非彈性碰撞



你喜歡打籃球或打網球嗎?是否曾經觀察過 拍球或擊球後,球掉到地上反彈後的狀況? 若你曾經思考過彈跳過程所隱藏的物理知識, 就快來學習這個實驗吧!

我們將透過碰撞過程展現常見的力學能概念, 並使用手機 App 輔助來快速找到球彈跳的祕 密,就讓我們一起認識「非彈性碰撞」吧!



原理

在介紹非彈性碰撞前,我們需要先了解幾個跟能量有關的物理名詞:

動能

動能是描述物體運動時擁有的能量,同樣的物體,不管它的運動方向, 動得越快,動能就越大。

$$\mathsf{K} = \frac{1}{2} \,\mathsf{m} \,\mathsf{v}^2$$

其中 K 為動能, m 為物體的質量, v 為速度。

位能

位能是物體因為「位置」而儲存的能量。常見的例子是重力位能,跟物體離地面(參考面)的高度有關,物體愈高,重力位能愈大。

U = mgh

▲其中 U 為重力位能,m 為物體的質量,g 為重力加速度,h 為高度。 試著想像一下,當我們把球拿到空中再放手,會發現球開始往下掉, 且速度愈來愈快,這是因為重力位能正在轉換成動能。而若把球垂 直向上丟,球的速度則會愈來愈慢,到最高點時速度為0,這是因 為物體所具有的動能正在轉換變成重力位能。 能量守恆定律

各式各樣的能量,像是熱能、聲能、動能與位能…等,這些能量在轉換的過程中,不會無故增加與減少。各種不同形式的能量轉換前後的總量保持不變。

介紹完能量,再來可以講到碰撞了!碰撞發 生的極短時間內發生什麼事?就以球垂直自 由落下碰撞地板為例,它可以分成三個階段: 碰撞前、碰撞期間以及碰撞後。



碰撞前 球距離地面越來越近,將重力位能轉換成動能。

碰撞期間 球體接觸到地面,產生變形,將動能轉換成變形能。之後
回復原本的形狀並彈離地面,變形能轉換回動能。過程中,
通常還會有部分能量轉換成熱、聲音…等耗散掉的能量,
無法轉換回動能,因此反彈後動能會較反彈前低。
(但若把動能加上重力位能與耗散掉的能量,前後總能量不變。)

碰撞後 球體快速遠離地面,將動能轉換成重力位能。

若沒有能量損失,則球碰撞前後能量會一樣,亦即球可彈回原本的高度, 稱作「彈性碰撞」。但在實際情況中,必然會有能量損失,故碰撞後球 無法彈回原本的高度,稱作「非彈性碰撞」。

由於每次回彈到最高點時,球碰撞後保留的動能 恰全部轉成重力位能,而重力位能又正比於離地 高度h,故回彈高度(h_n)與原先高度(h_{n-1})的比, 就是「能量保留比例」,可以用來表示彈性。若 能量保留比例愈接近於1,代表其彈性愈好。

碰撞後的能量

碰撞前的能量

能量保留比例 =





mghn

 mgh_{n-1}

hn

 h_{n-1}

phyphox 使用教學

這次實驗要使用的測量工具就是我們自己的手機。為什麼手機可以 用來測量數據呢?這是因為手機內部安裝了許多不同的感測器,用 以偵測環境的變化,來達成各種功能。例如環境光感測器能偵測光 的變化,手機再藉由這些數據,將螢幕自動調整到適合的亮度。

實驗中所用的 App 是 phyphox,它能夠收集並分析這些感測器量測 到的數據(如聲音),協助我們做各種科學實驗。在開始實驗之前, 讓我們先來一步步了解如何使用 phyphox 吧!



store Google play



100	physical phone experiments				
Tools					
	Depth sensor (LiDAR / ToF) Measure distances using the depth sensor.				
力學					
/ •@ \)	向心加速度 利用角速度的函數視覺化向心加速度。 彈簧 分析彈簧振盪器的頻率及週期。 熠				
^} ⊘∕	786 透過將你的手機當成複擺以決定重力常數 (g=9.81m/s ²)。 滚 <u>動</u> 新手機放到一個滾動裝置內以測得其速度。				
\searrow	(非)彈性碰撞 測得彈跳中的球在(非)彈性碰撞中損失的能量。				



畫面中每個按鍵的功能如下:

①錄音鍵

按下開始擷取數據,再按一次則 停止測量。

2 清除數據

停止測量並清除目前數據。

3:圖標

更多功能,可顯示實驗相關說明 以及匯出數據。

④重置鍵

不停止測量的情況下,清除目前 數據。



- 取得能量數據 -

點擊上方「能量」標籤頁,此頁 會計算每次彈跳後剩餘的能量。

能量1

初始能量,訂為100%。

<mark>能量 M</mark> (M=2~5)

