

2023 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

普高組 成果報告表單

題目名稱：《小心粉筆來襲！——探討脆性物體斷裂因素與機理》
一、摘要
本組在觀察粉筆的斷裂和意大利面的折斷，這兩普通的生活現象後，非常好奇導致它們斷裂的因素及其背後的原因。因此，本組依生活中常見影響粉筆斷裂的因素設計了四個小實驗，即粉筆落地高度、不同角度掉落、粉筆長度以及所觸表面的光滑程度，證明了這四個因素皆會對斷裂段數產生影響。本組在完成這些實驗當中發現這些因素皆與粉筆內部振動有關，故以意大利面的共振證明了機械波對斷裂存在一定的作用，即共振產生的駐波的波節個數相近於斷裂個數，產生的波節位置相近於斷裂位點。
二、探究題目與動機
探究題目： 脆性物體斷裂的因素與機理 探究動機： 作為學生，相信都聽過老師說的“拿粉筆丟你”這樣的警言，所以很好奇粉筆丟出後的情況。作為好玩的學生，本組同學也有弄斷粉筆的經歷。在此共鳴下，本組上網展開調查，發現網路盛行的說法是粉筆會斷成三段，但許多網民只是進行思想實驗。搜尋時也發現意大利面的斷裂也存在這樣的情況。因此本組決定進行有關粉筆掉落的實驗探討。配合課程所學的振動，本組也懷疑斷裂與機械波有關，因此決定延伸實驗，誓要找出斷裂的機理，讓大家都能了解粉筆斷裂的原因，也讓大家知道機械波的神奇之處。
三、探究目的與假設
實驗一 目的： 探討粉筆在不同情況下掉落與粉筆掉落後斷裂的段數之間的關係。 假設： 粉筆在不同情況下掉落，其掉落後斷裂的段數也不同。其中， 粉筆落地高度越高，粉筆斷裂的段數越多； 粉筆水平掉落斷裂的段數較 45°及垂直掉落斷裂的段數多； 粉筆的長度越長，粉筆斷裂的段數越多； 粉筆接觸粗糙的地面較接觸平滑的地面斷裂的段數多。
實驗二 目的： 通過意大利面的共振來探討機械波對粉筆斷裂的作用。 假設： 意大利面斷裂位點為意大利面共振時產生的駐波的波節位置；意大利面斷裂段數為波節個數。
四、探究方法與驗證步驟
實驗一 粉筆斷裂定義：

若粉筆斷裂後形成大於等於 1cm 的一段，則視為斷裂形成的段數，反之則忽略不計。

(1) 粉筆落地高度實驗

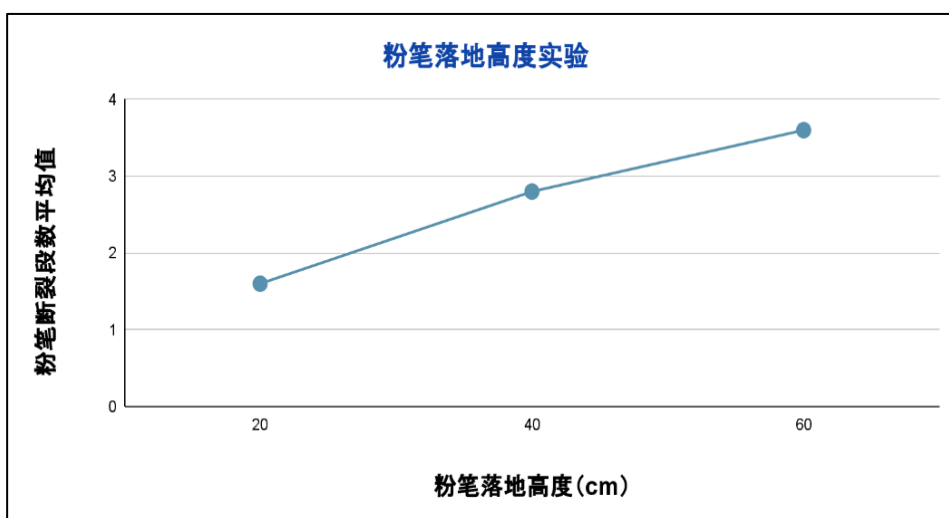
1. 準備材料：15 支相同大小的粉筆、卷尺、能錄像的手機。
2. 用卷尺在牆上測量並標記 20cm、40cm 及 60cm 處，並架設好手機進行錄像。
3. 從 20cm、40cm 及 60cm 處各別以水平角度輕投 5 次粉筆掉落到平滑的地上。
4. 觀察實驗結果，記錄粉筆斷裂的段數。

