

# 重力的消失—再見愛因斯坦的玩具

梁立國

輔英科技大學 環境與生命學院

(投稿日期：民國 97 年 04 月 16 日，修訂日期：98 年 07 月 02 日，接受日期：98 年 07 月 15 日)

**摘要：**依據牛頓的萬有引力定律：重力與距離的平方成反比，也就是說：重力是無遠弗屆的。在本次演示中我們將體驗：重力的確在地球表面消失了。

在愛因斯坦的最後一個生日(1955 年 3 月 14 日)他的鄰居 Eric Rogers 送給他一個玩具，該玩具以一個彈簧固定在窗簾用的銅棒內，彈簧很軟，一條繩子繫著彈簧一端，另一端穿過固定在銅棒端的金屬碗中央的小孔，使重球倒掛在碗外；玩法是：運動銅棒，要讓重球落入金屬碗內。

聽聽愛因斯坦的敘述與作法：「我現在讓它落下，根據等效原理，球應該不受重力，這時彈簧的強度就足以將球拉至碗內。」他將銅棒舉起，金屬碗接近天花板，將棒自由落下，並維持棒與地面的垂直，當棒一端接近地面時，以手接住，而球已在金屬碗內。(軟弱的彈簧趁著銅棒向下加速，重力場被加速度抵銷的瞬間、表現了一下)。

我以鋁桿代替銅棒，滑鼠球代替重球，彈簧為品質好的電話線的捲曲部分，製成該玩具，作為教具，該玩具對演示等效原理，除了具有重複演示的功能；對於示範者或體驗者亦具挑戰性(球是否落入金屬碗內)，著實為一有趣之演示教具；此外，前人的智慧，並與愛因斯坦貼近的歷史意義等優點，使其成為一極佳的演示教具。

**關鍵詞：**重力場、加速度、等效原理、動手做

## 壹、前言

相對於狹義相對論描述所有慣性座標系的物理原理必須相同，廣義相對論則是基於關於重力與加速度的通常觀測，這個普遍的原理，稱之為等效原理<sup>2</sup>：任何重力場  $g$  的效應與缺乏任何重力場的位置中給予加速

度  $a = -g$  的效應是沒有差別的。具體的例子是向下墜落的遊樂設施讓人有失去重量呈現漂浮的感受；許多科幻片中，為使環繞地球的太空站具有重力的效應，讓太空站成一自轉的環狀物，利用向心加速度，產生一離心之重力場效應，讓生活在環狀太空站內的生物以為重力的存在。

在初級中等學校自然與生活科技課程中，電梯的向下加速或向上的加速，使得體重變輕變重的體會；高級中等學校物理學更進一步計算作用在電梯地板的力量大小；上述加速座標系統中物體受力情況的討論，皆初步涉及等效原理的科學概念；而在大學關於相對論的課程裡，等效原理捨去廣義相對論裡複雜的數學表現方式，簡單的提供了廣義相對論與狹義相對論的比較；此外，在大學普通物理中，等效原理也提供了關於重力場概念不同角度的欣賞方式<sup>3</sup>。以上是等效原理在不同的學習階段，遭遇著或多或少的學習經歷。

關於等效原理動手做的活動中，例如：以自由墜落的燭火，因燭火以重力加速度墜落，重力場在該系統內被視為消失，使得火焰呈現圓形，但燭火的觀察是瞬間的，下墜的物體也易損壞，拍攝的過程也繁雜。再大一點的規模，則是讓飛機自由墜落的一段時間，飛機內的物體呈現無重力漂浮狀態，或是繞著地球的太空站內也呈現無重力漂浮甚狀態；然而，飛機與太空站皆無法作為親身的體驗；圖 1 則是課程內最常舉用的例子：自由落下的電梯，電梯內的物體呈現無重力漂浮狀態（此例皆以課堂講述而已）。

此教具是根據書籍<sup>1</sup>的記載，模仿愛因斯坦的鄰居 Eric Rogers 在愛因斯坦的最後一個生日(1955 年 3 月 14 日)送給他的一個玩具而製作，該玩具對今日而言，完全回到最初的想法去製作（無需利用任何現今的科技），利用重力與彈力的對抗（圖 2），重力因懸掛的鐵球質量大而取得優勢，使得較軟的（彈性係數小）彈簧有一向下的伸長長度；但在該教具自由落下的時候，彈力趁著教具（系統）向下加速抵消重力場的過程中將重球拉回碗內。此教具於實際活動中，相對於燭火墜落或自由落下而言，具有重複演示、

