

第一章 擦亮你的眼睛

——生活中的物理现象

第一节 小球落向何方

——牛顿第一定律

我们都看过动作片，看没看过主人公在车顶上和坏蛋殊死搏斗的镜头？特别是在香港的动作片里，飞驰的列车和令人眼花缭乱的拳脚功夫交相辉映，真是棒极了。可是不知有没有人注意过他们的脚下，演员们在列车顶上打斗的时候总是窜蹦跳跃进退自如，和在平地上没有什么两样，而且面向车尾的人出招时似乎也不会比面向车头的人更吃力，这是什么道理呢？

好，稍候再来回答这个问题。假设我们正坐在一列火车中，这列火车正以每小时 200 千米的速度飞速行驶。我们手里有一个小球，现在把它抛向空中，那么它落下来的时候会落在哪里？车厢前部？或者尾部？还是落回手里？

有的朋友认为它会落到车厢的尾部，相信大多数人都会支持这个说法，因为列车正在不断前进，当小球在空中的时候它已经走过了很长一段距离，所以看起来就好像是小球正向后运动。但是你能肯定吗？在没有经过实验的情况下，不应该轻易下这个结论的。

曾经有一个叫伽利略（1564~1642）的意大利物理学家，他是牛顿以前最重要的物理学家之一，并且为物理学界开创了重视实验的传统。

当然伽利略的时代火车还没有发明，所以他的实验是在船上做的，除了伽利略本人，参加实验的还包括：几只苍蝇、一缸鱼、一

个水瓶。

伽利略把自己、苍蝇和鱼关在船舱里，让水瓶里的水一滴一滴地流出来，滴进下面的容器。他发现，只要船在平稳地运动，不管速度多快，也不管朝着哪个方向，苍蝇始终可以随便地到处飞行，并不会向船尾集中；鱼也悠闲地游向鱼缸中的任何一个角落，它们游向鱼缸前部时并不比游向鱼缸尾部费力；水瓶里的水仍然笔直地滴下，不会溅出一滴；而伽利略也发现当他自己向四周跳的时候，无论朝着哪个方向，花同样的力气，跳过的距离都相等，当扔东西给助手时，无论对方站在船头还是船尾，他都不用花更多的力气。

手中的小球与伽利略水瓶里的水滴道理是一样的，所以只要抛球的方向的确是竖直向上的，小球最终都会回到我们手中。

也许有人还不相信，因为他们明明观察到，小球在空中时没有受到任何水平方向力的作用，小球怎么会与列车同步移动呢？正因为小球不受任何水平力的作用，所以它才会落回我们手中。

古希腊大科学家亚里士多德认为，力是维持物体运动的原因，这个结论也是通过对生活的观察得出的，他发现，用力推车，车才会前进，停止用力车就会停下，不继续用力，车就不再走了。

假设我们面前是一段光滑的水平路面，在这条路上推车，当推得很快时，突然放手，放手以后我们对车的推力已经消失了，可是车还要向前走一段距离才会停。

现在想增加这段距离，我们该怎么做？我们可以在车轮上涂油，也可以把实验场搬到高速公路上，因为那里的路面更平滑……而我们所做的这一切，最终只有一个效果，就是减小外部作用对车的影响，以后我们会说到，这个作用就是著名的摩擦阻力。

其实会骑自行车的朋友都有这种经验，当我们在水平的马路上高速行驶，这时停止蹬车，自行车依然会以原来的速度向前滑行，然后逐渐减速直到停下，除非捏闸，否则这段滑行的距离一般都不会很短。

由此可见，物体的运动并不依赖于外力。你何时见过射向球门的足球突然静止在空中？按照亚里士多德的观点，足球离开球员脚以后就不会在水平方向上受力了，所以它必然停止运动。