實驗照片：



實驗數據：

粉筆落地高度(cm)	粉筆斷裂段數 (个)					平均值
	實驗 1	實驗 2	實驗 3	實驗 4	實驗 5	
20	0	2	2	2	2	1.6
40	3	3	2	3	3	2.8
60	3	3	4	4	4	3.6



分析：數據顯示，當粉筆長度不變且水平掉落時，粉筆落地高度越高，其斷裂後產生的段數越多。因粉筆質量不變，已知如果兩個質量相同的物體處於不同的高度，但空氣阻力不大於等於物體重力時，越高的物體掉落到地面上的最終速度越大，所具动能与冲击力也随之增大，粉筆更易斷裂成多段。

(2) 粉筆落地角度实验

1. 準備材料/器材：15 支相同的粉筆、長尺、能錄製的手機。
2. 用長尺在牆上標記 40cm，並架設好手機。

3.各別以 45°、90°、180°角度輕投 5 次粉筆落到平滑地上。

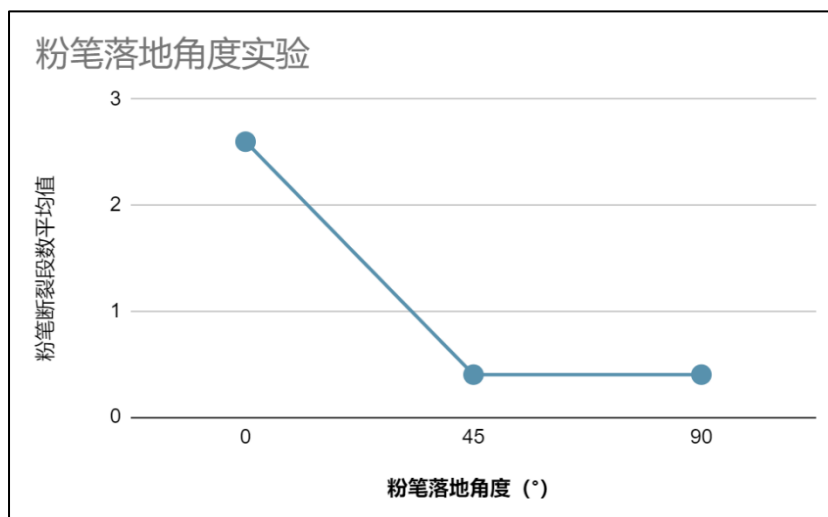
4.觀察實驗結果，記錄粉筆斷裂的段數。

實驗照片：



實驗數據：

粉筆落地角度(°)	粉筆斷裂段數 (个)					平均值
	實驗 1	實驗 2	實驗 3	實驗 4	實驗 5	
45	0	0	0	0	2	0.4
90	0	0	0	0	2	0.4
0	2	3	2	3	3	2.6



分析：數據顯示，當粉筆長度不變且落地高度不變時，粉筆落地角度和其斷裂後產生的段數之間的關係有極端的落差。以 45°角和 90°角掉落的粉筆大多不會發生斷裂，以 0°角掉落的粉筆都發生斷裂。

(3) 粉筆長度實驗

1. 準備材料/器材：15 支相同的粉筆、刀片、捲尺、貼紙、能錄製的手機。

2. 用捲尺在牆上標記 40cm，並黏貼子標記、架設好手機。

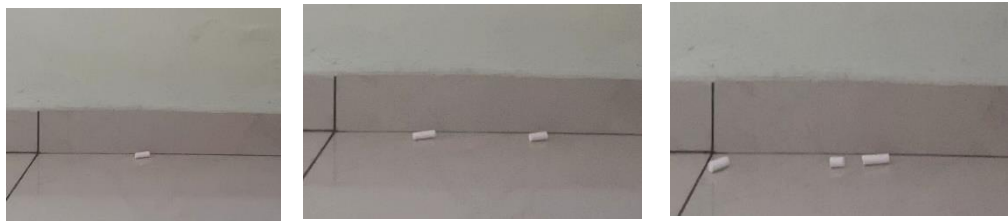
3. 從 40cm 處以水平角度輕投 2.6cm 粉筆落到平滑地上，並重複 5 次。

