

嘉義市第 38 屆中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：物理科

組 別：國中組

作品名稱：暗藏「旋」機 — 旋風存錢筒的秘密

關 鍵 詞：存錢筒、硬幣

編 號：

摘要

Vortex Bank (旋風存錢筒)、Spiral Wishing Well(螺旋許願池)在國外已流行多年，甚至在東京的成田航空科學博物館也有代表著克卜勒定律的螺旋丸募款箱，但少有人認真去探究它的原理，都只是投錢、捐錢就罷了。我們將硬幣投入加速軌道，使它自然滾落，並測量求出滾動的時間。結果發現各種硬幣的旋轉時間差異不大，但並非沒有規律——硬幣直徑和質量與硬幣旋轉時間成中度正相關，而硬幣和水平線夾角則和硬幣旋轉時間成明顯負相關，因此我們推測硬幣(和水平線夾角)是造成硬幣旋轉時間不同的最大變因。

壹、研究動機

幾年前我曾計畫和家人一同前往日本旅遊，當時滿懷期待的我在事前做了點功課，在別人的部落格上看到了關於「成田航空科學博物館」的「螺旋丸募款箱」的介紹，當時的我立刻著迷，便開始研究。

開始研究後，我發現硬幣會旋轉是因為螺旋軌道造成硬幣滾落，進而由向心力、重力和反作用力等因素造成它旋轉。到了現場，我看到的景象和預料中並無不同，但奇怪的是，硬幣愈重竟然滾得愈久!我便因此決定回國後要去做實驗驗證。

由於不可能將「螺旋丸募款箱」搬來做實驗，正在煩惱該用甚麼來做實驗時，我們找到了抖音上超熱門且與「螺旋丸募款箱」雷同的「旋風存錢筒 Vortex Bank」來進行實驗。儘管我們無法藉此探討克卜勒定律，只能探討神秘滾動軌跡中的秘密，但求知慾旺盛的我們壓抑不住慾望，還是開始了研究。

貳、研究目的

- 一、探討不同硬幣質量對硬幣滾動時間的影響。
- 二、探討不同硬幣直徑對硬幣滾動時間的影響。
- 三、探討不同硬幣直徑和質量對應幣傾斜角度的影響。
- 四、探討不同硬幣傾斜角度(和水平線夾角)與硬幣滾動時間的影響。
- 五、證明硬幣傾斜角度是旋轉時間不同的主因。

參、研究設備及器材

一、各面額日幣與台幣

圖片					
名稱	新臺幣 50 元	新臺幣 10 元	新臺幣 10 元	新臺幣 5 元	新臺幣 1 元
材質	銅鎳鋁合金	銅鎳合金	銅鎳合金	銅鎳合金	銅鎳鋁合金
直徑	28 毫米	26 毫米	26 毫米	22 毫米	20 毫米
重量	10 公克	7.5 公克	7.5 公克	4.4 公克	3.8 公克
圖片					
名稱	100 円	50 円	10 円	5 円	1 円
材質	白銅合金 (銅 75%) (鎳 25%)	白銅合金 (銅 75%) (鎳 25%)	青銅合金 (銅 95%) (鋅 4-3%) (錫 1-2%)	黃銅合金 (銅 60-70%) (鋅 40-30%)	純鋁
直徑	22.6 毫米	21 毫米	23.5 毫米	22 毫米	20 毫米
孔徑		4 毫米		5 毫米	
重量	4.8 克	4 克	4.5 克	3.75 克	1 克

二、旋風存錢筒(左下)



三、錄影設備(iPad Mini 5) (右上)

四、MacBook Air(使用 iMovie 軟體)

五、PhotoImpact(用於繪製計算傾斜角度時使用的三角形)