然而事实上，如果守门员不把球拦住，它就会一直射入球门。而子弹一旦离开枪口，就不再受力的驱动了，但它依然会忠诚地射向目标。

实际上我们推车的时候之所以要用力就是为了抵消阻力的作用，子弹和足球同样也会受到阻力的作用，只不过在空气中阻力的作用要小得多，如果进行精确的测量就会发现，子弹的初速比它击中目标时的速度高得多。

现在可以看出，力只是改变物体运动状态的原因，一个物体只要不受力的作用就会一直保持它原来的速度沿着直线运动下去，直到世界末日。物体这种保持自己运动状态的性质即被称作惯性。

牛顿总结了伽利略等人的研究成果，用自己的语言对物体保持自身运动状态的规律做出了表述，这个表述被沿用至今：

一切物体在不受外力的条件下总保持匀速直线运动或静止状态。

这就是著名的三大运动学定律之一：牛顿第一运动定律，习惯上也称此定律为惯性定律。

现在让我们回过头来看那个至今没有落地的小球。当它拿在我们的手里，没人会怀疑它具有和火车一样的速度 v ，用 t 代表小球从抛起到落下这段时间，所以列车在小球停在空中这段时间里走过的距离就是 $S = vt$ ，而这段时间里小球在水平方向上通过的距离也是 $S = vt$ 。事实证明，它们的运动是同步的。

现在可以回答最初的那个问题了，演员站在车顶时本身也具有了和列车一样的速度，所以从他们的角度出发，行驶中的列车和静止的列车没有什么区别，他们的武打动作依然可以像在平地上一样，不会受到车速的任何影响。不过列车行驶的时候，静止的空气

相对车厢就是运动的，站在车顶就会感觉到刮风，如果车速特别快，感觉到的风也会非常大，这时站在车顶就很危险了。

还有一个镜头是动作片里经常出现的，就是演员从飞驰的火车里往外跳——或者是汽车，道理都一样，不过这就危险多了。由于演员本身具有和火车相同的速度，在落地后还要向前滚一段。

摔一下并不可怕，我们从停着的火车里跳出来的时候不会受任何伤，当然除非笨得不可救药，那兴许就会把脚扭伤。可是滚这一下情况就不同了，因为落地时初速极高，很容易造成擦伤。即使受过专业训练的特技演员，懂得在落地时用特定的姿势保护自己的人，也不会轻易尝试跳车的。所以坐车的时候一定要把门关紧，否则在汽车高速行驶的时候门突然打开把自己摔出去，那就不太妙了。

第二节 刹车时身体为什么向前倒 —— 牛顿第二定律

常坐公共汽车的朋友都有这种体验，急刹车的时候，站着的乘客都会不由自主地向前倒去，坐着的乘客身体也会向前倾。

不只刹车的时候，汽车启动时车上的人也会向后倾倒，如果不站稳同样会摔跤。可是按照我们在第一节里说的，一个物体如果没有受到力的作用就会永远保持匀速直线运动或静止运动，所以理论上乘客应该一动不动站得很稳才对。

但是我们的确感觉到有一个力在推自己，可是谁也没有碰到我们，究竟谁在推我们呢？如果没有人推我们，我们为什么还会摔倒呢？

实验是解决问题的最好方法。还记得那个小球吗？当列车行驶的时候我们把它抛向空中，它依然会落回我们手里，如果是在行驶的公共汽车上，结果也一样。但是如果在汽车刚启动的时候我们就

把它抛出去，又会如何呢？

有人会说：“那还不是一样，它还是落回我们手里。”最好还是别那么早下结论，因为一个真正的物理学家从不会忽视外部条件的任何一点细微变化。

现在的条件是汽车刚刚起动，换句话说它正在向前加速。如果驾驶员踩下离合器的时候我们刚好抛出小球，那么这一瞬间小球和车的速度都是零，经过一段时间 t ，小球落下来，它的速度依然是零，可是车已经加速到 v 了。

