# 第二章 4 自由落体运动

## 问题

站在高层建筑物上，让轻重不同的两个物体从同一高度同时落下，你认为哪个物体下落得快？

在教室内拿两张同样大小的纸，将其中一张揉成一个团。让纸团和另一张纸在同样的高度落下，看看哪一个下落得快？

结合实验及生活中的经验，讨论：什么因素影响物体下落的快慢？

物体下落的运动是司空见惯的，但人类对它的认识却经历了差不多两千年的时间。最早研究这个问题的，大概要算古希腊学者亚里士多德了。

平常人们观察到的事实是，一块石头比一片树叶落得快些……亚里士多德认为物体下落的快慢跟它的轻重有关，重的物体下落得快。他的这一论断符合人们的常识，以至于其后两千年的时间里，大家都奉为经典。

## 自由落体运动

伽利略认为，根据亚里士多德“重的物体下落得快”的论断，会推出相互矛盾的结论。例如，假定一块大石头的下落速度为8，一块小石头的下落速度为4，当把两块石头捆在一起时，大石头会被小石头拖着而变慢，整个物体的下落速度应该小于8；但是，把两块石头捆在一起后，整个物体比大石头要重，因此整个物体下落的速度应该比8还要大。这种相互矛盾的结论，说明亚里士多德“重的物体下落得快”的看法是错误的。根据仔细的分析，伽利略认为物体下落的运动只有一种可能性：重的物体与轻的物体应该下落得同样快。

伽利略通过逻辑推理，首先指出亚里士多德对落体认识的问题，然后得出重物与轻物应该下落得同样快的结论，最后用实验证实了自己的结论。伽利略这种推理与实验相结合的方法，为物理学的研究奠定了基础。研究中所体现的批判精神是创新所必需的。

那么，轻重不同的物体下落的情况到底怎样？下面我们一起来做个比较精细的实验，仔细研究一下。

## 演示

**轻重不同的物体下落快慢的研究**

如图2.4–1甲，一个两端封闭的玻璃管（也称牛顿管），其中一端有一个开关，玻璃管可以与外界相通。把质量不相同的铁片和羽毛放到玻璃管中，玻璃管竖直放置，让铁片和羽毛从玻璃管上方同时开始下落，观察物体下落的情况。

甲 有空气

乙 真空

**图2.4**–**1 玻璃管内的羽毛、铁片的下落**

如图2.4–1乙，把玻璃管里的空气抽出去，再次观察物体下落的情况。

由实验可以看到，将玻璃管里的空气抽出去后，没有了空气阻力的影响，轻的物体和重的物体下落得同样快。在现实生活中人们之所以看到物体下落的快慢不同，是因为空气阻力的影响。如果没有空气阻力，所有物体下落的快慢都一样。

物体只在重力作用下从静止开始下落的运动，叫作自由落体运动（free-fall motion）。这种运动只在真空中才能发生。在有空气的空间，如果空气阻力的作用比较小，可以忽略，物体的下落可以近似看作自由落体运动。

由上面的实验我们可以看到，自由落体运动是加速运动。那么，它的加速度在下落过程中是否变化呢？

## 实验

**研究自由落体运动的规律**

如图2.4–2，固定打点计时器，纸带一端系着重物，另一端穿过计时器。用手捏住纸带上端，启动打点计时器，松手后重物自由下落，计时器在纸带上留下一串小点。

**图2.4**–**2 自由落体运动的实验装置**

仿照前面对小车运动的研究，测量重物下落的加速度。

改变重物的质量，重复上面的实验。

## 自由落体加速度

对不同物体进行的实验结果表明，在同一地点，一切物体自由下落的加速度都相同，这个加速度叫作**自由落体加速度**（free-fall acceleration），也叫作**重力加速度**（gravitational acceleration），通常用*g*表示。

重力加速度的方向竖直向下，它的大小可以通过多种方法用实验测定。

精确的实验发现，在地球表面不同的地方，*g* 的大小一般是不同的。在赤道的海平面处 *g* 为 9.780 m/s2，在北京 *g* 为 9.801 m/s2。在一般的计算中，*g* 可以取 9.8 m/s2 或 10 m/s2。[[1]](#footnote-1)