考驗演示者技術的體驗、前人的智慧、並與愛因斯坦貼近的歷史意義等多項優點，實為一極佳的演示教具。

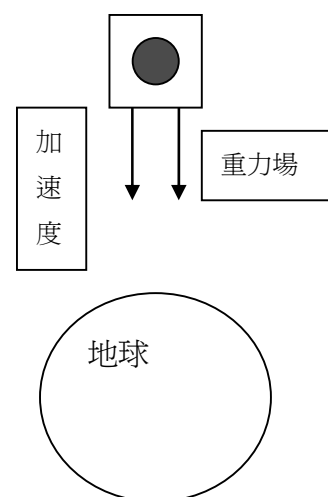


圖 1：自由落下的電梯，電梯內的物體（圓球）無法感受重力的存在。

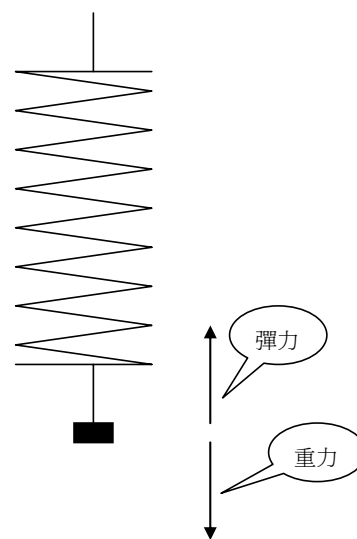


圖 2：彈力與重力的對抗，較軟的彈簧被迫必須伸長一個長度，而重力向下，彈力欲將物體向上拉，兩者大小相等，但方向相反。（教具之彈簧應被向下拉長 10 公分）

## 貳、演示的科學概念

### 一、重力場

### 二、加速度

### 三、等效原理

## 參、材料的取得與組合

### 一、需要使用的器材(如表 1)

### 二、組合說\*\*\*

1. 將滑鼠球固定在滑鼠球載具。

表 1：需要使用的器材

序號	品名(規格)	數量	備註
1	金屬碗 (底部中央有孔) 直徑 10 公分	1 個	鬧鈴的金屬蓋 <sup>註 1</sup> (可以剛性較好的 塑膠碗狀物替代)
2	軟彈簧 (約 30 公分)	1 個	電話線捲的部份
3	線 (約 30 公分)	1	古典吉他金屬線 可用粗釣魚線替 代
4	細鋁管 45 公分	1 個	彈簧可在管內自由 活動
5	滑鼠球	1 個	鐵製的
6	滑鼠球載具	1 個	固定滑鼠球，並 可以線綁住 <sup>註 2</sup>
7	長鋁管	1 個	約 1.5 公尺
工具	熱熔膠、雙面膠、AB 膠、電鑽		

註一：鬧鈴的金屬蓋，例如：腳踏車、鬧鐘、消防鐘聲皆可取得這類金屬蓋。

註二：可裝滑鼠球，底部可穿線連接彈簧，此器材須特別去找，無特定對象。

2. 將細線一端與彈簧接上，細線另一端接上滑鼠球載具，此時拉住彈簧一端，滑鼠球下垂，彈簧伸長長度約 10 公分。(如圖 2 所示)
3. 拆下細線與滑鼠球載具端。
4. 金屬碗外之底部中央，利用大量的熱熔膠並通過大面積的將金屬碗與細鋁管固定。
5. 將彈簧固定在細鋁管下端內，彈簧另一端細線穿過金屬碗中央小孔。
6. 將滑鼠球與載具接上細線一端，並使滑鼠球掛在金屬碗外，此時，滑鼠球與載具可拉長彈簧約 10 公分。(如圖 3 所示)
7. 將細鋁管置入長鋁管內，並固定之。固定的方式可在長鋁管、細鋁管相對位置上以電鑽鑽一小孔再以適當大小螺絲鎖住。(如圖 4)