这种情况，物理学中用一个专门的量来代表单位时间内速度的改变，我们称这个量为加速度，习惯上用 a 来表示。加速度的定义是速度改变量与时间的比值，如果在时间 t 内速度的变化量为 $v_2 - v_1$ ，且加速度是恒定不变的，那么加速度就可以写作： $a = (v_2 - v_1) / t$

刚才抛球的时候，汽车的初速度是 0，球落下来的时候汽车的速度是 v ，假设在这期间车的加速度恒定不变，那么加速度就是：

$$a = v / t$$

我们称加速度恒定不变的运动为匀加速运动，物体的加速度方向与它的速度方向成一直线，那么物体运动的方向也不会变，我们称这种运动为匀加速直线运动。我们可以证明，以加速度 a 作匀加速运动的物体，它在时间 t 内运动的距离为 $s = (v_2 - v_1) t / 2$ 。其中 v_1 代表初速度， v_2 代表末速度。要严格的证明这个公式比较复杂，但我们可以用 $v - t$ 图表示：

图 1-2-1 横轴代表时间，纵轴代表速度，直线的斜率即加速度 a ，阴影部分的面积就等于时间 t 内走过的路程 s 。现在根据梯形的面积公式，路程的值就是：

$$s = (v_2 - v_1) t / 2$$

具体到刚才的汽车，它的初速度为 0，末速度为 v ，所以小球在空中的时候它已经前进了 $s = vt / 2$ ，而小球却没有前进。这样

看，它落到车厢后面去了。

那么现在如果当急刹车的时候我们抛出小球，会出现什么情况呢？对，它会保持汽车原来的速度 v 前进，所以坐在我们的位置看，它向前飞去了，而且因为是急刹车，车很快就停下了，所以……希望不要打破玻璃。

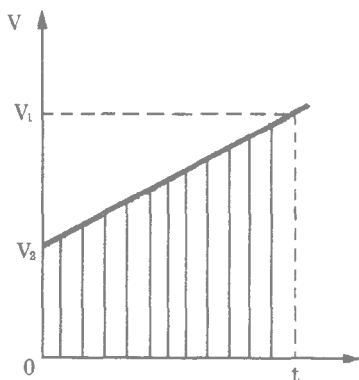


图 1-2-1 $v-t$ 图

现在我们已经知道了加速度的概念，但是这还不够，因为我们并不是每次刹车时都摔跤的，当汽车慢慢加速或慢慢减速的时候通常没人会摔跤，我们感觉到加在我们身上的那个不知名的力很小。

前一节里我们曾举过推车的例子。如果在推着车前进的时候我们突然站住，而且不松开车把，那么车在停下来的同时反而会给我们一个拉力。当然我们推车的速度不必很快，但是速度越快，车给我们的力越大，直到又一次差点被它带倒。

如果车上装的东西越多，推动它的时候固然要用更多的力，而让它停下来的时候也会更加困难，如果我们想让它拐弯，也比让一辆空车拐弯困难。

这种现象可用牛顿第二定律解释，它的内容是：

物体的加速度跟物体所用的外力成正比，跟物体的质量成反比，加速度的方向与外力的方向相同。

用公式表示就是：

$$a = F/m \text{ 或者 } F = ma$$

有一个实验可以证明这个定律，把一个小车放在光滑平面上，前端拴细绳，细绳跨过定滑轮，下面吊一个沙桶，桶里有沙子，车后固定一条穿过打点计时器的纸带。关于打点计时器的原理以后我们会提到，现在只要知道它每隔 0.2 秒就会在纸带上打一个点，所以是研究运动学问题时很好的计时器

在桶和沙的总质量远小于车的质量时，我们可以近似地认为车受到的拉力等于桶的重量。打开打点计时器，让桶自由落下，车后的纸带上会打下一系列点，通过研究这些点就可以算出加速度 a ，分别改变桶的重量——也就是拉力 F 和车的质量 m 就可以验证牛顿的结论了。