下表列出了一些地点的重力加速度。

表 一些地点的重力加速度

|  |
| --- |
| 标准值：*g*＝9.806 65 m/s2 |
| 地 点 | 纬度 | *g*/（m·s−2） |
| 赤道海平面 | 0° | 9.780 |
| 马尼拉 | 14°35*'* | 9.784 |
| 广 州 | 23°06*'* | 9.788 |
| 武 汉 | 30°33*'* | 9.794 |
| 上 海 | 31°12*'* | 9.794 |
| 东 京 | 35°43*'* | 9.798 |
| 北 京 | 39°56*'* | 9.801 |
| 纽 约 | 40°40*'* | 9.803 |
| 莫斯科 | 55°45*'* | 9.816 |
| 北 极 | 90° | 9.832 |

你从表中发现了什么规律吗？你能尝试解释这个规律吗？尝试解释就是作出猜想。

### 做一做

**用手机测自由落体加速度**

很多智能手机都有加速度传感器。安装能显示加速度情况的应用程序，会看到红、绿、蓝三条加速度图线，它们分别记录手机沿图2.4–3所示坐标轴方向的加速度变化情况。

*x*

*O*

*z*

*y*

**图2.4**–**3**

把手机放在水平桌面上，让手机在桌面上沿 *x* 轴或 *y* 轴方向平移一下，可以看到屏幕上加速度图像的红线或绿线出现一个波峰；把手机平放在手掌上，让手机在竖直方向移动一下，可以看到蓝色图线发生变化。蓝色图线记录手机竖直方向的加速度，测自由落体加速度，就是看蓝色图线。

用手托着手机，打开加速度传感器，手掌迅速向下运动，让手机脱离手掌而自由下落，然后接住手机，观察手机屏幕上加速度传感器的图像（图2.4–4）。从图中可以看到，蓝色图线有一小段时间的数值是 − 10 m/s2，这就是自由落体的加速度，方向向下。

**图2.4**–**4 手机截屏**

我们还能看到，自由落体之后有一个向上的波峰，这是用手接住手机时手机做减速运动的加速度，方向向上。

自由落体运动是初速度为0的匀加速直线运动，所以匀变速直线运动的基本公式及其推论都适用于自由落体运动。

把初速度*v*0＝0和加速度*a*＝*g*分别代入匀变速直线运动的速度与时间的关系式和位移与时间的关系式，可以得到自由落体的速度、位移与时间的关系式分别为

*v*＝*gt*，*x*＝*gt*2

世界是物质的，物质的运动有多种形式，例如机械运动、热运动和电磁运动等。这些不同的运动形式有着不同的运动规律，我们将陆续学习。

## 科学漫步

**伽利略对自由落体运动的研究**

利用逻辑推理说明了重物与轻物下落得同样快后，伽利略并没有就此止步，而是进一步通过实验研究了自由落体运动的规律。

伽利略首先面临的困难是概念上的。因为那时人们连速度的明确定义都没有，所以，对伽利略来说，必须首先建立描述运动所需的概念。此前我们所学的概念，诸如平均速度、瞬时速度以及加速度等，就是伽利略首先建立起来的。

伽利略相信，自然界的规律是简洁明了的。他从这个信念出发，猜想落体一定是一种最简单的变速运动，而最简单的变速运动，它的速度应该是均匀变化的。但是，速度的变化怎样才算“均匀”呢？他考虑了两种可能：一种是速度的变化对时间来说是均匀的，即 *v* 与 *t* 成正比，例如每过1 s，速度的变化量都是 2 m/s；另一种是速度的变化对位移来说是均匀的，即 *v* 与 *x* 成正比，例如每下落 1 m，速度的变化量都是 2 m/s。后来他发现，如果 *v* 与 *x* 成正比，将会推导出十分荒谬的结果。

伽利略想办法用实验来检验 *v* 与 *t* 成正比的猜想是否是真实的。

伽利略所处的时代技术不够发达，无法直接测定瞬时速度，所以也就不能直接得到速度的变化规律。但是，伽利略通过数学运算得出结论：如果物体的初速度为 0，而且速度随时间的变化是均匀的，即 *v*∝*t*，它通过的位移就与所用时间的二次方成正比，即