注意：滑鼠球拉長彈簧的過程中，細線與彈簧運動必須非常滑順。彈簧、細鋁管、細線間的固定並不容易，是考驗製作者的細緻動作。

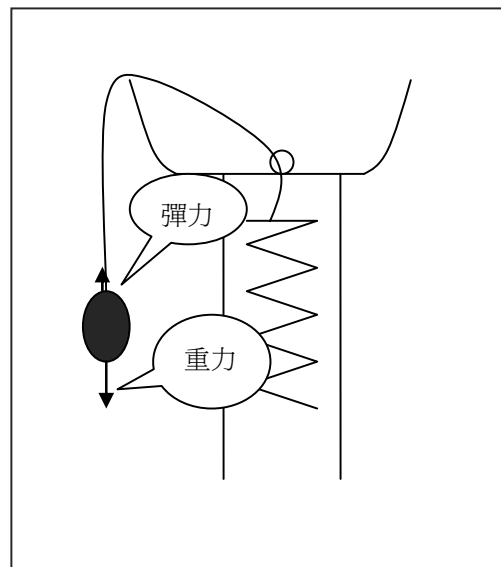


圖 3：愛因斯坦玩具：金屬碗、細鋁管、彈簧與滑鼠球之示意圖



圖 4：玩具完成圖。滑鼠球在外金屬碗外，細鋁管與彈簧隱藏在長鋁管內。

## 肆、教具的操作與教學應用

### 一、教具的操作

1. 準備動作：將長桿之金屬碗端向下，讓球自然下垂，下垂的球拉下彈簧約 10 公分，再將長桿另端以手握住，金屬碗向上舉起，球留在金屬碗外。
2. 自由落下：握住長鋁管底部的一端，將玩具高高舉起接近天花板。瞬間鬆手，注意桿的落下維持與地面垂直，在桿將落地時，手再度握住長桿，觀察球是否已落入碗內。此動作應多次練習。
3. 自行製造加速度：同步驟 2，握住長鋁管底部的一端，將玩具高高舉起接近天花板。瞬間將桿向下加速，訓練自己的手感，使球順利落入碗內。

### 二、教學應用

1. 中等學校自然與生活科技或物理學課程中，電梯向下或向上的加速，此教具可演示滑鼠球「重量」變輕，被彈簧拉回的具體體會。
2. 對於大學的普通物理學課程，這個活動是作為比較在慣性座標系觀點下的狹義相對論與以加速座標系為觀測觀點的廣義相對論的比較的可趣教材。此外，此活動也提供了關於「重力場」科學概念的另一種思考角度與熟悉方式。
3. 該教具的剛性與結構的紮實的加強，以增加被使用之可行次數，則可作為科普教育中，民眾貼近愛因斯坦的題材之一，簡單而有趣。

## 伍、結論與改進

1. 彈簧、細線在細鋁管內的運動應保證其順暢無阻，微弱的彈力才能有所表現。
2. 反覆的練習，甚可體會重力的確消逝，彈力將球拉回碗內。
3. 此教具無論在科普教育、中等學校、大學、甚或物理系所皆可為教師之演示教具，其優點為重複演示，考驗演示者技術的體驗，前人的智慧，並與愛因斯坦貼近的歷史意義等。
4. 教具仍有改進的空間，例如：改為硬質透明的塑膠管，以方便彈簧伸長變短的觀察；教具的剛性、耐用是教具實用與完美表現的不二法門，仍有待持續的努力。
5. 相當軟的彈簧讓作者不敢相信它能將重球拉入碗內；但彈力的確做到了，是趣味的所在；重複的練習，對等效原理的認識將更為具體。
6. 最後，在沒有今日科技支援的情況下，愛因斯坦的朋友 Eric Rogers 依據其對廣義相對論的認識而完成此玩具，這是值得我

們學習與推崇的地方。

### 參考文獻

1. 徐一鴻(A.Zee)著 張禮 譯 膨脹的宇宙--  
愛因斯坦的玩具 (Einstein' s  
Universe—An Old Man's Toy) part 1 第  
25 頁 2006 1 月 五南圖書出版有限公  
司
2. Reese 原著/陳堯輝等編譯 普通物理(下)  
第 25 章 374 頁(Unversity physics)2004  
1 月 高立圖書有限公司
3. HALLIDAY & RESNICK Fundamentals  
of Physics extend Eighth edition § 13-9  
p347 2007 John Wiley & Sons Inc..

## How can the gravitation disappear!

Li-Kuo Liang  
Fooyin University

### Abstract

At the Einstein's last birthday (14<sup>th</sup> march 1955 ) , Einstein's friend Eric Rogers gave him a toy as a gift. This toy was made from an idea of principle of equivalence.

The toy was composed of four parts, a soft spring, an iron ball, a bowl, and a tube. The spring was fixed inside the tube. On the other end of the spring, there was a line through the bottom of the bowl, then connected with an iron ball. The ball outside the bowl was pull by two forces, one from the gravity of the earth was downward, the other one from the spring was upward. The spring was soft, and it could not pull the ball into the bowl. When Einstein had the toy free fall to the ground, the ball was pull into the bowl by the soft spring. Because of principle of equivalence, acceleration downward was equivalent to gravitational force, the gravity disappeared.

I also make a toy such as Einstein ever had one 54 years ago. As a teaching work used in an activity about the principle of equivalence, it can be played repeatedly compared with other similar ones such as the free falling elevator and the free falling fire of candle. Also it is interesting and a challenge for the player to know how dose the ball can be pull into the bowl. From the vision of history, it is a meaningful activity that we can evenly such close to the Einstein's age and Einstein himself. At last, it is admirable that Mr. Roger could invent this toy just depending on the understanding of general relativity.

**Key words:** Gravitation, Principle of equivalence, Hands-on.