肆、研究過程及方法

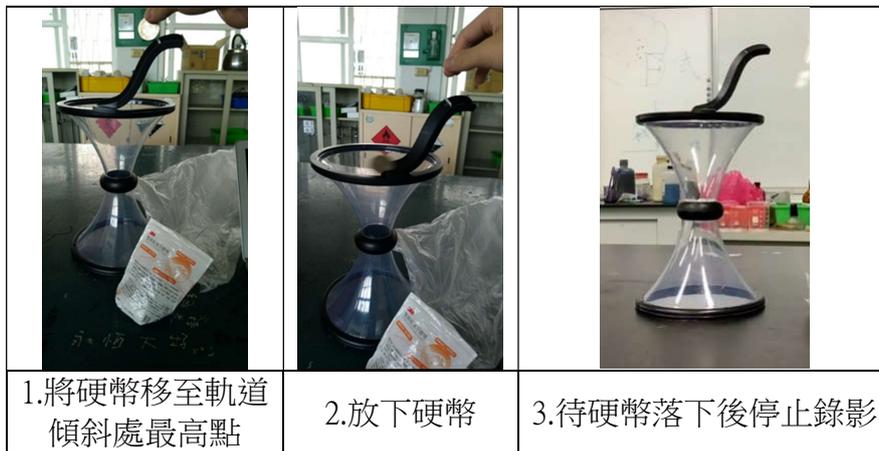
一、測量不同硬幣與其旋轉時間的關係:

(一)實地操作

- 1.擺設好攝影機。
- 2.開啟慢動作影片錄影。
- 3.將硬幣移至軌道傾斜處最高點。
- 4.放下硬幣。
- 5.待硬幣落下後停止錄影。
- 6.重複步驟 2-5 十次。
- 7.每種硬幣操作完整步驟各一次。

(二)電腦處理

- 1.使用 Mac OS 「iMovie」軟體。
- 2.以影格為單位快轉、判定開始、結束時間，增加精確度。
- 3.將速度調整為 1%彌補時間顯示單位僅至秒。
- 4.「開始」判定方式以硬幣中心對到軌道尾端為基準。
- 5.「結束」判定方式以硬幣恰碰到頸部黑環為準。
- 6.將開始、結束時間相減，並除以 100 求實際時間。



(三)硬幣相關資訊取得

- 1.直徑重量等資料自中央造幣廠及日本造幣局取得。
- 2.硬幣和法線夾角計算方式
 - (1)自錄影檔中擷取硬幣滾動至中點時的影像。
 - (2)將圖片放大 500%以增加畫線精確度。
 - (3)沿著硬幣會製斜直線。
 - (4)繪出過斜直線兩端點之鉛直線與水平線。
 - (5)計算鉛直線與水平線的長度(單位:像素)。
 - (6)用 $\frac{\text{鉛直線長度}}{\text{水平線長度}}$ 求出 $\tan\theta$ 的值。
 - (7)再利用 Excel 的 $\text{atan}()$ 函數求出傾斜角度的弧度並換算成角度。

伍、研究結果

一、實驗表格紀錄說明(見下表)

	NT\$n	NT\$n	總和
第 n 次	開始時間(秒)	結束時間(秒)	旋轉時間(秒)

二、實驗表格紀錄(見下表)