*x*∝*t*2

这样，只要测出物体通过不同位移所用的时间，就可以检验这个物体的速度是否随时间均匀变化。

但是，落体下落得很快，而当时只能靠滴水计时，这样的计时工具还是不能测量自由落体运动所用的时间。伽利略采用了一个巧妙的方法，用来“冲淡”重力。他让铜球沿阻力很小的斜面滚下（图2.4–5），而小球在斜面上运动的加速度要比它竖直下落的加速度小得多，所用时间长得多，所以容易测量。

**图2.4**–**5 伽利略在做铜球沿斜面运动的实验（油画）**

伽利略做了上百次实验，结果表明，小球沿斜面滚下的运动的确是匀加速直线运动，换用不同质量的小球，从不同高度开始滚动，只要斜面的倾角一定，小球的加速度都是相同的。

伽利略将上述结果做了合理的外推：当斜面倾角很大时，小球的运动不是跟落体运动差不多了吗？如果斜面的倾角增大到 90°，这时小球的运动不就是自由落体运动了吗（图2.4–6）？伽利略认为，这时小球仍然会保持匀加速运动的性质，而且所有物体下落时的加速度都是一样的！

**图2.4**–**6**

甲

乙

丙

丁

伽利略的逻辑和实验自然使人钦佩，但是人们又疑惑地问道：为什么日常生活中常会见到，较重的物体下落得比较快呢？伽利略把原因归之于空气阻力对不同物体的影响不同。他写道：“如果完全排除空气的阻力，那么，所有物体将下落得同样快。”这时，落体运动也就真正成为自由落体运动了。为此，伽利略特别指出，在科学研究中，懂得忽略什么，有时与懂得重视什么同等重要。

伽利略对运动的研究，不仅确立了许多用于描述运动的基本概念，而且创造了一套对近代科学的发展极为有益的科学方法。这些方法的核心是把实验和逻辑推理（包括数学演算）和谐地结合起来，从而发展了人类的科学思维方式和科学研究方法。

## STSE

**从伽利略的一生看科学与社会**

伽利略是伟大的物理学家和天文学家，意大利比萨大学和帕多瓦大学的教授，他融会贯通了当时的数学、物理学和天文学，在研究工作中开科学实验之先河，奠定了现代科学的基础。

**伽利略（Galileo Galilei，1564—1642）**

在他所处的历史时代，文艺复兴绝不限于文学艺术的复兴，也是一次前所未有的科学振兴。文艺复兴的精神打破了束缚人们思想的桎梏，激发起人们对自然的兴趣和对自然的探索。活跃在人们心中的各种思想，终于得到了实在的结果。对于伽利略的成就和获得成就的方法，爱因斯坦的赞扬最具有代表性：“伽利略的发现以及他所应用的科学的推理方法，是人类思想史上最伟大的成就之一，而且标志着物理学的真正开端。”

伽利略的科学生涯并不是一帆风顺的。他制作了天文望远镜（图2.4–7），并用它观测天空。观测结果支持了天文学的新学说——日心说。然而，日心说与《圣经》相抵触。伽利略不得不用《圣经》的语言来解释日心说，即便如此，仍然不能逃避教会对他的指控和迫害 。《关于两个世界体系的对话》使日心说变成摧毁教会教义和传统“科学”框架的理论，因此立刻成为禁书。1633年伽利略被罗马宗教裁判所判处终身监禁。尽管如此，他仍坚持研究工作，并将自由落体等方面的研究成果转送荷兰，于1638年出版了《两种新科学的对话》。这部著作的出版，奠定了伽利略作为近代力学创始人的地位。

**图2.4**–**7 伽利略制作了天文望远镜**

时隔359年，罗马教廷于1992年承认对伽利略的压制是错误的，并为他“恢复名誉”。但是教会对科学的干涉和对伽利略的迫害所造成的严重后果是无法挽回的。以前一直是人才辈出的意大利，在伽利略之后，它的科学活动很快衰落下去，在很长的一段时间里，没有再产生过重要的科学家。

