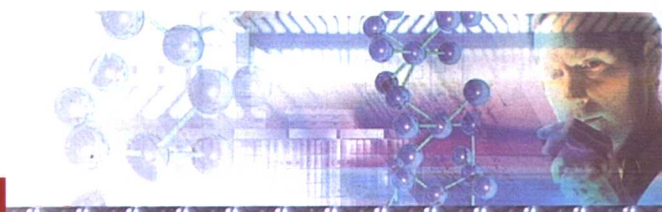


科学图书馆 >>

我们世界中的物理

PHYSICS IN OUR WORLD



力学与动力学

FORCE AND MOTION

[美] 凯尔·柯克兰德 著 张蔷 译



上海科学技术文献出版社

03/42

2008

科学图书馆 >>

我们世界中

的物理

力学与动力学



[美]凯尔·柯克兰德 著
张 菁 译

上海科学技术文献出版社

图书在版编目(CIP)数据

力学与动力学 / (美) 凯尔·柯克兰德著; 张蔷译.
—上海: 上海科学技术文献出版社, 2008. 4
(我们世界中的物理)
ISBN 978-7-5439-3511-2

I. 力… II. ①凯…②张… III. ①力学—普及读物
②动力学—普及读物 IV. 03-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 032251 号

Physics in Our World: Force And Motion

Copyright © 2007 by Kyle Kirkland

Copyright in the Chinese language translation (Simplified character rights only) ©
2008 Shanghai Scientific & Technological Literature Publishing House

All Rights Reserved

版权所有, 翻印必究

图字: 09-2008-207

责任编辑: 杨建生

封面设计: 徐利

力学与动力学

[美] 凯尔·柯克兰德 著

张 蔷 译

*

上海科学技术文献出版社出版发行

(上海市武康路 2 号 邮政编码 200031)

全国新华书店经销

江苏昆山市亭林彩印厂印刷

*

开本 740×970 1/16 印张 7.75 字数 138 000

2008 年 4 月第 1 版 2008 年 4 月第 1 次印刷

印数: 1-5 000

ISBN 978-7-5439-3511-2

定价: 16.00 元

<http://www.sstlp.com>

前 言

1945年,两枚核弹终结了第二次世界大战,这是对物理学威力的一次展示,让人惶恐而又令人信服。由世界上最杰出的一些科学头脑酝酿出的这次核爆炸摧毁了广岛和长崎这两座日本城市,迫使日本不得不无条件投降。应该说,物理学和物理学家的身影贯穿于第二次世界大战的始终,而原子弹只是最生动的一个例子。从那些用于炸坝的在水中跳跃前进的炸弹,到那些感应到船体出现便发生爆炸的水下鱼雷,第二次世界大战实际上也是一场科学的较量。

第二次世界大战让所有人,包括那些多疑的军事领导人相信,物理学是一门很重要的科学。然而,物理学的影响远远延伸到了战场之外,物理学原理几乎关系到世界的每个部分,触碰了人们生活的方方面面。飓风、闪电、汽车引擎、眼镜、摩天大厦、足球,甚至包括我们怎么走、怎么跑,所有这一切都要服从科学规律的安排。

在诸如核武器这样的话题或者有关宇宙起源的最新理论面前,物理学和我们日常生活的关系往往显得黯然失色。“我们世界中的物理”这套丛书的目标就是去探究物理学应用的各个方面,描述物理学如何影响科技、影响社会,如何帮助人们理解宇宙及其各个相互联系的组成部分的性质和行为。丛书覆盖了物理学的主要分支,包括如下主题:

- ◆ 力学与动力学
- ◆ 电学与磁学
- ◆ 时间与热动力学
- ◆ 光与光学
- ◆ 原子与材料
- ◆ 粒子与宇宙

“我们世界中的物理”丛书的每一册均阐释了有关某个主题的基本概念,然后讨论了这些概念的多种应用。虽然物理学是数学类学科,但这套丛书主要聚焦于思想的表达,而数学知识并不是重点,书中只涉及一些简单的等式。读者并不需要具备专门的数学知识,当然,对于初等代数的理解在有些时候还是很有帮助的。实际上,每一册可