正因为牛顿第二定律，所以在推车的时候，不要跑得太快，因为装满垃圾的车质量很大，一旦有了一个速度就不太容易改变；而且要慢慢停下来。突然站住？那太愚蠢了，不但我们自己可能被车带倒，车上的东西也可能因为惯性而保持它们原来的速度飞出去，那样就糟了。

说到现在，又提到了惯性，现在我们可以把牛顿第二运动定律和牛顿第一定律统一起来了。

我们说过物体都具有惯性，也就是保持自己运动状态的性质，要想改变它的运动状态必须给它一个力，而运动状态改变的幅度就是我们刚才提到加速度。把相同大小的力施加在两个物体上，根据牛顿第二运动定律，质量小的物体获得的加速度大些，事实上质量小的物体运动状态更容易改变。

在生活中，对于这种现象，我们通常会说：这个物体惯性小些，或那个物体惯性大些。但是在物理上，为了不造成混淆，通常

只说：这个物体质量小些，那个物体质量大些，质量就是标志物体惯性大小的量度。

到现在我们也没有说把人推倒的究竟是什么力。也许有人已经猜到了，它就是大名鼎鼎的惯性力或者叫惯力。

准确地说，惯力并不是一个真实存在的力，只是由于我们所在的系统——在物理上我们叫它参照系——在作加速运动，而我们由于自己的惯性，仍然保持原来的速度，因此看上去就好像是受到了一个与参照系加速度相反的力——也就是惯性力。根据牛顿第二运动定律，惯性力的大小等于我们的质量乘以加速度，即：

$$f^* = ma$$

之所以为 f 加上星号，是为了提醒大家这个力实际并不存在。

坐电梯上楼的时候，当电梯一起动，会觉得有一个力向下压你，当它停下的时候，又会觉得有一个力向上拉；下楼时就刚好反过来。这也是惯性力在作怪。如果在电梯里放一台磅秤，当电梯开始上升，会发现我们的体重增加了，其实不是因为最近缺乏运动脂肪增多了，而是因为磅秤的示数中有一部分是属于惯性力的。用磅秤的示数除以我们的真实体重，减去 1，再乘以重力加速度 g ，这就是电梯的加速度。

如果朋友们正在减肥，电梯一开始下楼时就让站在磅秤上，保证会心情舒畅，不过最好马上就下来，否则电梯开始减速时心情会比进来前还糟。

另外根据牛顿第二运动定律，质量越小的物体行动起来越灵活。因此，歼击机在战斗前总要扔掉备用油箱以降低自己的质量。

这也是反对骑车带人的原因，两个人的质量显然比一个大，所以出现险情时就不能及时地采取措施，特别是在车速很快的情况下。所以请记住，不要骑车带人。

第三节 小球为何跳起 ——牛顿第三定律

物理学家大多都比较喜欢球类。阿尔伯特·爱因斯坦（1879~1955），是 20 世纪最伟大的物理学家，足以与牛顿相提并论。他很喜欢排球，但这次我们不谈排球，还是从小球说起，不过这次不是在火车上，也不是在汽车上，而是坐在家里，另外也不会把它抛到空中，而是把它扔向地面。

谁都知道落地后它会立刻跳起来，但是它为什么会跳起来呢？

还是先看看，如果我们想让小球跳得更高些，该怎么做。我们可以改变地板的性质，在地上铺一层胶皮或者油毡；也更换小球，可以用橡胶球或者乒乓球、网球更好，不过网球会比较贵。说到底，我们刚才所作的都是为了达到一个效果，就是增加地板或者球的弹性。

顺便说一句，物体受力后都会产生弹性形变，当它恢复原状时会产生一个力，这就是通常说的弹力。一个物体，它受力后产生的弹性形变越大，恢复原状所用的时间越短，它产生的弹力就越大。所以普通的岩石和玻璃弹性很小，因为它们的弹性形变一般都很小；而毛毯的弹性也很小，虽然它很容易产生形变，但却极难恢复原状，这种形变不是弹性形变。