## 练习与应用

本节共安排了6道练习题。第1题让学生分析并解释纸片（纸团）与橡皮下落快慢的差异，运用所学运动和力的知识解释简单的自然现象，解决实际问题。第2题以跳水过程为背景，运用 *x* = *gt*2 计算手机连拍时间间隔。第3题运用 *x* = *gt*2 分析并得出结论，结合实际情况（考虑到声波传播需要时间），让学生体会真实情境与理想模型的差异，从多个视角审视检验结论，进行评估和论证。第4题考查学生将实际问题中的对象和过程转换成所学物理模型的能力，曝光时间极短，所以解决这个问题时可以将自由落体在这段极短时间内的运动看作匀速直线运动处理，并引导学生研究图像，寻找规律。第5题向学生介绍一种测量匀变速直线运动加速度的方法一频闪法，让学生在新的情境中运用公式或图像分析推理，得出正确结论。第6题通过合作探究制作“人的反应时间测量尺”，面对真实情境，从不同角度制定科学探究方案，进行实验，收集证据，得出结论。

1．把一张纸片和一块橡皮同时释放下落，哪个落得快？再把纸片捏成一个很紧的小纸团，和橡皮同时释放，下落快慢有什么变化？怎样解释这个现象？

**参考解答**：纸片和橡皮同时释放，橡皮下落得快。因为纸片受到的空气阻力大些。

纸片揉成很紧的小纸团，和椽皮同时释放，两物体下落情况基本相同，说明小纸团下落变快。因为空气阻力的作用不同，纸片受到的空气阻力大于小纸团受到的空气阻力。

2．跳水运动员训练时从 5 m 跳台双脚朝下自由落下，某同学利用手机的连拍功能，连拍了多张照片。测得其中两张连续的照片中运动员双脚离水面的高度分别为 3.4 m 和 1.8 m。由此估算手机连拍时间间隔是多少？

**参考解答**：0.24 s

3．为了测出井口到水面的距离，让一个小石块从井口自由落下，经过 2.5 s 后听到石块击水的声音，估算井口到水面的距离。考虑到声音在空气中传播需要一定的时间，估算结果偏大还是偏小？

**参考解答**：31.25 m；偏大

提示：石块下落做自由落体运动，设井口到水面的距离为 *x*，石块落到水面的时间为 *t*，有 *x* = *gt*2，代入数据得 *x* = 31.25 m。由于声音传播需要一定的时间，所以石块自由下落到水面的时间要小于 2.5 s，因此估算的距离 *x* 偏大。

4．有一架照相机，其光圈（进光孔径）随被摄物体的亮度自动调节，而快门（曝光时间）是固定不变的。为估测这架照相机的曝光时间，实验者从某砖墙前的高处使一个石子自由落下，拍摄石子在空中的照片如图2.4–8所示。由于石子的运动，它在照片上留下了一条模糊的径迹。已知石子从地面以上 2.5 m 的高度下落，每块砖的平均厚度为 6 cm，请估算这张照片的曝光时间。

**图2.4**–**8**

**参考解答**：0.02 s

5．频闪摄影是研究变速运动常用的实验手段。在暗室中，照相机的快门处于常开状态，频闪仪每隔一定时间发出一次短暂的强烈闪光，照亮运动的物体，于是胶片上记录了物体在几个闪光时刻的位置。图 2.4–9 是小球自由下落时的频闪照片示意图，频闪仪每隔 0.04 s 闪光一次。如果要通过这幅照片测量自由落体的加速度，可以采用哪几种方法？试一试。

照片中的数字是小球落下的距离，单位是厘米。

0

0.8

19.6

12.5

7.1

3.2

**图2.4**–**9**

**参考解答**：5．方法1：先利用公式 *v* = 计算出各时刻的速度 *v*，再利用 *v*-*t* 图像求解自由落体加速度 *g* 的大小。

方法2：先利用公式 *v* = 计算出各时刻的速度 *v*，再利用 *g* = 求解。

方法3：先利用公式 *v* = 计算出各时刻的速度 *v*，再利用 *v*2 – *v*02 = 2*gx* 求解。

方法4：利用 Δ*x* = *gt*2 求解。

方法5：在拍摄第一张照片时，由于不能准确判定该时刻是否是下落的时间起点，考虑照片的叠加效果，故可以近似利用公式 *x* = *gt*2 计算自由落体加速度 *g* 的大小。

6．制作一把“人的反应时间测量尺”。

如图2.4-10甲，A 同学用两个手指捏住直尺的顶端，B 同学用一只手在直尺 0 刻度位置做捏住直尺的准备，但手不碰到直尺。在 A 同学放开手指让直尺下落时，B 同学立刻捏住直尺。读出 B 同学捏住直尺的刻度，就是直尺下落的高度，根据自由落体运动公式算出直尺下落的时间，就是 B 同学的反应时间。