以讨论的话题的数量几乎是无限的,但我们只能选取其中的一部分。令人遗憾的是,不少有趣的东西就这样不得不被省略掉。然而,丛书的每一册都涉猎了非常广泛的材料。

我曾经参加过一个讨论会,会上一位年轻学生问教授们,是否需要备有最新版本的物理教科书。有一位教授回答说,不,因为物理学的原理“多年来一直没有改变”。这个说法大体上是对的,但这只是对物理学的效力的一个证明。物理学的另一个支撑来源于建立在这些原理之上的令人吃惊的诸多应用,这些应用仍在不断扩展和变化,其速度之快非同寻常。蒸汽机已经让位给了用在跑车和战斗机上的强大内燃机,而电话线也正在被光导纤维、卫星通讯和手机等取代。这套丛书的目标就是鼓励读者去发现物理学在各个方面、各个领域所起的作用,现在的、过去的以及不远的将来的……

鸣 谢

感谢我的老师,是他们尽了自己最大的努力来容忍我的没有素养。感谢乔治·格斯坦(George Gerstein)、拉里·帕姆(Larry Palmer)和斯坦利·斯密特(Stanley Schmidt)博士,是他们在迷失方向的时候帮助我找到自己的路。我很感激乔迪·罗治(Jodie Rhodes)先生,是他帮助我发起了这个工程,感谢执行编辑弗兰克·达姆斯达(Frank K. Darmstadt)以及其他推动这项工程的编辑和制作人员,感谢许多为本书提供宝贵时间和见解的科学家、教育工作者和作家们。我尤其要感谢伊丽莎白·柯克兰德(Elizabeth Kirkland),她是一位有着非凡力量并能明智地运用这种力量的伟大母亲。

简介

到处都有大小不同程度的力存在,既可以微小到被忽略不计,也可以强大到让人无法抗拒。空气中的一个分子轻轻蹭过我们的皮肤,只产生一个我们察觉不到的力。空气中所有的分子共同产生的压力(*pressure*),对于人们所做的每一件事情都有着重要意义,我们把它叫做大气压(*atmospheric pressure*)。而当刮起飓风时,风速可以超过洲际公路上汽车的速度,这时的风力就可能会造成灾难。

力引起运动。物理学有一个专门研究力和运动关系的分支,叫做力学(*mechanics*)。在今天这样一个依赖于交通运输的社会经济中,力和运动显得尤其重要。比如轮船、飞机和运送货物的火车等都要进行长距离运输;上班族要搭乘出租车、公交车或者地铁上下班;学生们上学放学乘坐校车,或者骑自行车,当然也可能有人仅仅是步行。

几乎所有的物体都在运动。这些运动可以被分为以下几种:沿一条直线运动、沿一条曲线运动、绕物体自身的轴线旋转、按一定周期前后摆动。一个物体还可以按几种方式进行组合运动。地球上绝大多数物体的运动是在空气或水中进行的,无论我们是否注意到,这些媒介物质对其中的运动都有着显著的影响,比如投球手投掷的曲线球,水手驾驶的小船,潜水员操作的潜水艇和几乎其他所有事情。

《力学与动力学》这本书着眼于力和运动,运用简单明了的一般概念,探讨物理学是怎样影响了人们的生活方式以及我们周围的世界。无论运动以哪种方式出现,都是由力决定了运动。其中的一些力很容易被观察到,比如球棒对棒球的击打使得它飞向远方。另外的一些力,比如推动火箭的力,相对来说就比较难被观察到。从一个轮子、一个棒球,到海洋里的鲸鱼和街道上行走的人,所有运动中的物体都遵循一定的规律。更令人吃惊的是,在遥远的距离之外存在同样类型的力——维持着宇宙中的星球按照各自的轨道运行的力,正是使一块花岗岩具有重量的力。

运动中的物体具有能量(*energy*)。一根拉伸的橡皮筋和一桶提起来的水都是如此,不过这种能量跟我们通常所说的能量略有不同,这是一种储存着的能量,或者叫做势能。把能量储备起来并且把它转化成运动是我们通常的传播方式。解决如何在这

个过程中不消耗掉世界所有的能量并且不污染环境的问题,也必然涉及物理学的应用。

《力学与动力学》的每一章节都聚焦于力和运动中的一个特定方面。同时,每个方面又有延伸,覆盖了广泛的现象,并在不涉及物理科学的前提下,以一种不可思议的方式把它们联系了起来。