这样就很容易理解为什么增加地板的弹性会使小球跳得更高。因为地板弹性很大，所以只需要一个很小的力就可以让它产生较大的弹性形变，产生很大的弹力。

但如何解释更换小球会让它跳得更高呢？当然，球的质量是一方面，但如果用同样质量的玻璃球和橡胶球做实验，我们会发现橡胶球跳得远比玻璃球高。如果按照牛顿第一运动定律和牛顿第二运动定律，这两个球显然都受到向上的力作用，而且作用在橡胶球上

的力远比作用在玻璃球上的大。显然，作用在球上的是弹力。然而地面是相同的，受到相同的撞击后产生的弹力也相同，橡胶球上多出来的力是从哪里来的呢？

现在就要引出牛顿第三运动定律了：

两个物体间的作用力和反作用力总是成对出现，大小相等，方向相反，作用在同一直线上。

所谓作用力和反作用力，其实是相对而言的。比如在研究甲物体对乙物体的作用时，称甲物体施与乙物体的力为作用力，那么乙物体施于甲物体的就称为反作用力，反过来我们也可以称乙物体施于甲物体的力为作用力，甲物体施与乙物体的力为反作用力。听起来有点像绕口令，不过你只要记住第一句：作用力和反作用力是相对而言的。

实际上研究任何力学问题，都必然涉及到两个以上的物体，因为力本身就是物体间的相互作用，孤立的物体是无所谓力的。但是在研究的时候我们通常都只注意研究对象和作用在它身上的力，而忽略其他物体。

所以，在小球跳起的问题上不但要考虑地板的弹力，还要考虑小球的弹力。橡胶球的弹性当然比玻璃球强，所以它弹得自然比较高。

第四节 从数千米高空跳下 —— 动量定理

有没有试过从几千米的空中往下跳？不过我们知道一般人从四楼跳下来就摔死了，而伞兵们从飞机上往下跳却能安然无恙。

伞兵摔不死是因为身上背着降落伞，但是特技演员在表演坠楼的镜头时身上可没带降落伞，《致命武器 I》中就有一场戏演梅尔·吉布森从高楼上跳下来。当然特技演员也有很多保护措施，最重要

的部分是地上的气囊，演员跳下后落在气囊上，气囊里的气体会迅速溢出。没有气囊保护，就算是最好的特技演员也不敢从高楼上向下跳，那无异于自杀。

一般人会认为，气囊的保护作用来自它的弹性，弹力抵消了演员下坠时的力，就像蹦床的原理。我们也有一些常识，如果要把困在高处的人救下来，第一步措施就是在他的正下方绷紧一张床单，这样他落下来时受到的伤害就会轻一些。消防员也有一个类似的专用工具来救助困在屋顶的人。

上一节里提到过弹力的成因。一个物体在受力后产生弹性形变，并迅速地恢复原状，这个过程中产生的力就是弹力，而且弹性形变越大、恢复原状越快，弹力就越大。

注意那个气囊，它确实在短时间内产生了极大的形变，但与此同时它体内的气体急速溢出，直到特技演员落地，气体已经一点不剩了，所以根本不可能恢复原状，前面也用毛毯的例子说明过，这种形变根本不是弹性形变，弹力更无从说起。