利用这种方法，你能不能把下面刻度尺的长度刻度，直接标注为时间刻度，使它变为“人的反应时间测量尺”？请尝试在下图 2.4–10 乙的长度刻度旁标注时间刻度。

甲

乙

**图2.4**–**10**

0

cm

10

20

30

**参考解答**：尺长 30 cm，首先计算刻度尺自由落体 30 cm 时所用的时间，由 *h* = *gt*2，解得 *t* = 0.247 s。可以将时间刻度粗略分为 0.05 s、0.10 s、0.15 s、0.20 s、0.25 s。解得 *h*1 = *gt*12 = 1.23 cm，此处标记 0.05 s；*h*2 = *gt*22 = 4.90 cm，此处标记 0.10 s；*h*3 = *gt*32 = 11.03 cm，此处标记 0.15 s；*h*4 = *gt*42 = 19.60 cm，此处标记 0.20 s；*h*5 = 30 cm 处，可近似标注为0.25 s。

提示：本题制作方案有两种：反应尺的距离均匀一一标出不同的时间；反应尺的时间刻度均匀——标出不同的距离。学生可以通过分析讨论提出制作方案。

# 第 4 节 自由落体运动 教学参考

## 1．教学目标

（1）了解亚里士多德关于力与运动的主要观点。

（2）了解伽利略研究自由落体运动的实验和推理方法。认识伽利略对物体运动的研究在科学发展和人类进步上的重大意义。

（3）通过实验探究自由落体运动，体会基于事实证据和科学推理对不同观点和结论进行质疑、分析和判断的科学研究方法。

（4）经历抽象概括和推理的过程，知道物休做自由落体运动的条件。

（5）通过实验，探究自由落体运动的规律，了解重力加速度的概念，掌握其大小、方向，知道地球上不同地点的重力加速度可能会不同。

## 2．教材分析与教学建议

本节通过逻辑推理、实验演示与实验探究，分析得出自由落体运动的规律，明确重力加速度的意义，使学生对自由落体运动的规律有了更具体和深入的认识。同时加强学生质疑精神、科学推理和科学论证能力的培养。“做一做”栏目让学生利用生活中的器材测量重力加速度。“科学漫步”中伽利略关于落体运动的研究方法和过程，体现了实验与逻辑推理结合的科学思维方式和研究方法。“STSE”中伽利略的生平体现了科学对社会的作用及二者间的关系。教师在教学中应注意落实这些内容，这对培养学生科学思维、科学探究、科学态度与责任等物理核心素养是有价值的。

对自由落体运动的研究是本节的第一个难点，因为它与学生常见的生活中的落体运动并不完全相同，教学要转变学生的已有认识。教科书从亚里士多德观察得到的经验性结论（也是学生脑海中可能有的对落体运动的认识）与伽利略的科学论证结果间的矛盾出发，引发对落体运动的实验探究，发现空气阻力是影响物体下落快慢的因素，进而提出没有空气阻力的理想化棋型——自由落体运动。教师在教学中应注意突出这样的科学探究和基于证据的推理论证过程，引导学生转变认识。

探究自由落体运动的规律，是对前面所学知识的综合应用。教科书通过实验结合前两节所学的匀变速直线运动的规律，得出自由落体运动的规律并测得重力加速度 *g* 的大小，进而得出自由落体运动的速度、位移与时间之间的关系式。

### （1）问题引入

落体运动是人们最常见的运动，人类从两千多年前就开始研究这个问题。教科书从比萨斜塔的科学故事出发，提出要学生思考的问题：轻重不同的物体从同一高度落下，哪个下落得快？什么因素影响物体下落的快慢？

学生对落体运动现象并不陌生，但并没有研究过这种运动的规律，因而对落体运动会存在很多似是而非的看法。教师应鼓励学生充分表达自己的观点和评价别人的观点，同时注意要求学生表达观点和意见的时候要提供证据。

**教学片段**

讨论影响物体下落快慢的因素

师：物体下落的快慢与什么因素有关？亚里士多德认为重的物体下落得快，你同意他的观点吗？注意表达自己观点的时候要提供实际的实验或例子。

生 1：我认为亚里士多德说得对。把一个小石块和一根羽毛从同一高度释放，就是小石块先落地，所以我认为重的物体下落得快。

师：这位同学用实验支持了亚里士多德的观点，大家还有别的想法吗？

生 2：我觉得亚里士多德的观点有问题。把一根大头针和一张纸放在天平上称，纸的质量大。然后把它们从同一高度释放，大头针先落地。这说明重的物体不一定下落得快，可能是横截面积小的物体下落得快。