目 录

前言	1
鸣谢	1
简介	1
1. 地球引力	1
下落	2
公制单位体系和国际单位体系	4
上升	6
轨道和卫星	8
矢量	9
阿波罗探险:到月球去	14
在太阳系中航行	17
2. 直线运动	21
惯性	21
牛顿第一和第二运动定律	23
追上汽车	24
减速	26
不可预料的运动:混沌	29
火箭和牛顿第三运动定律	31
未来的太空船	33
3. 旋转	36
子弹、橄榄球和陀螺仪	36
角动量	37

科里奥利效应	40
滚珠轴承	41
计算机硬盘	43
人造重力和离心	44
霸王龙的故事——恐龙是如何保持平衡的	46
防抱死制动系统	48
4. 功和能	50
杠杆和简单机械	50
永恒运动的疑点	53
能量守恒	55
人体的功和能	56
自行车和齿轮	58
势能的潜力	61
5. 弹力	63
蹦床和橡皮筋	63
回弹系数	64
网球和球拍	66
弹簧	67
6. 振动	70
认识节奏:自然频率和共振	70
地震	71
频率与波长	72
声音和听力	75
声学	76
和声学:声音和音乐	79
和声器:会说话的机器	81
超声波成像:用声音成像	82

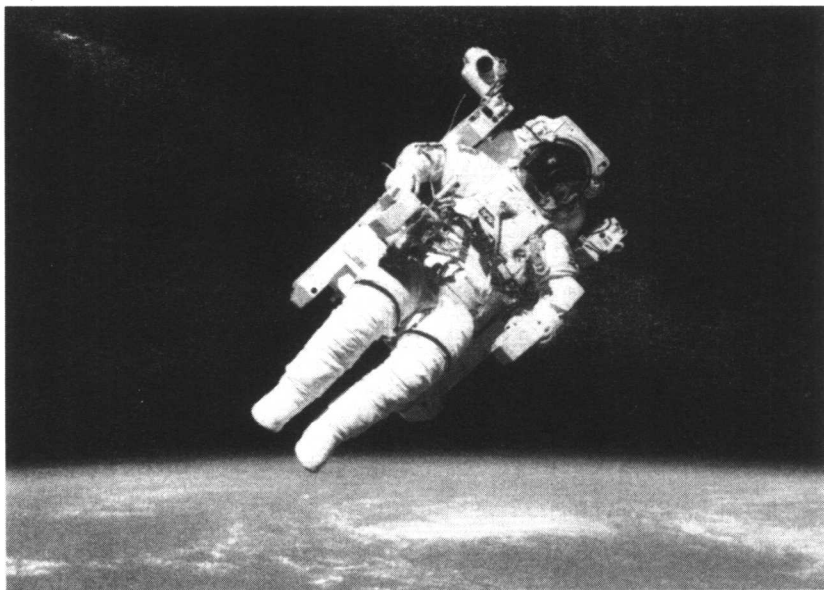
7. 流体	84
空气和水的压力	84
海浪、海啸和潮汐	89
飓风的运动	90
船舶	91
浮力	92
棒球和高尔夫球	93
飞机	95
未来的飞机和船舶	97
 结语	100
国际单位制及其转换表	102
译者感言	105

1

地球引力

在太空中漂浮的宇航员对于上和下是没有任何感觉的。在地球表面,稳定向下的地球引力(即重力)能够帮助我们清楚地感受到上和下的区别。人类和地球上的其他动物都已经适应了有地球引力的存在,这也成为身体健康的必要条件:如果宇航员长期在太空工作,他的骨头和肌肉就会明显衰弱。

地球引力影响的范围一直延伸到地球表面以外很远的地方。有些时候,在太空轨



1984年,宇航员布鲁斯·麦卡锡(Bruce McCandless II)演示太空船外部行走。一个背负式的氮气罐推进器为宇航员提供了机动性。(NASA)

道中的宇航员被认为是没有重量或者说是“零重力”的,这其实并不准确。尽管宇航员丧失了向下的方向感,地球引力仍然是存在的。地球引力可以很微弱,在很长一段时间里,科学家并不明白这样一种力。毕竟,地球引力使苹果掉到地面上,但这看起来并不是维持太阳系成为一个整体的力。在几千年里,人们一直相信这是两种不同的力,直到艾萨克·牛顿(Isaac Newton, 1642—1727)发现了宇宙万有引力定律(*universal law of gravitation*)。