	NT\$1			NT\$5		
	開始	結束	總和	開始	結束	總和
第1次	48.00	24.00	36.00	00.00	24.00	24.00
第2次	24.00	00.00	36.00	36.00	12.00	36.00
第3次	48.00	24.00	36.00	24.00	24.00	00.00
第4次	48.00	24.00	36.00	12.00	36.00	24.00
第5次	24.00	48.00	24.00	36.00	48.00	12.00
第6次	48.00	24.00	36.00	12.00	36.00	24.00
第7次	00.00	48.00	48.00	00.00	00.00	00.00
第8次	12.00	48.00	36.00	36.00	12.00	36.00
第9次	24.00	12.00	48.00	36.00	00.00	24.00
第10次	48.00	12.00	24.00	00.00	48.00	48.00
平均值			48.00			52.80
	NT\$10(舊)			NT\$10(新)		
	開始	結束	總和	開始	結束	總和
第1次	24.00	36.00	12.00	00.00	24.00	24.00
第2次	00.00	24.00	24.00	12.00	12.00	00.00
第3次	00.00	00.00	00.00	36.00	36.00	00.00
第4次	00.00	00.00	00.00	24.00	24.00	00.00
第5次	24.00	00.00	36.00	48.00	36.00	48.00
第6次	36.00	36.00	00.00	00.00	24.00	24.00
第7次	12.00	36.00	24.00	48.00	24.00	36.00
第8次	36.00	00.00	24.00	36.00	12.00	36.00
第9次	00.00	48.00	48.00	12.00	00.00	48.00
第10次	12.00	12.00	00.00	24.00	24.00	00.00
平均值			40.80			45.60
	NT\$50			¥1		
	開始	結束	總和	開始	結束	總和
第1次	01.13	08.15	07.02	00.72	06.37	05.65
第2次	00.47	06.94	06.47	00.22	06.01	05.79
第3次	00.33	05.98	05.65	00.45	06.33	05.88
第4次	00.54	07.06	06.52	00.23	05.90	05.67
第5次	00.60	08.57	07.97	00.22	06.24	06.02
第6次	00.33	08.09	07.76	00.81	06.85	06.04
第7次	00.16	08.34	08.18	01.31	07.50	06.19
第8次	00.41	06.89	06.48	00.83	03.63	02.80
第9次	00.26	06.81	06.55	00.38	05.69	05.31
第10次	01.15	08.18	07.03	00.06	05.64	05.58
平均值			06.96			05.49

	¥5			¥10		
	開始	結束	總和	開始	結束	總和
第1次	00.25	06.83	06.58	01.04	07.81	06.77
第2次	00.52	07.19	06.67	00.15	06.70	06.55
第3次	00.36	06.60	06.24	00.37	07.62	07.25
第4次	00.70	07.59	06.89	00.32	07.56	07.24
第5次	00.20	06.66	06.46	00.14	08.32	08.18
第6次	00.23	07.07	06.84	00.15	06.80	06.65
第7次	00.16	07.01	06.85	00.16	07.12	06.96
第8次	00.40	07.04	06.64	00.46	07.96	07.50
第9次	00.42	07.17	06.75	00.56	07.31	06.75
第10次	00.28	07.15	06.87	00.46	07.38	06.92
平均值			06.68			07.08
	¥50			¥100		
	開始	結束	總和	開始	結束	總和
第1次	00.26	06.80	06.54	00.62	07.00	06.38
第2次	00.49	07.22	06.73	00.27	06.96	06.69
第3次	00.34	06.64	06.30	00.27	06.29	06.02
第4次	00.70	07.66	06.96	01.53	07.94	06.41
第5次	00.21	06.67	06.46	00.16	06.71	06.55
第6次	00.21	07.08	06.87	00.31	06.83	06.52
第7次	00.13	06.97	06.84	00.38	06.94	06.56
第8次	00.39	07.07	06.68	01.35	08.11	06.76
第9次	00.41	07.13	06.72	00.36	07.00	06.64
第10次	00.28	07.05	06.77	01.07	07.79	06.72
平均值			06.69			06.52

