

當金屬棒 PQ 受 M 的重量而拉動，並切割 (cuts across) 磁場

B。PQ 的兩端產生感生電壓 (induced emf)，連接金屬路軌的燈泡會因此發亮。路軌的摩擦可以忽略。

問題：若把磁場增強，燈泡在最後會比之前

- A. 亮一些
- B. 暗一些
- C. 一樣光亮？

* 電磁感應告訴我們當金屬棒切割磁場時產生的電動勢

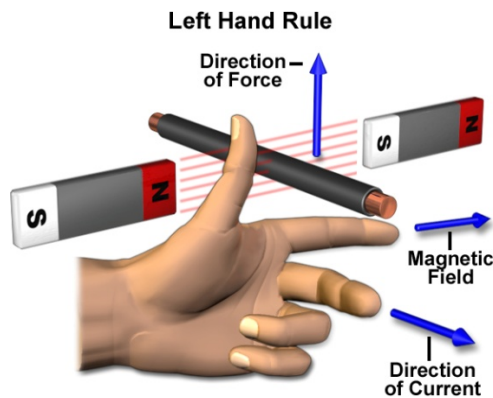
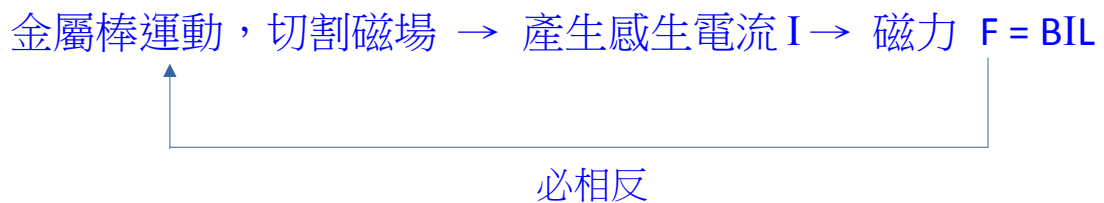
$$\varepsilon \propto B$$

所在當 B 增強， ε 大了，燈泡就應該更亮明。

* 但是，除了 B ， ε 也是與金屬棒的移動快慢有關。

當金屬棒切割強磁場，產生感生電壓，繼而產生感生電流（電路閉合）。

感生電流，連同已存在的磁場，再產生磁力（弗林明左手定則）。



根據楞次定律 (Lenz's law)，如此產生的磁力必與金屬棒的原運動方向相反。

這樣，增強的磁場會令反方向的磁力增強，這反而令

金屬棒在強磁場之下更難被拖移動。

究竟以下那個說法才是最有「道理」？

- (1) 若沒有磁場 ($B = 0$)，那根本就不會發生電磁感應。所以磁場 B 愈強，電磁感應就會愈強。
- (2) 磁力增強，反而令金屬棒更難被拖移動，這不利金屬棒去切割磁場去產生感生電流。

如果以本題來說一金屬棒受固定的力作用，而是問最後的感生電流，那答案是 (2)。



分析：

- * 金屬棒 PQ 受二力作用，一是 M 的重量 Mg ，二是與運動相反的磁力 ($F=BIL$) 作用。所以牛頓第二定律，

$$Ma = M \text{ 的重量} - \text{磁力。}$$

- * 最初，金屬棒 PQ 的速度很慢，所以磁力也很弱。那時 PQ 的淨力仍然向前 (因為 M 的重量 $>$ 磁力)，所以 PQ 可加速。即是說，在初段，PQ 的速度仍可增加。
- * 隨著速度增加，磁力也會隨之增大。最後就會出現 " M 的重量 = 磁力"，那時 PQ 不再加速，PQ 只可以一勻速移動。
- * 最後，當金屬棒達至勻速 (這謂之“終端速度”)，淨力為零。

$$Mg = BIL$$

根據上式，當 B 增強，感生電流 I 就會減少 (Mg 和 L 均是常數)。電流 I 減弱，燈泡就變得暗了！

* 除了用「力」，我們也可以考慮能量來得出結論。

因為磁力對電荷不作功，所以燈泡消耗的能量全來自 M 的位能損失。

$$Mgv = \text{燈泡功率}$$

磁場強了，相反的磁力也會增大，所以金屬棒更難加速。最終金屬棒只能
之一個更慢的勻速前進。

Mg 不變， v (即“終端速度”) 減少。所以，燈泡的功率因磁場增強而下降。
燈泡功率下降，即是燈泡暗了。

* 本題答案是 (B) 「暗一些」。



討論：

- * 上述這個答案“磁場增強，燈泡變暗”只適合本題，即是金屬棒 PQ 是以一固定的外力拉動。這裏，這個固定的外力是 Mg 。
- * 或會這樣反問：“難道磁場越弱，燈泡越光”？是的，因為我們是問燈泡在最後穩定狀態（金屬棒達到勻速）的亮度。若果磁場越弱，金屬棒就可以一直加速至一個很高的速度，那時金屬棒就可以很快的切割磁場，製造出一個大的感生電流。不要忘記，本題的結論“磁場增強，燈泡變暗”，只適合“金屬棒受一固定的力作用”這一條件。
- * 若把問題更改為“磁場增強，但金屬棒仍以之前之相同速度來切割磁場”，那答案當然是“磁場越強，燈泡越光亮”。因為

磁場增強，速度相同 \Rightarrow 外力也順應增加以抵消增大的磁力。

這與本題有着根本的分別。



吳老師 (Chiu-king Ng)

<https://ngsir.netfirms.com>

<http://phy.hk>

電郵：feedbackWZ@phy.hk 其中 WZ 是 23 之後的質數