正因为重力不仅存在于我们脚下这个星球,同时也存在宇宙中的任何一个地方,所以它对在地球上生活的人们和在太空中探险的宇航员具有同样巨大的影响。从1950年起进行的太阳系探险,需要重力方面的物理学知识,否则就没办法开展。这一章便描述了重力影响人们生活的方方面面,同样也影响着那些将要进行太空航游的人们。

下落

早在牛顿发现万有引力定律之前,人们就知道如果使用弓箭射击目标,必须瞄准目标上方一点而不是正对目标,否则就射不中。因为射出的箭并不是沿着一条直线射向目标,而是沿着有点向下弯曲的曲线射向目标。后来,当速度更快的炮弹投入使用时,仍需要校正地心引力对飞行中的炮弹所造成的下落趋势。到了20世纪,科技的进步已经可以将炮弹射向天空高达几英里,军队的工程师们便进一步修正了数学公式以便炮兵可以进行更精准的瞄准。弹道学的计算不仅受到重力的影响,还受到风、地球自转以及一些其他因素的影响。手动运算这些公式是一项工作量非常大的任务,在计算机发明之前要有相当多研究数学的人一起工作,进度依然十分缓慢。快速进行弹道学计算的需求也是促使现代计算机发展的原始动力之一。

牛顿认为,组成物体的物质总和决定其质量,重力产生于任何两个有质量(*mass*)的物体之间。射出的箭、发射的炮弹或者一个掉落向地面的钥匙,正是因为在这些物体和地球之间有一个强的吸引力。相比而言,地球比这些物体要大很多,所以,绝大部分的移动就由这些小物体来承担了。尽管地球同时也被它们吸引,但在这种情况下,地球的移动是可以忽略不计的。

牛顿发现,质量分别为 m_1 和 m_2 的两个物体,假定它们的中心相距为 r ,那么它们之间由相互吸引所产生的力 F ,可以用如下公式来计算:

$$F = (Gm_1m_2)/r^2$$

在这个公式里, G 代表重力常数。通常我们用一个被称作牛顿的单位来表示力, 在下一页有更详细的介绍。重力的大小跟两个物体的质量成正比; 其中一个物体的质量增加或者两个物体的质量同时增加, 都将引起引力变大。但引力的大小与两物体距离的平方成反比; 如果距离变为原来的 2 倍, 其物体间的引力将缩小到原来的 $1/4$ 。

牛顿万有引力定律最重要的部分是它的宇宙普遍适用性。宇宙中的一切物体都遵循这个定律。这其中当然也包括人。人们除了可能在情感上产生相互吸引之外, 还存在着重力上的相互吸引。但是, 与其他的力相比, 这种吸引力是非常弱的。比如说, 两个普通的成年人相距 1 米站立, 由于其质量而产生的这种引力仅有 0.000 000 4 牛顿——大约相当于在地球表面 0.000 000 09 磅的物体。这么小的力完全不能将两个不想靠近的人拉到一起。对于一些带电物体来说, 电力的作用也比重力更大。磁力也是如此, 一块小磁铁也可以吸引起一定量的物体, 而抵消掉重力的作用。

测定地球引力强度的方法之一是看它能够使物体以多快的速度下落。尽管与其他的力相比, 质量产生的引力很弱。但在地球上, 地球引力看起来很强大, 这是因为地球本身是如此的巨大。牛顿发现大小为 F_1 的力作用在质量为 m_1 的物体上所产生的加速度(*acceleration*)为 F_1/m_1 (这就是牛顿第二运动定律, 我们将在第 1 章里详细讨论)。人们可以根据这个定律来计算一个物体能够落的多快。如果一个站在地球表面的人丢下一个质量为 m_1 的球, 那么我们可以用重力常数 G 乘以地球质量 M_E 再乘以球的质量 m_1 的乘积除以表示地心和球心距离的 R_E^2 , 来表示球所受到的地心引力 F_1 。通过计算地心引力 F_1 除以球的质量 m_1 的值就可以知道球将以多快的速度下落。

$$F_1/m_1 = (Gm_1M_E)/m_1R_E^2 = GM_E/R_E^2$$

球的质量 m_1 可以被约掉(约分的前提是重力作用的对象与应用牛顿定律的对象是同一个物体。物理学家尚未发现有例外)。当我们计算下落的球在某一瞬间的速率时, 最令人吃惊的事情发生了。球的速率 GM_E/R_E^2 , 与球的质量无关。这就意味着, 在地球表面, 任何做自由落体运动的物体的下落速度都是相同的。当我们代入 $G = 6.673 \times 10^{-11}$ 牛顿·米²/千克², $M_E = 5.98 \times 10^{24}$ 千克, $R_E = 6380$ 千米时, 自由下落的物体的加速度约为 9.8 米/秒²。换句话说, 自由下落的物体每秒钟速度增加 9.8 米/秒。