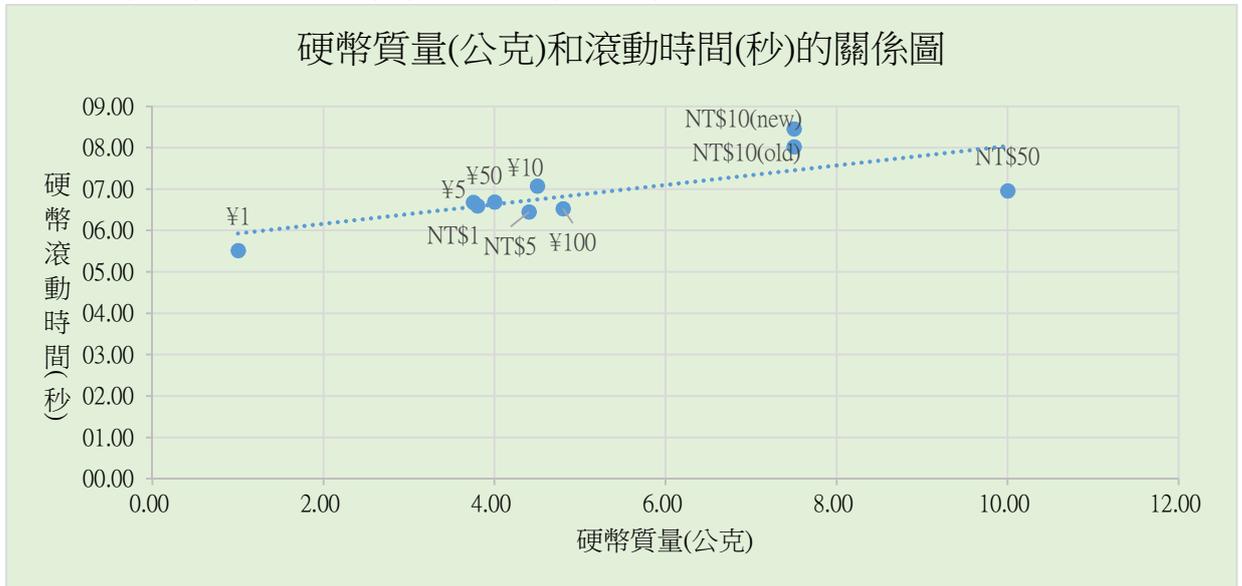
三、硬幣滾動至中點時硬幣和水平線的夾角(見下表)

	垂直長度(像素)	水平長度(像素)	tan	atan	角度
NT\$1	11	18	0.611111	0.548549	31.42957
NT\$5	10	20	0.5	0.463648	26.56505
NT\$10(新)	11	28	0.392857	0.374334	21.44774
NT\$10(舊)	8	18	0.444444	0.418224	23.96249
NT\$50	12	26	0.461538	0.432408	24.77514
¥1	12	25	0.48	0.44752	25.64101
¥5	8	19	0.421053	0.398522	22.83365
¥10	11	24	0.458333	0.429762	24.62356
¥50	9	17	0.529412	0.486899	27.89727
¥100	14	25	0.56	0.510488	29.24883

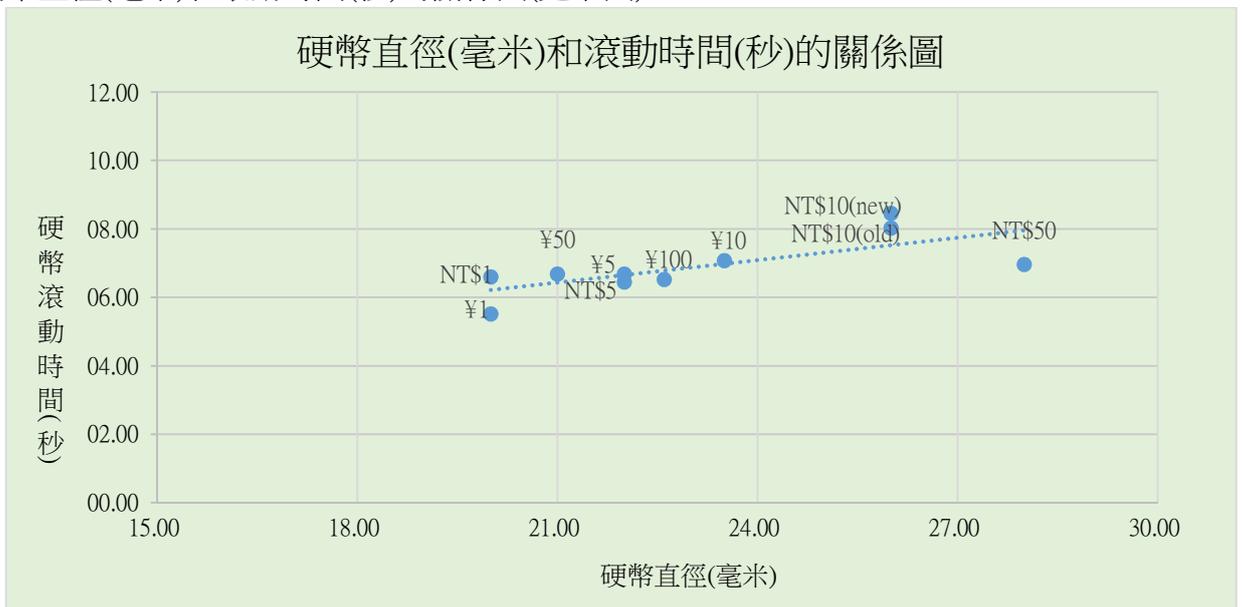
四、硬幣傾斜角度(度)與滾動時間(秒)的關係圖(見下圖)