如果我们把气囊改进一下，不让气体溢出，气囊的弹性当然会好起来。

伞兵从飞机上往下跳的原理和特技演员跳楼的原理本质上是一样的，要说清这个原理首先要引入一个新的物理量，这个量的中文名称是动量，英文符号是 p ，动量的定义是质量乘以速度，即：

$$p = mv$$

由牛顿第二运动定律可知， $F = ma$ ，又根据加速度定义 $a = (v_2 - v_1) / t$ ，所以动量、力和时间的关系为：

$$m(v_2 - v_1) = Ft \text{ 或 } p_2 - p_1 = Ft$$

$m(v_2 - v_1)$ 代表动量 p 在时间 t 内的改变量，而 Ft 这个量也有一个专门的名称，叫做冲量，用 I 表示，刚才的公式就可以写作：

$$p_2 - p_1 = I$$

这就是有名的动量定理：物体的动量变化等于它所受合外力的冲量。

演员在下落的过程中会受到重力的作用，所以当他接近地面的时候就会具有一个向下的动量 p 。用 G 代表重力， t 代表下落的时间，则动量就是：

$$p = Gt$$

当演员跌落在气囊上，气囊受到演员给它的压力，根据牛顿第三运动定律，它会给演员一个反作用力。但这个力不是让演员停住甚至弹起来，而是增加向上的力作用在演员身上的时间。用 t' 代表向上的力作用在演员身上的总时间，当然这个向上的力可以来自地面，也可以来自气囊。

根据动量定理，要使演员停住，向上的力 F 就必须给演员一个与 p 大小相等、方向相反的动量，用公式表示：

$$p = Ft'$$

如果高度相等，演员的质量也不变，则动量 p 恒定不变。可见，如果 t' 越长，作用在演员身上的力 F 越小，反之 t' 越短， F 越大。

我们一般习惯把 F 和它的反作用力统称为冲力。如果没有气囊，演员的身体直接与地面接触， t' 就非常小，基本趋近于 0，而演员受到的冲力也就趋近与无穷了。这就是为什么从高空坠落的物体撞击地面时的冲力远大于它自己重量的原因。

当演员落在松软的气囊上，他就已经开始受到冲力 F 对他的作用，当他落回地面时他的动量基本上已经变成 0 了，对他而言 t' 就很大。

但是如果气囊太软，他落到地面时依然保持很大的动量，那么地面对他的冲力就仍然很大。不过这种情况一般不会发生，因为特技演员用的气囊都很大，通常在特技演员到达地面以前他的动量就已经减为零了，他能继续下降完全是由于重力的作用。

所以特技演员们倒是更担心另一种情况，那就是气囊太硬了，他的动量很快降为 0，那么加在他身上的冲力依然会达到难以忍受的水平，用著名的特技英雄达·罗宾逊的话说：“就像落在砖堆里一样。”

如果下落的高度比较小，普通的床垫或者蹦床也能起到保护作用，但这不是因为它们的弹性——起码不是完全因为它们的弹性。事实上，它们具有保护作用，只是因为它们能够产生较大的形变。

但是，如果从数千米的高空落下，不管气囊还是床垫，肯定都无能为力了。所以，伞兵们需要一个降落伞。降落伞张开后，空气会给伞一个比较大的阻力 f ，这不难理解。从效果上说，降落伞与气囊是一样的，同样是为了增加 t' 。

不过在降落伞打开后，整个下落期间飞行员都会受到向上的力，在实际中这个阻力与重力 G 是相等的，所以在降落伞张开后的下落过程中伞兵的动量增加为 0。细心的朋友会发现，我们强调“降落伞张开后的下落过程中伞兵的动量增加量为 0，因为在伞张开前的一段时间中伞兵已经具有了一定的动量。”

这部分动量是很有必要的，没有它们，伞兵就会悬在空中，无法落下。当然这只是个理论，如果没有向下的速度，阻力 f 就不会存在，所以伞兵仍然会不断下降。如果伞兵从飞机上跳出以后马上打开降落伞，他下落的速度会非常慢，坦率地讲是到了令人无法容忍的地步。