接着，從 40cm 處以水平角度輕投 5.2cm 粉筆落到平滑地上，並重複 5 次。

之後再從 40cm 處以水平角度輕投 7.8cm 粉筆落到平滑地上，並重複 5 次。

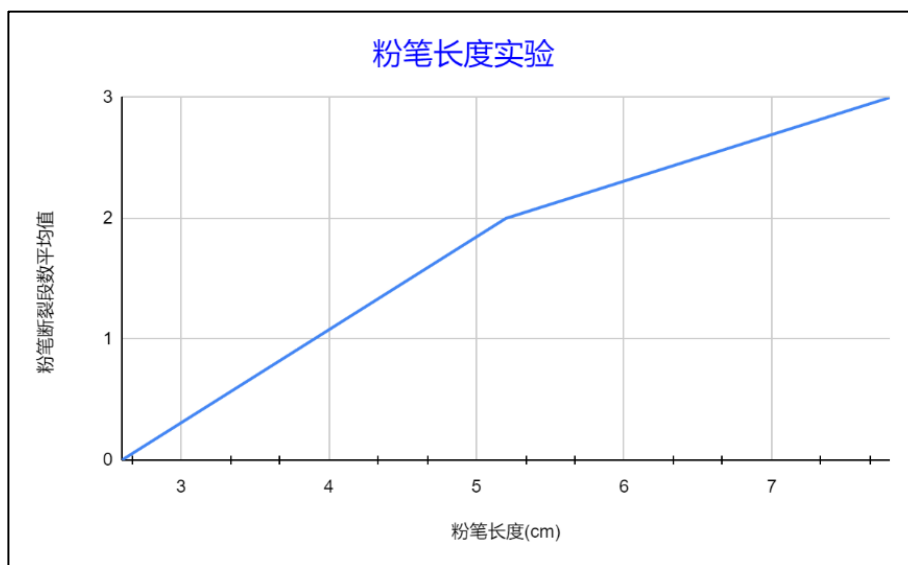
4. 觀察實驗結果，記錄粉筆斷裂的段數。

實驗照片：



實驗數據：

	粉筆斷裂段數 (个)					
粉筆长度(cm)	實驗 1	實驗 2	實驗 3	實驗 4	實驗 5	平均值
2.6	0	0	0	0	0	0
5.2	2	2	2	2	2	2
7.8	3	3	3	3	3	3



分析：當粉筆長度小過一定值時，粉筆掉落不會斷裂，而粉筆長度越大，所能形成的斷裂段數越多，同一長度的粉筆掉落所產生的斷裂段數相同。

(4) 所觸地面的光滑程度

- 1.準備材料/器材：10 支相同的粉筆、刀片、卷尺、貼紙、能錄製的手機。
- 2.用卷尺在牆上標記 40cm，並黏貼子標記、架設好手機。
- 3.從 40cm 處投放粉筆，分別使其落在平滑和粗糙的地面上，並重復五次。
- 4.觀察實驗結果，記錄粉筆斷裂的段數。

實驗照片：



實驗數據：

所觸地面	粉筆斷裂段數 (个)					平均值
	實驗 1	實驗 2	實驗 3	實驗 4	實驗 5	
平滑	3	3	3	2	3	2.8
粗糙	0	2	2	2	2	1.8

分析：數據顯示，當粉筆在平滑地面上一般斷裂成 3 段，在粗糙地面斷裂段數減少，一般為 2 段。這是因為粗糙地面上的較大的凸起減小了粉筆與地面的接觸。

實驗 (二)

背景：如圖，觀察部分斷裂之粉筆，可發現若粉筆斷裂的段數相同，其斷裂段的長度都很接近。當粉筆斷裂成三段，其中兩段較短且長度接近，另一段較長，且其長度接近於粉筆斷裂成兩段時較短的一段。由此可知，粉筆斷裂的位點存在某種關係。聯系所學振動產生的波節波腹位點，設計實驗驗證斷裂位點是否與此有關。因粉筆較粗，故使用較細的粉筆進行實驗。