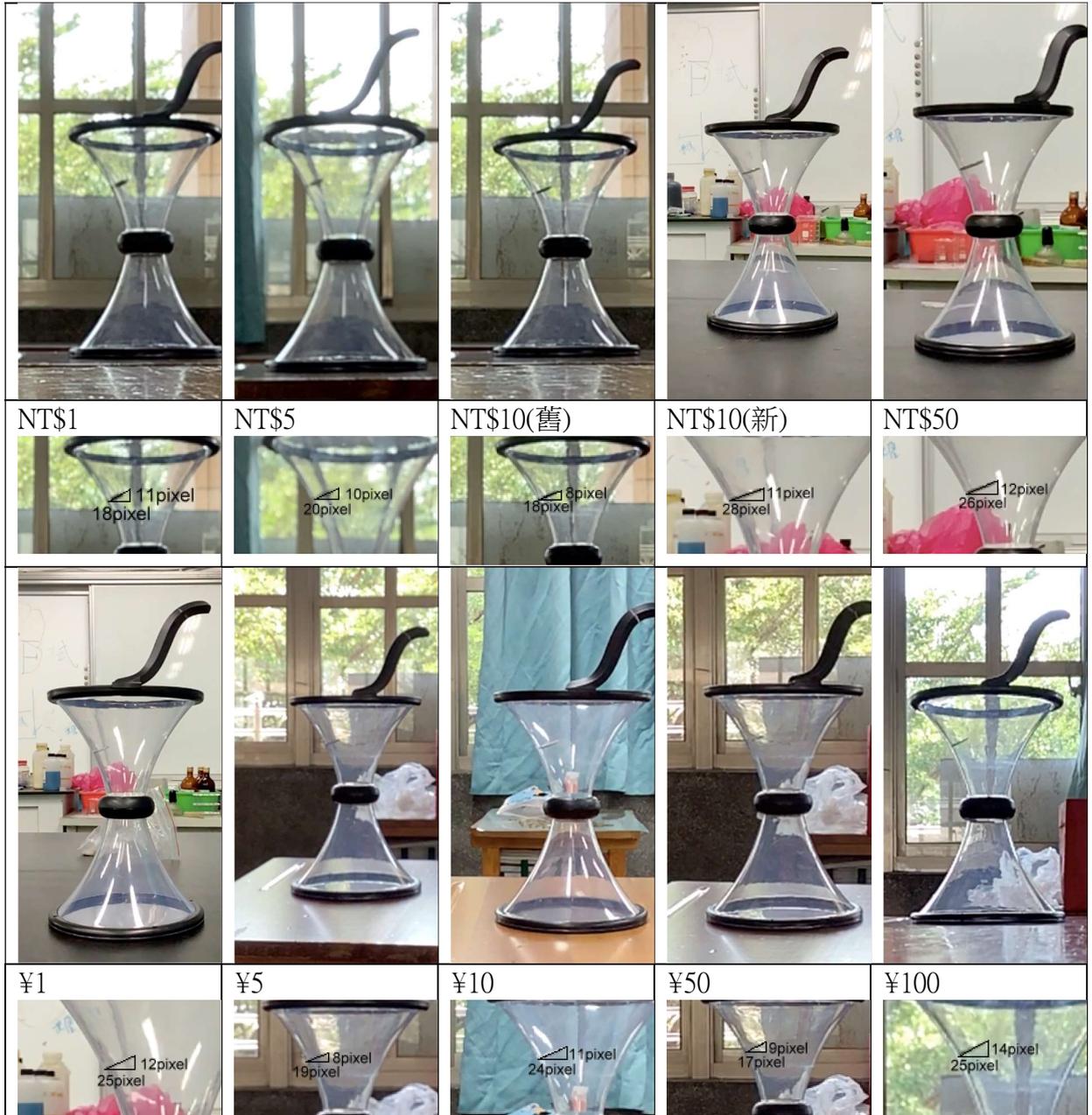
五、硬幣質量(公克)和滾動時間(秒)的關係圖(見下圖)



