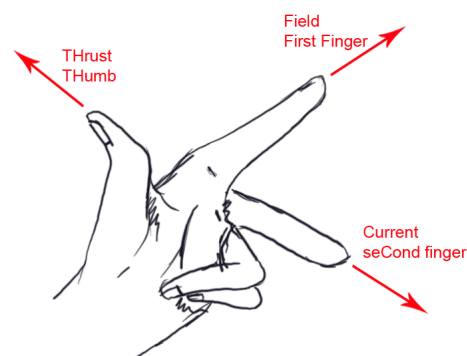


### 3.3. 在磁場中的載電流導體 (Current-carrying Conductor in a Magnetic Field)

#### 3.3.1. 檢測載流導體在磁場中會受到力的作用，並測定力、磁場與電流的相對方向 (Examining the Existence of a Force on a Current-Carrying Conductor in a Magnetic Field and Determining the Relative Directions of Force, Field and Current)

- I 首先，我諗大家都會知道兩塊磁石放埋一齊，佢哋一係就互相吸引，一係就會互相排斥。
    - n 有咁嘅現象係因為兩塊磁石嘅磁場會互相影響而產力作用力。
  - I 前面提過一個載電流導體係會產生磁場嘅。
    - n 基於同一個原理，如果一個載電流導體本身係喺一個磁場入面，咁產生出嚟嘅磁場會同原有嘅磁場互相影響。
    - n 因此，載電流導體喺磁場入面係會受到力的作用。
  - I 而作用喺載電流導體嘅力、磁場同電流嘅相對方就可以用“弗林明左手定則” (Fleming's Left Hand Rule) 嚟定決。
    - n 弗林明左手定則又稱為“電動機定則”。
  - I 求載電流導體喺磁場入面通電時所受嘅力嘅方向嘅方法如下：
    - n 先把左手拇指、食指同中指伸直且互相垂直
    - n 轉動手腕使“中指嘅方向同電流  $I$  方向一致”
    - n 轉動手腕使“食指嘅方向同磁場  $B$  方向一致”
    - n 最終拇指嘅方向就係載電流導體受力  $F$  嘅方向
- 2 如果想容易記得三隻手指所代表嘅嘢別，可以試吓記美國聯邦調查局嘅簡稱“F.B.I.”。



#### 3.3.2. 測定影響直載流導線在磁場中所受的力的因素，並以 $F = BIL\sin\theta$ 表達它所受的力 (Determining the Factors Affecting the Force on a Straight Current-Carrying Wire in a Magnetic Field and Representing the Force by $F = BIL\sin\theta$ )

- I 直載流導線喺磁場入面所受嘅力嘅方向會受到以下因素影響：
  - n 電流嘅方向
  - n 磁場嘅方向
    - u 因為咁，所以如果電流或者磁場其中一個逆轉（即變做同原本相反），導體所受嘅力嘅方向都會逆轉。
- I 而如果要加強直載流導線喺磁場入面所受嘅作用力，我哋可以用以下嘅方法：
  - n 加大電流
  - n 加強磁場（例如改用更強力嘅磁鐵）
  - n 放更多電流導體喺磁場入面（對摩打嚟講就即係“增加線圈匝數”）
  - n 確保導線同磁場嘅方向係互相垂直嘅

- l 根據前面“加強直載流導線嘅磁場入面所受嘅作用力”嘅方法，我哋可以推論出直載流導線嘅磁場入面所受嘅作用力  $F$  嘅可以用以下公式嚟表達：

$$F = BIL\sin\theta$$

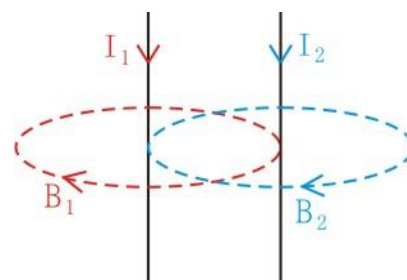
- n 當中  $B$  = 磁場，  
 $l$  = 電流，  
 $L$  = 位於磁場內直載流導線嘅長線，  
 $\theta$  = 磁場與電流方向的夾角