师：这位同学用实验反驳了亚里士多德的观点。大家还有什么看法吗？

生 3：我认为物体下落的快慢与轻重无关。我在实验室找到一个铝块和一个与它形状一样的铁块，显然铁块质量大。我把它们从同一高度释放，它们同时落地，这说明物体的轻重与下落的快慢无关。

师：每个同学都用实验提出了自己的看法，实验都是真实的，但他们的观点却不尽相同。大家想想他们实验的过程中除了物体的轻重，还有没有什么其他因素影响了物体下落的快慢？

生 4：我认为是空气阻力影响了物体下落的快慢。第一个实验中羽毛受的空气阻力大，第二个实验中纸片受的空气阻力大，所以它俩下落得慢；第三个实验中两个金属块形状一样，可能受的空气阻力差不多，所以下落的快慢也基本一样。

师：这位同学说得很有道理。看来影响物体下落快慢的因素可能很复杂，那么要想知道物体的轻重到底对下落的快慢有没有影响，应该如何设计实验？

生 5：我认为应该让两个质量不同的物体在不受室气阻力的情况下从同一高度同时下落，然后比较它们下落的快慢。

师：这个设计思想很好。我们如何实现物体不受空气阻力的实验条件呢？

生 6：听说月球上没有空气，可以在月球上做这个实验，就没有空气阻力的影响了。

生 7：可以用抽气机把一个容器抽成真空，然后在真空容器里做实验就没有空气阻力的影响了。

师：大家说的都非常好，要探究物理现象后面的规律，就要通过严格的科学实验和科学论证过程。下面我们通过实验验证一下大家的想法。

教师演示教科书上牛顿管的实验，观察空气阻力对物体下落的影响及没有空气阻力时物体下落的情况。接着，可以播放月球上宇航员做的落体实验，观察没有空气阻力时质量不同的物体的落体运动。

通过实验和逻辑推理，引导学生明白亚里士多德观点的提出是因为空气阻力对落体运动的影响，若没有空气阻力，所有物体下落得一样快，与物体质量无关。

总之，这部分教学教师应针对学生可能存在的前概念，引导学生利用科学实验和科学推理相结合的方法探究和认识物理现象及规律。教学中应突出学生的探究意识和科学方法的培养。

### （2）自由落体运动

伽利略创建了将实验和逻辑推理（包括数学演算）结合起来的科学方法。通过物理实验观察到的现象要与逻辑推理自洽才能说明提出的观点和得到的结论是正确的。教科书介绍了伽利略利用逻辑推理提出对亚里士多德观点的怀疑。教师可以启发学生自己进行这段推理分析，最后得出自相矛盾的结论来反驳亚里士多德的观点。这样的推理过程在物理研究中是很常见的，伽利略的著作《关于两门新科学的对话》中就以对话的方式表现了很多逻辑推理的论证过程。教师可以布置学生课下阅读，体验这种科学方法。

生活中看到的落体运动由于受到空气阻力等因素的影响，运动情况一般都是比较复杂的。这里我们要再一次运用物理研究中抓住主要矛盾、忽略次要矛盾、把复杂问题简单化的方法，建构物体只受重力时从静止开始下落的理想模型——自由落体运动。

教师应该指出，自由落体运动只有在真空中才能发生，但实际的物体下落过程中只要空气阻力足够小，是可以近似看成自由落体运动的。这也是建构自由落体运动这个理想模型的实际意义。

通过演示实验，学生只能看出自由落体运动是加速运动，但加速度的大小和变化情况却要通过实验进一步探究。学生已经学习过测量物体运动加速度的实验方法，所以此处可以由学生设计、完成探究物体自由落体运动规律的实验。

**教学片段**

自由落体运动规律的研究

教师引导学生猜想并验证自由落体运动是什么样的加速运动。

学生猜想自由落体运动是匀加速直线运动。设计实验方案检验猜想。例如，用打点计时器测量自由落体运动的速度随时间交化的规律，看看是不是均匀增加的。或作 *v*–*t* 图像，看是不是可以拟合成一条直线。