这个等式告诉我们, 在地球表面, 做自由落体运动的物体是以同样的速率下落的。可是这跟我们的常识正好相反, 每个人都知道, 自由下落的物体并不是以相同的速率落下的。比如让一个保龄球和一根羽毛从同样的高度同时降落的话, 显然是保龄球先落地, 羽毛要落后一大截。

但这个等式并没有错, 著名的物理学家伽利略·伽利莱(Galileo Galilei, 1564—

知识窗

公制单位体系和国际单位体系

为了描述测量的结果,物理学家们需要一套计量单位。仅仅有数字是不够的,比如描述一段距离是“3”,这其实毫无作用——没有人明白这表示的是3英寸、3英里还是3米?美国的很多人使用英国传统的单位:用英尺作距离单位,磅作重量单位,秒作时间单位。

公制单位体系(metric system)是世界上使用最广泛的单位体系,是10进制的逻辑体系。米是距离的单位,它还可以被分为 $1/10$ 米(分米)、 1% 米(厘米)、 1% 米(毫米)以至于更小。10米、100米、1000米也可以用作距离单位。在英制的单位体系里面,1英尺大约等于0.3米,1英里大约等于1.6千米。克是公制单位体系中的质量单位。重量是地球引力作用在物体上产生的。在地球表面,质量为1克的物体的重量是0.035盎司。因为克这个单位非常小,所以我们经常使用千克(1000克)做质量单位,在地球表面,1千克等于2.2磅。

国际单位体系于1960年被提出,称作SI单位体系(来源于法语里的Système International)。这个体系跟公制有些相似之处,都是用毫(1%)和千(1000倍)来

1642)的发现为我们提供了证据。凑巧的是,伽利略去世的那年刚好是牛顿出生的同一年。尽管伽利略没有能够提出牛顿第二运动定律,但他确实意识到当物体在空气中下落的时候会遇到阻力,从而减缓物体运动的速度。当人们在一所空气几乎被抽空的房间里做实验的时候,牛顿第二运动定律被证明是完全正确的。在没有空气时,所有的物体都是以同样的速率下落的——羽毛和保龄球是同时落地的。像被阿波罗号(Apollo)宇航员大卫·斯科特(David Scott)证实的那样,在空气稀薄的月球上,显而易见,物体是以同样的速率下落的。当斯科特站在月球上的时候,他同时把一根羽毛和一把锤子放开让它们落下,羽毛和锤子在同一时刻落地,从而证明了牛顿第二运动定律的正确。

有时人们会想象如果重力变更强或者更弱的话这个世界会怎样。以月球为例,月球比地球的质量要小,物体在月球上下落时就比在地球上的速度要慢。根据牛顿提出的公式,在确定的距离上的两个给定的物体,它们之间的吸引力大小由重力常数 G 决定。在物理学家们的努力下,通过十分小心地控制物体的精准距离,来计算两个确定质量的物体间的吸引力,人们终于知道了 G 的精确数值。如果 G 的值与现在我们所

表征数量级。SI 单位体系建立在一系列特定的测定数值上。比如距离的基本单位米,它的定义是光在 1 秒钟所前进距离的 $1/299\,792\,458$ 。质量的基本单位千克,被定义为 1 立方分米的纯水在 $4\,^{\circ}\text{C}$ 时的质量,并用铂铱合金制成原器,保存在巴黎,后称国际千克原器。1 秒的定义是铯 133 原子(Cs133)基态的两个超精细能级之间跃迁所对应的辐射的 $9\,192\,631\,770$ 个周期所持续的时间。因为物理学家们常常需要进行精确的测量,他们必须要对这些单位的大小有一个特别精准的定义。如果用普通的米尺和钟表定义单位,往往会表示的不够精确,所以人们按照现在定义的方法规定米和秒的大小。尤其是在实验室里,物理学家们可以精确的获得距离或者时间的标准单位。但是,并不像科学家们所期望的那样,千克这个单位目前尚未被定义为任何一个物理过程。