就跳伞运动而言，下落的速度问题不大，但是在军事上就生死攸关了。如果速度太慢，空投的伞兵就等于是给敌人预备的一个个活靶子，他们的结局只能是全军覆没。

伞兵们会希望打开降落伞之前自己能具有一个比较高的速度，可是如果速度太高，与速度成正比的动量也会非常大，落地时的冲力同样会令伞兵一命呜呼。所以真正的空降兵，跳出机舱到打开降落伞，这段时间的长度都有严格规定。

另外伞兵着陆时动量仍然很大，如果以 10 米 / 秒的速度下降，伞兵的动量相当于从三层楼上跳下来时那么大，所以伞兵们有一套专门的着陆动作用以延长他们接受冲力的时间。着陆时他们的双脚先着地，但他们不会就此站住，他们还要继续倒下去，依次让膝盖、腰、背、肩先后着地。

现在清楚了，并不是每个人背上降落伞都可以像士兵那样从飞机上跳下来，即使一名训练有素的士兵，如果他没受过专门的空降训练，让他执行空降任务仍然很危险，如果是普通的老百姓当然更危险，比如：落地时一不小心就会下肢骨折。

不过即使没有受过跳伞训练，从高处落下的时候我们也会本能地用一个下蹲的动作保护自己。学过动量定理以后，这个动作就不难理解了。我们可以认为，人体的重量全部作用在一点上——这一点也就是人们常说的重心，而地对人的冲力也可以认为是通过我们的下肢作用在重心上的。

如果身体绷直，双脚着地后重心的速度立即降为零，换句话说人体的全部动量立即降为零，那么双脚受到的冲力就会非常大。但是如果有一个下蹲的动作，冲量就会慢慢降为零，我们脚上的负担就小多了。

现在很多豪华汽车都装有气囊，汽车在行驶中如果遇到意外而突然停下——比如撞到隔离墩，气囊就会弹出来保护车内的乘客，这道理与特技演员用的气囊是一样的。

不过经过多年统计，警方发现乘坐豪华汽车的人中，个子比较矮的人死亡率大大超过个子高的人。通过进一步调查他们得出了结论：因为四肢较短，为了迁就方向盘、油门、刹车和离合器，矮个子的人只好坐在座位的前半部分，因此死亡率大大增高。乍一听还是让人觉得莫名其妙，原因是这样的。

假设我们正开着一辆装有安全气囊的汽车行驶在高速公路上，车速为 v_1 ，我们身体的速度当然也是 v_1 ，我们的质量为 m ，所以

动量为 mv_1 。现在急刹车，我们的身体保持动量 mv_1 继续向前运动，按照设计，气囊弹出，在我们的脸撞到方向盘以前给一个冲量 Ft 。

但是如果坐得很靠前，气囊还没来得及完全打开就已经和我们接触了，设它的充气速度为 v_2 ，可想而知，为了让气囊及时打开， v_2 必然很大，而且气囊在接触到我们的身体后还会继续固执地以 v_2 这一速度充气，并且在时间 t' 内也使我们具有 v_2 的速度。由于 v_2 与 v_1 方向相反，所以我们受到的总冲量实际等于：

$$Ft' = m (v_2 + v_1)$$

可以证明， t' 非常小，所以作用在我们身体上的冲力反而比没有气囊时还高。死者尸体的解剖结果也证明了我们的推断，他们中很多人的内脏都被气囊撞碎了。

第五节 苹果和月亮

——万有引力定律

牛顿和苹果的故事，相信很多朋友也早有耳闻。但是到现在我们仍然没有说明，苹果究竟为什么会落下来。如果我们向多数人提出这个问题，每个人都会告诉我：“我知道，是因为万有引力。”但是想作物理学家就不能满足于这样浅尝辄止的解释了，如果再问万有引力究竟是个什么东西，很少有人能给出满意的答案。

刚才提到牛顿看到苹果坠地因而想到月亮为什么不会坠落，对于一个优秀的物理学家，这是很自然的。当然不是说任何人都有能力产生这种联想，只有对生活充满好奇的人——比如一个物理学家——才具有这样的能力。