教师指导学生完成教科书上的探究实验，提醒学生注意实验条件的控制。例如物体要选择质量大、体积小的重物，纸带一定要竖直穿过限位孔而且要将重物竖直提起释放。这些都是为了尽量减小实验中的空气阻力，使物体的运动更接近自由落体运动。

学生完成教科书上的探究实验，测量数据。学生在测量时会发现，纸带上的点迹比较少，如果每五个间隔算一个计数点则计数点较少，不易探究规律。教师引导学生用三个点间隔或两个点间隔标记计数点。于是，学生完成数据记录和分析计算。有条件的学校也可以用数表软件中的功能拟合出 *v*–*t* 图像中的直线并求出斜率，与学生手工绘制的 *v*–*t* 图像计算比较，相互验证。

教师组织学生讨论、归纳实验结论：在误差范围内，自由落体运动的 *v*–*t* 图像成一条倾斜的直线，说明自由落体是匀加速直线运动。直线的斜率约为 9.8 m/s2，这就是自由落体的加速度大小。

### （3）自由落体加速度

学生通过实验得到了自由落体运动的规律和自由落体加速度的大小，但是大家测得的加速度大小并不完全一致，而且可能普遍小于 9.8 m/s2，所以教师此时可以用竖直放置的光电门测量自由落体的加速度或展示频闪照相实验，得到更精确的加速度值。

自由落体加速度是一个很重要的概念。在初中阶段，学生虽然没有学过自由落体加速度，但是知道 *g* = 9.8 N/kg，符号和数值的相同以及自由落体加速度也称为重力加速度等信息，会引起学生探究的兴趣。而教科书中介绍各地重力加速度的不同值以及变化规律又引发了新的思考。这些问题并不是现在的学习内容可以解决的，但是会为今后的教学奠定基础，所以教学中应重视培养学生的问题意识，发现和提出问题，培养探究的兴趣。也可以把这些问题作为课下探究学习的任务，由学生自主研究并上交研究报告。

教科书上“做一做”栏目使用手机测自由落体加速度。手机现在已经比较普及，手机上可以安装一些应用程序帮助学生进行科学探究活动。这样可以使学生的探究活动以智能电子设备为载体，随时随地进行。建议有条件的学校教师带领学生在课堂上一起用手机测量自由落体加速度。也可以让手机做其他运动，测量它的加速度，加强学生对加速度大小的感性认识。

对于自由落体运动的公式，可以由学生自己应用前面两节学过的初速度为 0 的匀变速直线运动的规律，表示出自由落体的速度、下落高度与下落时间的关系：*v* = *gt*，*x* = *gt*2。教师可以辅以适当联系实际的例题，加强学生对规律的认识和实践中的应用能力。

本节补充的“科学漫步”和“STSE”栏目，前者介绍了伽利略对自由落体的研究过程和开创的近代科学的研究方法；后者从伽利略一生的成功与坎坷以及评价变化引起关于科学和社会关系问题的思考。教师要充分重视物理学史的教学，它是培养学生物理核心素养，特别是物理观念以及科学态度与责任的重要途径。“科学漫步”建议采用学生自主阅读，梳理伽利略的研究思路和方法。教师可以在关键步骤设置一些问题，引导学生自学。例如：