### 3.3.3. 以兩條載流長直平行導線間的力定義安培 (Defining Ampere in terms of the Force between Currents in Long Straight Parallel Wires)

- 2 喺“2.1.1 定義電流為電荷的流動率”入面我哋已經教過電流係電荷嘅流動。而  $1A = 1Cs^{-1}$ 。  
 n 其實以上“ $1A = 1Cs^{-1}$ ”只係一個理論（因為我哋好難數到有幾多電荷經過）。  
 n 而喺依節度，我哋會學安培嘅另一個定義。

- l 考慮右圖中兩條相隔  $r$  嘅載流長直平行導線，

- n 每條導線中流經嘅電流  $I$  會產生磁場。  
 磁場嘅方向可以用“右手握拳定則”嚟定出。  
 u 而產生出嚟嘅磁場會影響到另一條載流導線。  
 n 根據“弗林明左手定則”，  
 u 考慮左邊嘅導線，紅色  $I$  和藍色  $B$  產生出嚟嘅作用力  $F$  係向右嘅；  
 u 而對右邊嘅導線，藍色  $I$  和紅色  $B$  產生出嚟嘅作用力  $F$  係向左嘅；  
 u 因此兩條導線會互相吸引。  
 n  $F$  嘅值可以用以下方式求得：



- u 因  $I_1$  產生出嚟、作用於右邊導線嘅  $B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$   
 u  $B_1$  同  $I_2$  嘅夾角喺  $90$  度。  
 u 因此根據公式  $F = BIL\sin\theta$ ，

$$F = (B_1)(I_2)L \sin 90^\circ = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi r}$$

- l 利用以上兩條載流長直平行導線間的力，科學家對安培有以下嘅另一個定義：  
 n 當兩條無限長嘅載流長直平行導線於真空中相隔  $1$  米，而它們之間每單位長度嘅吸引力係  $2 \times 10^{-7}$  嘅時候，當中流經嘅電流就是  $1$  安培了。

### 3.3.4. 測定載流線圈在磁場中的轉動效應 (Determining the Turning Effect on a Current-Carrying Coil in a Magnetic Field)

- I 喺度所講嘅線圈因為係預咗用嘅“摩打”度，所以形狀唔係圓形，而係長方形嘅
- I 當電流喺右邊嘅線圈流通嘅時候，

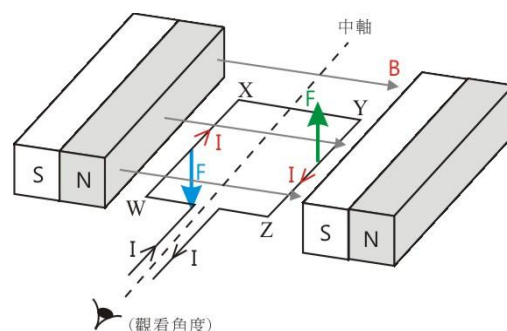
- n 對於線圈“前後”兩邊嘅導線嚟講（即 XY 及 WZ 方向嘅導線），電流同磁場嘅方向係平行嘅。

- u 喺咁嘅情形之下係唔會有作用力產生嘅！

- n 對於線圈“左右”兩邊嘅導線嚟講，電流嘅相方係相反而且同磁場垂直嘅。

- u 根據“弗林明左手定則”，我哋可以定出產生出嚟嘅力嘅方向（即右圖中綠色及藍色嘅力 F）。

- u 依對方向相反嘅力就會令到線圈轉動。



- I 既然個線圈會轉，我哋當然要睇吓佢轉嘅力度有幾大。
- n 而要形容轉嘅力度，我哋就要用嘅“2.6 力矩”入面學嘅“轉矩”。

- I 我哋先根據右上方線圈嘅立體圖中嘅觀看角度畫一幅橫切面圖。

- n 每一個 F 作用於中軸上嘅力矩  
= 力 x (力與支點嘅垂直距離)  
=  $F [(a/2) \sin\theta] = F a \sin\theta / 2$