六、硬幣直徑(毫米)和滾動時間(秒)的關係圖(見下圖)



七、硬幣傾斜角度關係圖鑑(見下圖)



陸、討論

一、原先假設

(一)資料查詢

- 1.螺旋軌道使它快速旋轉產生方向性。
- 2.當硬幣滑落至上半部時便會沿著壁面旋轉。
- 3.由於離心力作用使它旋轉多時才掉落。
- 4.原先推論硬幣愈重，其旋轉時間愈長。

(二)推論

- 1.硬幣質量愈大，傾斜角度愈大。
- 2.硬幣傾斜角度愈大，旋轉時間愈久。
- 3.初始加速度等於 g ， $F = ma$ ， F 比=動能比=重量比=質量比= m 比，故 a 相同。
- 4.故得證不同硬幣順時速率相同。
- 5.故推論硬幣傾斜角度與硬幣旋轉時間有關。

二、實驗過程討論

(一)測量不同硬幣與其旋轉時間的關係

- 1.太重的硬幣容易直接掉落，失敗率高。
- 2.最初手持攝影器材，穩定度不足。
- 3.硬幣滾動起始點難以確立。
- 4.曲折處為真正加速軌道起點，故為硬幣放置點。
- 5.硬幣滾到頸部時會與黑環擦撞以致於掉落的速度不同。
- 6.經觀察發現硬幣愈重，旋轉時的傾斜角度愈大。

(二)電腦處理計時

- 1.難以確立計時開始、結束點。
- 2.以硬幣旋轉部分(上半部)為計時部分較客觀。
- 3.檢測硬幣時開始結束有誤差。
- 4.很難尋找切影格的程式。

三、實驗結果討論

(一)硬幣質量、直徑和硬幣旋轉時間的關係

- 1.大體上硬幣質量和硬幣旋轉時間成正相關
- 2.大體上硬幣直徑和硬幣旋轉時間成正相關

(二)硬幣傾斜角度和硬幣旋轉時間的關係

- 1.硬幣傾斜角度和硬幣旋轉時間成負相關
- 2.硬幣傾斜角度是硬幣旋轉時間不同的主要變因

柒、結論

- 一、硬幣的質量與其旋轉時間成正相關。
- 二、硬幣的直徑與其旋轉時間也成正相關。
- 三、硬幣滾動時的傾斜角度和其旋轉時間成負相關。
- 四、傾斜角度是造成硬幣旋轉時間不同的主因。

捌、參考資料及其他

- 一、中央造幣廠.(無日期). 中央造幣廠流通幣. 擷取自 中央造幣廠:

<https://www.cmc.gov.tw/Product/List/PST01D01>

- 二、造幣局.(日付不明). 造幣局 現在製造している貨幣. 参照先: 独立行政法人 造幣局:

https://www.mint.go.jp/operations/production/production_kahei/operations_coin_presently-minted.html

- 三、轉轉小宇宙.(2007年4月14日). 銅板轉~再轉進洞! 「螺旋丸募款箱」讓人停不了投錢

- 慾望. 取自<https://www.ettoday.net/dalemon/post/25129#ixzz6GfmZpCTM>
- 四、Divnick International Inc. (n.d.). Patents. Retrieved from Spiral Wishing Wells:
<https://www.spiralwishingwells.com/about/patent.html>
- 五、Divnick International Inc. (n.d.). Previous Models. Retrieved from Spiral Wishing Wells:
<https://www.spiralwishingwells.com/about/old.html>
- 六、向心力. (2020, February 29). Retrieved from 维基百科, 自由的百科全书:
<https://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E5%90%91%E5%BF%83%E5%8A%9B&oldid=58389223>