第 M-1 次彈跳後,相較於初始 能量,剩下的能量百分比。

於碰撞2中保持

相較於前次碰撞前的能量,剩下 的能量百分比。

平均能量保持

代表整個彈跳過程,平均每次碰 撞保留多少比例的能量。







- 設定取得數據的標準 -

點擊上方的「設定」標籤頁,可 以設定取數據的標準。

門檻

設定聲音要多大聲才會被當作需 收集的數據。

可設定 0~1 之間的數字。數 字愈大,要愈大聲手機才收得 到。實驗時可以先設定 0.05。 若在嘈雜到可能會影響交談的 環境,則可以試試看設定成 0.2~0.25 或更高。

最小延遲

指每次彈跳的聲音時間間隔要大 於設定的秒數,手機才收得到。 可避免回音的影響。

÷	(非)	彈性碰撞	Ê		Ī	:
高度	能量	設定	_			
		門檻	0.1		a _ เ	ırb. Init
		最小延遲	0.1		_	秒
不幸地,這 比較已確偽 則此實驗办	■在慢的号 民此實驗 能使用。	F機中不能使 能如期地運作	用。請將聲聲	基碼表與中	u正常的 可以使	時用,

操作步驟

STEP

- 實驗環境與軟體設置 -

、尋找平坦堅硬的地板或水泥地作為實驗地點。如果多組一起 做實驗,建議降低音量且不同組相距1公尺以上。

參考 phyphox 使用教學,開啟安裝好的軟體,進入「(非) 彈性碰撞」,點擊「設定」標籤頁,將「門檻」先調整成0.05。 接著回到「高度」標籤頁,按下右上方的三角形錄音鍵,觀 察是否有數據顯示;若有,代表手機讀取到背景的雜訊,可 略微調高「門檻」的數值,再按錄音鍵重新開始實驗並按下 重置鍵清除數據。

「門檻」的數值可考慮每次調高 0.05,並重複上述步驟, 直到手機不會讀取到背景的雜訊。



- 觀察非彈性碰撞過程 -

將直尺垂直立在地面上,且刻度 0公分的那側需朝向地面。

另一隻手用手指夾住乒乓球,將 其拿到直尺旁,從大約30公分 高的位置鬆開,讓球自由落下到 地面,觀察每一次球彈起的大概 高度。(這些高度記錄可以讓我 們確認之後手機量測到的高度數 據合不合理。)

觀察時著重於前 2~3 次的回彈 高度即可。若有同學一起做,也 可改用手機正對著尺的刻度和球 錄影,錄完後再重播觀察。









- 量測非彈性碰撞數據 -

將手機放在剛剛乒乓球的落點附 近。按下「高度」標籤頁上的三 角形錄音鍵後,讓乒乓球再次從 30 公分高的位置自由落下。

! 注意

測量時,若無法測得4次以上的彈跳,可以改將球從更高的位置落下,例如40公分高。又若球在彈跳過程中砸到其他東西或 明顯往側邊彈跳,也建議重新進行實驗。

另外,若實驗數據出現以下情況,則可參考對應的解決方法。

數據狀況	解決方法
數據顯示幾筆後就不再增加	直接重做實驗
沒有讀取到任何數據	降低「門檻」數值
球沒碰地時卻讀取到數據	降低噪音或增加「門檻」數值
球碰地一次卻出現多筆數據	直接重做實驗 或可增加「門檻」、「最小延遲」



- 記錄數據 -

將手機量測到的「高度1」至「高 度4」數據記錄在學習單上。 參考原理中的公式,將「這次彈 跳達到的高度」除以「前一次彈 跳達到的高度」,求得碰撞後的 能量保留比例。

計算出每一次碰撞後的能量保留 比例,最後再取平均值。

完成後,將乒乓球替換成彈珠、 鋼球或其他自備的球體,重複步 驟2到4,比較不同球體的實驗 結果。





想想看 ...

- 1. 哪一種球的平均能量保留比例最高? 哪一種彈性較好?
- 2. 若球碰撞地面後往側邊跳,沒有垂直回彈,對實驗結果有何影響?
- 3.在此實驗中,phyphox如何將聲音的時間差,轉換成物體的高度?

參考資料

- [1] 2019 年臺南全民科學週科普圖文講義,主題1:非彈性碰撞, p2-11
- [2] 國立成功大學理學院科學教育中心,高中微課程:好玩的物理學 11201 《如何讓球彈更高?》,講師:許瑞榮教授 https://nckusec.web2.ncku.edu.tw/p/412-1071-25876.php?Lang=zh-tw
- [3] Smartphone-Experiment: (In)elastic Collision (en) https://www.youtube.com/watch?v=ikvtPDwV1FE