- n 因為線圈每邊有一個 F，所以作用於中軸上嘅轉矩 (Torque) =  $2 \times F a \sin\theta / 2 = F a \sin\theta$

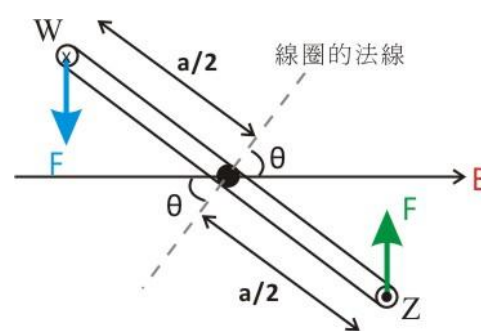
- n 如果線圈嘅邊長（即 WX）係 b，而電流係 I、磁場係 B，咁根據前面 3.3.2 所學嘅嘢，  
 $F = B I b$

- n 而如果線圈嘅匝數係 N，咁作用於中軸上嘅轉矩

$$\tau = N(B I b) a \sin\theta = N I a b B \sin\theta$$

$$\tau = N I A B \sin\theta$$

（當中 A 為線圈嘅面積 ab）



- I 根據以上搵到嘅公式，如果我哋想增加線圈嘅轉動效應，我哋可以：

- n 增加線圈嘅匝數 (N)

- n 增加電流 (I)

- n 增加線圈嘅面積 (A)

- n 增加磁場嘅強度 (B)

- 2 留意  $\theta$  係會隨住線圈嘅轉動而不停咁改變。

### 3.3.5. 描述簡單直流電動機的結構和它如何運作 (Describing the Structure of a Simple D.C. Motor and How it Works)

- 2 基本上“直流電動機的運作原理”同前面提到嘅“載電流線圈在磁場中所受到的轉動效應”大同小異。
  - l 先想像電流喺線圈中嘅平面以順時鐘方向流動。
    - n 因磁場而產生的作用力使線圈順時鐘轉。
    - n 當線圈轉咗半個圈後，電流便會變成在線圈中的平面以逆時鐘方向流動。
      - u 因電流逆轉，所以作用力亦會逆轉，使線圈逆時鐘轉。
      - u 喺我哋依個想像之下，線圈一時順時鐘轉、一時逆時鐘轉。現實嘅結果就係線圈最終會停係垂直嘅位置度而不會轉動。
        - 2 當線圈位垂直嘅時候， $\theta$  等於 0，所以作用於中軸上嘅轉矩都係等於 0。
  - l 要令線圈不停係咁以同一個方向轉動，我哋要做嘅就係令到電流永遠喺線圈入面都係以同一個方向流動。(注意：所謂嘅“同一個方向”係指我哋從外面睇到嘅電流流動方向。)
  - l 而喺直流電動機入面，“令到電流永遠係線圈入面都係以同一個方向流動”嘅就係“換向器”(commutator)。
    - n 有咗換向器，直流電動機就唔可以運作。
- 2 有關直流電動機嘅圖嘅圖大家請睇返課本或參考書。
- 2 大家亦可以到以下網頁睇吓直流電動機運作時嘅動畫：  
[http://home.phy.ntnu.edu.tw/~haha90/content/TeachAnime/Teach\\_content/DC\\_motor/dcmotor.html](http://home.phy.ntnu.edu.tw/~haha90/content/TeachAnime/Teach_content/DC_motor/dcmotor.html)

### 3.3.6. 解決有關處於磁場中的載流導體問題

- l 其實前面已經講過幾個有關處於磁場中的載流導體嘅問題。
- l 當中最重要嘅公式係計算載流導體所受嘅作用力，即
 
$$F = BIL\sin\theta$$