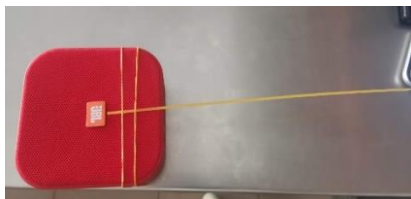


實驗步驟：

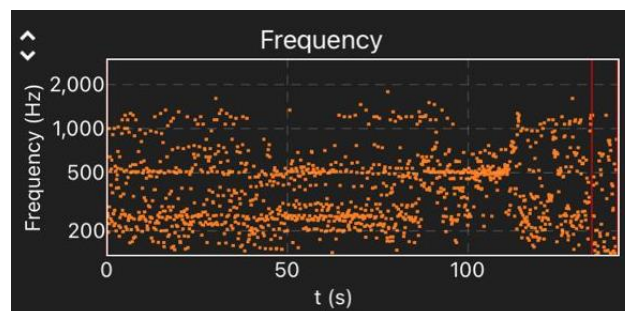
小實驗 (1)：

1. 將意大利面一端用橡皮筋綁在音響上，在後方擺放一張標記好意大利面位點的紙張。
2. 播放音樂《Phonky Tribu》。
3. 架設相機進行拍攝，觀察意大利面是否振動。
4. 在意大利面振動的同時，測量該音樂的頻率大小。

實驗照片：



實驗數據：



意大利面產生振動，但會相隔一小段時間 (約 0.5s) 振動一次，振幅最大為 0.6cm，波節位置為 6.4cm。檢測音頻頻率，大多在 200-250 Hz 以及 490-510 Hz。

小實驗 (2) :

1. 將意大利面從固定的高度水平且無初速掉落。
2. 觀察意大利面掉落後斷裂的段數。
3. 測量意大利面斷裂位點的長度

实验数据 :

次數	斷裂段數	斷裂段的長度 (cm)
1	3	18.4 · 5.3 · 2.1
2	3	18.8 · 3.7 · 3.0
3	3	18.9 · 3.6 · 2.8
4	2	19.4 · 4.8
5	2	20.1 · 5.4

實驗二分析 :

取小實驗 (2) 數據觀察可得，第 1、4 和 5 次掉落後的斷裂長度個別一段都較為接近，同理可得意大利面存在一定的斷裂位點。

第 2 次和第 3 次掉落後斷裂段中較小的兩段長度之和分別為 6.7cm 和 6.4cm，接近於所測出的波節位置，因此可知意大利面斷裂位置應在波節位置附近。由意大利面較多斷裂成三段可得出意大利面存在較小的共振頻率，即存在第二個波節位置。

五、結論與生活應用

結論：脆性物體掉落後的斷裂段數主要受為落地高度、角度、自身長度以及所觸表面的光滑程度影响。其中斷裂段數與落地高度與長度成正比；落地角度為 0°時一定發生斷裂，其他角度則斷裂可能性降低；落地接觸的表面若較粗糙，則斷裂的段數越少。脆性物體掉落後斷裂的位點與其段數為其共振後的波節位置附近，且其斷裂段數與波節個數相近。據此，可由機械波對脆性材料的影響推出脆性材料斷裂後的斷裂位點和段數。

生活應用：可通過控制影響斷裂的因素，減少脆性材料斷裂的可能。也可通過找尋脆性材料斷裂位點，將該位點加以保護，可大程度地避免脆性材料的斷裂。確定波節個數也能在斷裂後確定斷裂段數。例如，在粉筆的斷裂位點裝上固定器，可避免因觸及粉筆斷裂位點而導致它輕易斷裂。

參考資料

1. https://www.researchgate.net/publication/279940357_Why_Chalk_Breaks_into_Three
2. 陝西科技大學學報 2017 年第五期正文第 189 頁機械波對脆性斷裂的作用
3. https://www.usna.edu/NAOE/files/documents/Courses/EN380/Course_Notes/Ch11
4. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734743X04001137>