. 如图 1-5 所示,假设能像挖井一样,在地球的表面穿一个洞,

通过地心直到地球的另一边。然后在这个贯穿地球的无底洞里来一番旅行,我们就可以亲眼探查一下地球内部的奥秘。你能分析这时洞里的人的运动情况吗?

解:根据地球内部物体重力公式,我们可以知道:在向地心运动的过程中,物体做的是加速度逐渐减小的加速运动;在从地心向另一个洞口运动的过程中,物体做的是加速度逐渐变大的减速运动。从洞口向地心运动的过程中,速度越来越快,到地心时速度最大;从地心向洞口运动的过程中,速度越来越慢,再到洞口处速度为零。然后再往复进行这样的振动。

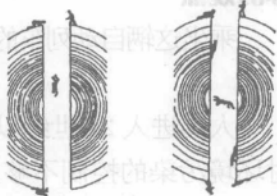


图 1-5

较为精确的计算可以得出这样一次穿洞旅行只需要 42 分 12 秒的时间。

2. 如果我们将上面的情况引申开来,假设从北京到广州这两大城市的地下挖一条笔直的隧道相通,在隧道中铺设铁轨,如图 1-6 所示。如果不计摩擦力和空气阻力的话,一辆不用燃料的自动列车能在这条地下铁路上行驶吗? 为什么?

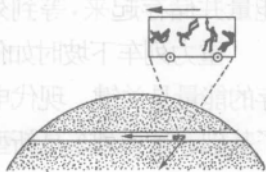


图 1-6

解:能够行驶。列车受到地心的引力,而这一引力可以分解为两个分力:第一个分力是垂直于隧道的,它使列车对铁轨产生了压力,因为不计摩擦,所以引力的这一分力对列车的运动没有影响。第二个分力是沿隧道方向的,列车在第二个引力分力的作用下,即可沿铁轨运行。一开始列车速度很小,但在第二个引力分力的作用下列车是做加速运动的,它运动的速度越来越快,当列车到达隧道中点时,它的速度达到最大值;过了中点以后,地心引力沿隧道的分力与列车运动的方向相反,速度就逐渐慢了下来,等到达隧道那一头地面时,速度刚好降为零;到站后,必须用自动化装置及时将列车卡住,等旅客上下列车完毕后再释放列车。在这个地下隧道中的列车从北京到广州也只需要 42 分 12 秒的行驶时间,和上面无底洞的时间是相同的。其实可以证明,在地球上任意两点之间挖通的这种隧道,在不计摩擦及阻力的情况下,列车在两点间完成一次这样的行程所需要的时间均为 42 分 12 秒。

但这样的永动机是无法实现的,因为总是存在着空气阻力与摩擦力。

你的观点

乘坐这辆自动列车的人呈现失重状态,也就无法辨认上下了,为什么?

人类进入 21 世纪以来,由于石油、天然气以及煤的过度开采,加上对环境污染的控制不够重视,生态危机和能源危机越来越威胁着人类的生存。面对如此严峻的形势,人们也就加快了研究新能源、清洁能源的步伐,同时也加紧研究替代能源的方案。早在 100 多年以前就有人提出了地球隧道的方案,虽然无法实现,但这给了我们一个重要的启示,那就是如何利用重力来为人类服务。我国的地形是西部高东部低,而且高度有明显的变化,我国的这种地形分布为将来的“重力列车”提供了有利条件。重力列车与常规的列车不同,它不是在通常轨道上行驶,不是利用通常的“动力资源”,而是利用重力作为列车前进的动力。列车在下坡时,出于重力的作用而不断地加速,但列车的速度也不宜过大,所以就需要通过限速来控制车速。在这限速的过程中可以通过限速发电机等将重力势能转换为可控能量并储存起来,等到列车上坡或者需要加速时使用。

重力列车下坡时如何控制速度,如何将多余的能量转换成可以控制储存的能量是关键。现代电子计算机和现代动力技术为解决这个问题提供了基础。重力列车是新型车,绿色环保、节能,有很广阔的应用前景。

三、潮汐的形成

自然界中的万物无不以其特有的规律运动变化,潮汐也不例外。每天在海边都能观看到两次涨潮和落潮,昼潮称潮,夜潮称汐,每逢新月或满月,潮汐更大。我国的钱塘潮气势磅礴,尤为壮观。潮汐为什么会有规律地出现呢?究其原因,主要是因为月亮和太阳对海水各处的吸引力不同而造成的。在地球面向月亮的一面海水鼓起来,而背向月亮的一面海水也鼓起来。鼓起来的过程就是涨潮,继而再落下来就是落潮。

地球对海水的吸引力最大,海水和地球上的万物一起被地球紧紧地“抓住”,并随着地球一起运转。

共同探讨

太阳的质量是 $1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$, 地球中心到太阳中心的距离为 $1.496 \times 10^8 \text{ km}$, 地球的质量为 $5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$, 地球半径为 $6.38 \times 10^3 \text{ km}$, 月亮的质量是 $7.36 \times 10^{22} \text{ kg}$, 地球中心到月亮中心的距离为

解. $\frac{F_{\text{月万}}}{F_{\text{月地}}} = \frac{M_{\text{月}} \cdot R_{\text{地}}^2}{M_{\text{地}} \cdot R_{\text{地}}^2} \approx 3.5 \times 10^{-6},$

$$\frac{F_{\text{日万}}}{F_{\text{地万}}} = \frac{M_{\text{日}} \cdot R_{\text{地}}^2}{M_{\text{地}} \cdot r_{\text{地日}}^2} \approx 6.1 \times 10^{-4}。$$

$$\Delta F_{\text{月}} = F_{A\text{月}} - F_{B\text{月}} = GM_{\text{月}} m \left(\frac{1}{L_{A\text{月}}^2} - \frac{1}{L_{B\text{月}}^2} \right),$$