①伽利略如何用逻辑推理的方法揭示亚里士多德观点的矛盾？

②为何猜想自由落体速度有 *v*∝*x* 和 *v*∝*t* 两种可能性，又如何经过推理判定 *v*∝*x* 不正确？

③为什么检验 *v*∝*t* 即是检验 *x*∝*t*2？

④如何巧妙地克服困难，设计精确可行的实验检验 *x*∝*t*2？

⑤如何由斜面实验的结论合理外推到落体运动的规律？

应特别注意伽利略的逻辑推理方法的应用和实验中是如何发现问题和困难，又如何一个一个克服，最终得到正确结论的。

## 3．“练习与应用”参考答案与提示

本节共安排了 6 道练习题。第 1 题让学生分析并解释纸片（纸团）与橡皮下落快慢的差异，运用所学运动和力的知识解释简单的自然现象，解决实际问题。第 2 题以跳水过程为背景，运用 *x* = *gt*2 计算手机连拍时间间隔。第3题运用 *x* = *gt*2 分析并得出结论，结合实际情况（考虑到声波传播需要时间），让学生体会真实情境与理想模型的差异，从多个视角审视检验结论，进行评估和论证。第 4 题考查学生将实际问题中的对象和过程转换成所学物理模型的能力，曝光时间极短，所以解决这个问题时可以将自由落体在这段极短时间内的运动看作匀速直线运动处理，并引导学生研究图像，寻找规律。第 5 题向学生介绍一种测量匀变速直线运动加速度的方法一频闪法，让学生在新的情境中运用公式或图像分析推理，得出正确结论。第 6 题通过合作探究制作“人的反应时间测量尺”，面对真实情境，从不同角度制定科学探究方案，进行实验，收集证据，得出结论。

1．纸片和橡皮同时释放，橡皮下落得快。因为纸片受到的空气阻力大些。

纸片揉成很紧的小纸团，和椽皮同时释放，两物体下落情况基本相同，说明小纸团下落变快。因为空气阻力的作用不同，纸片受到的空气阻力大于小纸团受到的空气阻力。

2．0.24 s

提示：当跳水运动员的双脚距离水面的高度分别为 3.4 m 和 1.8 m 时，运动员做自由落体运动的位移分别为 *h*1 = 5 m − 3.4 m = 1.6 m，*h*2 = 5 m − 1.8 m = 3.2 m，设对应的自由下落时间分别为 *t*1、*t*2，根据自由落体运动规律得 *h*1 = *gt*12、*h*2 = *gt*22。所以 Δ*t* = *t*2 – *t*1 = − ，代入数据得 Δ*t* = 0.24 s。故手机连拍的时间间隔约为 0.24 s。

3．31.25 m；偏大

提示：石块下落做自由落体运动，设井口到水面的距离为 *x*，石块落到水面的时间为 *t*，有 *x* = *gt*2，代入数据得 *x* = 31.25 m。由于声音传播需要一定的时间，所以石块自由下落到水面的时间要小于 2.5 s，因此估算的距离 *x* 偏大。

4．0.02 s

提示：可引导学生用不同方法解答并进行比较。

由图片可知，径迹表示的长度约为 Δ*x* = 0.12 m，径迹中点到地面的高度约为 0.54 m。从石子初始位置下落至径迹中点的位移为 *x* = 2.5 m − 0.54 m = 1.96 m。石子做自由落体运动，根据 *v* = ，代入数据得石子在径迹中点的速度为 *v* = 6.26 m/s。由于曝光时间极短，石子近似做匀速直线运动，故曝光时间为 Δ*t* = = = 0.02 s。

5．方法 1：先利用公式 *v* = 计算出各时刻的速度 *v*，再利用 *v*–*t* 图像求解自由落体加速度 *g* 的大小。

方法 2：先利用公式 *v* = 计算出各时刻的速度 *v*，再利用 *g* = 求解。

方法 3：先利用公式*v* = 计算出各时刻的速度 *v*，再利用 *v*2 – *v*02 = 2*gx* 求解。

方法 4：利用 Δ*x* = *gt*2 求解。

方法 5：在拍摄第一张照片时，由于不能准确判定该时刻是否是下落的时间起点，考虑照片的叠加效果，故可以近似利用公式 *x* = *gt*2 计算自由落体加速度 *g* 的大小。

6．尺长 30 cm，首先计算刻度尺自由落体 30 cm 时所用的时间，由 *h* = *gt*2，解得 *t* = 0.247 s。可以将时间刻度粗略分为 0.05 s、0.10 s、0.15 s、0.20 s、0.25 s。解得 *h*1 = *gt*12 = 1.23 cm，此处标记 0.05 s；*h*2 = *gt*22 = 4.90 cm，此处标记 0.10 s；*h*3 = *gt*32 = 11.03 cm，此处标记 0.15 s；*h*4 = *gt*42 = 19.60 cm，此处标记 0.20 s；*h*5 = 30 cm 处，可近似标注为 0.25 s。

提示：本题制作方案有两种：反应尺的距离均匀——标出不同的时间；反应尺的时间刻度均匀——标出不同的距离。学生可以通过分析讨论提出制作方案。

1. 本书中，如果没有特别的说明，都按 *g* = 9.8 m/s2 进行计算。 [↑](#footnote-ref-1)