其他的一些测量单位,比如速度(*velocity*),是由几个基本单位组成的。速率表示的是距离除以时间——用英制单位表示是英尺/秒,用国际单位体系表示是米/秒。国际单位体系中力和重量的单位是牛顿(N),由艾萨克·牛顿先生的姓名而来,它的大小等于质量(千克)和距离(米)的乘积再除以时间的平方(秒^2),即 $\text{千克}\cdot\text{米}/\text{秒}^2(\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2)$ 。

知的略有不同,整个宇宙都会变得完全不一样。这点之所以重要是因为有些物理学家认为 G 的值是会随时间变化的。换句话说,重力常数 G 可能并不真的是一个常数。但物理学家们还没有找到证据证明 G 会改变。H. G. 威尔斯(H. G. Wells)在他的一篇小说里曾写道:太空船可以通过船尾的某种装置排斥重力,并获得前进的动力。来自地球的引力不见了,这艘船只感受到来自月球的引力,于是被吸引着向月球行进。现实中,人们却无法利用机械或其他什么技术来改变 G 。如果 G 可以暂时的消失,那么那种“反重力”的装置才有可能出现,尽管从没有人真的知道如何来制造它。

牛顿、伽利略和其他一些伟大的科学家们做出了杰出的贡献,在他们的研究基础上,现在的物理学家对重力已经非常了解了。但是,尽管牛顿提出了划时代的牛顿第一运动定律、第二运动定律,但他并没有解释由地球引力所引出的一系列问题。好奇的人们可能会问,比如,为什么两个不相干的物体会彼此吸引?为什么物体间引力的大小是被这样的一个定律决定而不是被其他的定律决定?这些现在还不能被回答的问题就只有留待科学家们的进一步探索发现了。

上升

地球引力为地球上的一切物体(包括人在内)提供了重量。如果没有地球引力,所有没被牢牢拴在地面上的物体都会飘走,甚至是大气层(*atmosphere*)。尽管重量与质量很像,但它们并不是同一个概念。

重量是重力作用在具有质量的物体上面产生的。一个在太空中的物体,远离任何星球,将不会有重量,但它仍然是有质量的。在地球表面,重力作用在物体上,使得它们难以脱离地表,所以在地球上的物体是有重量的。尽管受重力作用使得物体难以飘走,有些时候重力也会带来麻烦,比如说我们想要脱离地球到太空中遨游的时候就很难,阿波罗号的宇航员正是要面临这种问题。不过对我们普通人来说,这或许正是它的好处所在。

一个对太空飞行有利的事实是,地球引力随着距离的增加逐渐减小,牛顿第二运动定律也印证了这点。这对于宇航员和美国国家航空航天局(NASA)来说是非常有利的,如果等式分母的指数能够比2更大,那么重力随距离的拉大而更快的变小。但是,物理学家们经过精确的计算后发现,分母上的指数是精确的2.0。

距离确实在起作用。地球并不是一个完美的球体——赤道附近要更向外凸一些——一个人站在南北极就比站在赤道要更接近地心。站在两极的人能够感受到更强的地球引力,重量也比在赤道附近要大。当然了,由于赤道并不是向外凸出的非常大,所以它与南北极在地心引力上的差别也并不是很明显。

不幸的是,由于地球是如此之巨大,当宇航员要进行太空探险的时候,就不得不距离地球足够远才能使地球引力弱到忽略不计。巨大的能量被用在发送宇宙飞船进入太空的过程中。直到20世纪50年代,依靠大量能耗将飞船发射到太空中才成为现实,这时大约是伽利略第一次用望远镜观察地球以外的世界,燃起探索欲望的350年之后。

一艘太空船到底飞多快才能逃出地球引力的势力范围?物理学家通常用逃逸速度(*escape velocity*)这个概念来描述。如果一个物体的速度能够达到逃逸速度甚至超过逃逸速度,那么它就可以离开地球飞到太空中去了。当物体位于地球表面时,其逃逸速度应该是11.2千米/秒。无论物体的大小或者质量如何,逃逸速度对所有的物体都是一样的。同样,所有的物体在同一高度也是以同样的速度自由下落(不考虑空气阻力)。

为了逃离地球引力的掌控,宇航员们必须乘坐可以达到逃逸速度的飞行器。无论飞行器是大是小,它们所要达到的飞行速度是一样的,但是飞行器的大小从另一方面