满月情况下,涨潮最壮观,这时太阳的吸引力也正好加强潮势。一般来说,太阳对潮汐的作用比月亮对潮汐的作用小得多,但毕竟增加了

海水涨落的幅度。其实太阳对海水的吸引力比月亮的大 200 倍左右,为什么太阳对潮汐的作用反而比月亮的还小呢?可以用太阳对点 A 及点 B 处海水的吸引力之差 $\Delta F_{\text{日}}$ 来解释。如果 $M_{\text{日}}$ 表示太阳的质量, $L_{A\text{日}}$ 和 $L_{B\text{日}}$ 分别表示太阳到点 A 及点 B 处海水的距离,其中 A 点到 B 点处间距 L 为 100 千米,那么:

$$\Delta F_{\text{日}} = GM_{\text{日}} m \left(\frac{1}{L_{A\text{日}}^2} - \frac{1}{L_{B\text{日}}^2} \right),$$

$$L_{B\text{日}}^2 \approx L_{A\text{日}}^2 + L^2,$$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta F_{\text{日}}}{\Delta F_{\text{月}}} &= \frac{M_{\text{日}} L_{A\text{日}}^2 (L_{A\text{日}}^2 + L^2)}{M_{\text{月}} L_{A\text{月}}^2 (L_{A\text{月}}^2 + L^2)} \\ &= \frac{7.36 \times 10^{22} \times (1.496 \times 10^{11})^2 \times [(1.496 \times 10^{11})^2 + (10^5)^2]}{1.99 \times 10^{30} \times (3.84 \times 10^8)^2 \times [(3.84 \times 10^8)^2 + (10^5)^2]} \\ &\approx 850, \end{aligned}$$

太阳的引力虽然远大于月球的引力,但潮汐现象是由于天体对地球上不同位置海水的引力差而形成的,太阳的引力虽然大,但由于它很远,对不同处海水的吸引力之差比月亮的小得多,所以它对地球潮汐的影响却很小。可见,月亮的吸引力是造成潮汐的主要原因。

四、重力异常与探矿

如果构成地球的物质是完全均匀的,那么任何地点的重力的方向都应该是竖直向下的,同一纬度同一高度处的重力加速度的大小也是相同的。但是由于地球表面或者深处质量分布的不均匀,会使某些地方的重力加速度发生改变,这种情况就叫做重力异常。如果在某处出现了重力异常,则往往预示着该处地下深处有洞穴或矿藏。铅坠和单摆是所有的科学仪器中最简单的,但最简单的工具也能取得很奇妙的效果。重力异常地区的铅垂线的方向会发生改变。如图 1-8 所示,重力异常会迫使铅垂线略微倾向山体一面,离山体越近或山的质量越大,

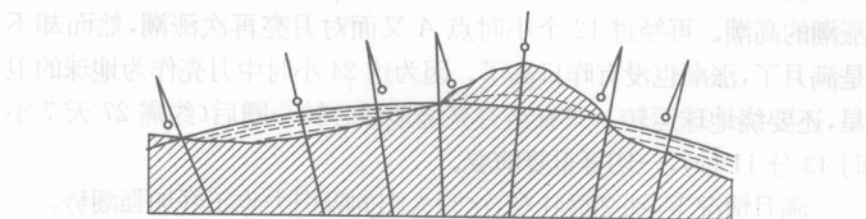


图 1-8

倾斜就越明显。铅坠可以作为判断地球深处结构的工具,我们可以从铅垂线的倾斜来观测重力异常。

另外,单摆做小幅振动时,其简谐振动周期为: $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 。

为研究地球深处的结构可采用“秒”摆,即 $T = 2\text{ s}$,则 $\pi\sqrt{\frac{L}{g}} = 1$,

$$L = \frac{g}{\pi^2}。$$

当某处重力异常时,重力加速度的变化会通过单摆的周期变化反映出来,为了使单摆精确地与标准秒声合拍,摆长需要加长或缩短。这种方法能够检测出重力万分之一的变化量。

现在科学家还发明了一个记录重力异常的精确方法。人造卫星在飞行中会显现出地球与标准球形模型的偏差以及地球结构的不均匀。当人造卫星飞行在巨大山脉上方,或者飞行在蕴藏较高密度岩石的地区上方时,理论上飞行高度应该有所降低,并且因受局部过大引力作用而加速运动。当卫星在地球表面上方足够高处飞行时,这种效应就能被记录下来,从而帮助人们精确记录重力异常。

五、地球上的惯性力——科里奥利力

如图 1-9 所示,在平直轨道上运动着的火车中有一张水平且表面光滑的小桌,桌上有一小球,如果火车由静止开始向右做加速运动,以地面为参考系,小球保持静止,牛顿运动定律成立;以火车为参考系,小球向左做加速运动,而小球在水平方向不受力作用,因此在火车中的观察者看来,牛顿运动定律不再成立。牛顿运动定律成立的参考系,简称惯性系;牛顿运动定律不能成立的参考系,简称非惯性系。相对地面做变速运动的参考系是非惯性系,非惯性系相对惯性系具有加速度。以车厢为参照物,小球以大小为 a 的加速度向左运动,我们可以认为小球受到一个水平向左的力 F ,在这个力的作用下,小球产生水平向左的加速度 a ,这个力就叫做惯性力。因为惯性力实际上并不存在,因此惯性力又称为假想力。当系统存在一加速度 a 时,则惯性力的大小遵从公式: $F = -ma$ 。

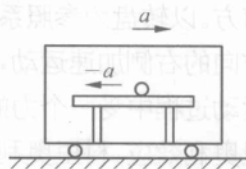


图 1-9