但只是能注意到月亮和苹果的联系也还远远不够。亚里士多德

也曾经注意到，抛出的石块会立刻落地，而日月星辰却可高挂苍穹，他对此作出的解释是：石块接近地面，所以自然趋向下落，日月星辰高高在上，所以自然稳稳地悬在空中。

亚里士多德的错误在于他把地面物体的运动和天体运动割裂开来，而牛顿正相反。

早在牛顿之前，丹麦天文学家第谷·布拉赫（1546~1601）就对行星运动的规律作了大量观测和研究。第谷死后，他的学生德国天文学家开普勒（1571~1630）对老师留下的观测资料作了细致的分析，在1609年提出了关于行星运动的两条定律，也就是开普勒第一定律：所有行星分别在大小不同的椭圆轨道上围绕太阳运动，太阳在椭圆的一个焦点上。开普勒第二定律：太阳和行星的连线在相等的时间内扫过相等的面积。

简单地说，也就是行星离太阳近的时候运动得快一些，离太阳远的时候运动的慢一些。

1619年，开普勒又发表了开普勒第三定律：所有行星椭圆轨道的半长轴的三次方与公转周期平方的比值都相等。

开普勒三定律是天文学定律，牛顿能提出万有引力定律，这三定律却功不可没。

牛顿还在思考苹果与月球的关系时，像当时的每一个物理学家，他十分熟悉亚里士多德的学说，但那只有徒增他的困惑，因为当时已经知道月亮是地球的卫星，它一刻不停地围绕地球作圆周运动。

但是如果像亚里士多德说的，月亮与地球间没有力的作用，它为什么如此忠诚地守卫着地球，而不离我们远去呢？但是如果地球对月亮有力的作用，这个力是什么呢？牛顿相信，这个力如果存在，那么它应该就是使苹果下落的那个力。但是这就又回到了最初的问题上，为什么月亮不会落下来呢？

远在牛顿的时代，人们已经认识圆周运动了。不知大家有没有

掷链球的经验。链球是一个铜或铁打造的质量很大的球体，上面有弹簧链子和手柄。掷链球时双手握住链球的把手，人和球同时旋转，最后用力使球脱手而出。旋转时链球作的运动就是圆周运动。

如果试过掷链球，我们一定知道，如果转得越快，手上感觉到的拉力就越大，如果一撒手，它就会向前飞去。换句话说，正是手给了球一个约束力，链球才会保持圆周运动，而且圆周运动的速度越大，链球需要的约束力就越大，这种约束力叫向心力。而在我们看来，就好像是有一个力在向外拉链球，这个力就像前面讲过的惯性力一样，其实并不存在。这个力的方向与向心力相反，所以俗称离心力。

在讲牛顿第二运动定律的时候我们引入了加速度的概念，如果加速度的方向与速度方向垂直，它当然就不会改变速度的大小，而只改变速度方向。如果加速度随时与速度方向垂直，那么物体就会作圆周运动，而这个加速度称作向心加速度。用微积分的方法可以很容易算出向心加速度的大小应该是：

$$a = v^2/r$$

v 是物体运动的速度， r 是圆周运动的轨道半径。用 m 代表作圆周运动物体的质量，根据牛顿第三运动定律，向心力就应该是： $F = ma = mv^2/r$

所以月亮会围绕地球旋转，也一定有一个力在充当向心力。牛顿指出，这个力就是万有引力，它存在于任何两个物体之间，不但苹果落地、月亮围绕地球旋转都是由于万有引力的作用，使行星围绕太阳旋转的向心力也是万有引力。并且根据开普勒三定律证明了万有引力大小与距离的平方成反比。1678 年他正式提出了万有引力定律：

任何两个物体都是相互吸引的，引力的大小跟两个物体质量的乘积成正比，跟它们距离的平方成反比。

用公式表述就是： $F = Gm_1 m_2/r^2$