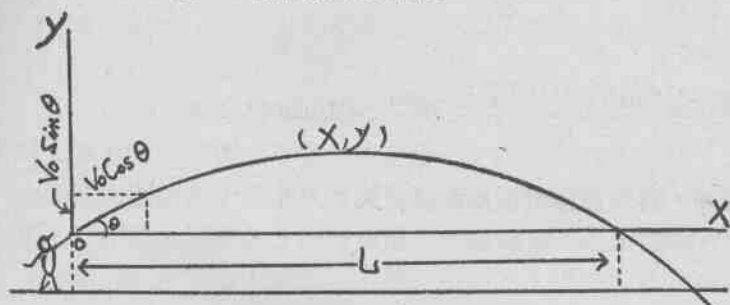


推鉛球的力學分析 方瑞民

作者曾於拙著『運動與肌肉的工作效能』第三章第一節第一段，論及推擲法力學原理時，應用過拋物線運動原理，解釋如何推擲鉛球（原文附後，以供比較）

圖一：推擲物體的拋物線



原文：「推擲法的力學原理：推擲物體，首應考慮被推物的慣性問題。推擲時，以勝過物體本身慣性的力量，把物體在地球引力吸引它到地面，即它落到地面之前，推擲得最遠者為佳。

推擲重物時，為了勝越物體慣性，能予更大的運動量，

必須在物體離手前，將工作距離盡量延長。手臂肩膊的伸屈與全身的用力以及腰部捻轉力，腿部伸展力等因素，對於工作距離的延伸，極有幫助。延長工作距離，還要注意到預備推擲姿勢，要能將持球部位延伸至規定範圍中最後部位，俾便體重盡量後移，以發揮最大的加速動能。

被擲物體離手之前所移動的過程及其方向，直接決定該物體飛逝的方向與角度，因此當在圈內移動時，宜留心鉛球的移動位置，使能令鉛球從預備位置時的靜止狀態，到落地時為止，順着拋物線合理的路線運動。且須留心鉛球離手時順勢推送，以免中途折回不合理方向。如圖一：設使 V_0 為初速度；推擲方向與水平面所成角度為 θ ；推擲原點為 O 。在直角坐標 (X, Y) ，被擲物體的重心所形成的過程為：

$$Y = X \tan \theta - \frac{G}{2V_0^2 \cos^2 \theta} X^2 \quad (\text{公式一})$$

但因空氣的抵抗與物體速度恰成正比，因此，實際上公式一的 Y 等於零。物體所得水平距離該是：

$$L = \frac{2V_0^2 \sin \theta \cos \theta}{G} = \frac{V_0^2 \sin 2\theta}{G} \quad (\text{公式二})$$

如 θ 為四十五度，即 L 等於 $\frac{V_0^2}{G}$ （因為原點 O 為被擲物離手點，該點離地尚有一段距離，因此，實際上水平距離應較演算結果尚多一些）。又因被擲物飛翔時必遭遇空氣阻力，所以推擲角度，還要比四十五度稍小。」（原文完）

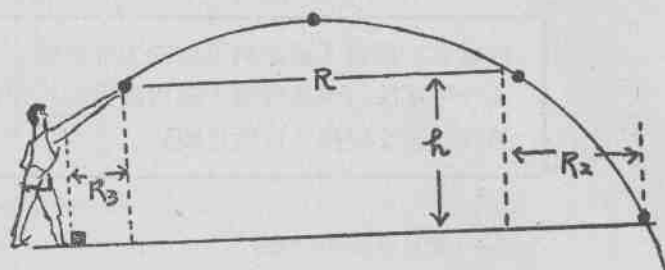
原文中所用公式正確，但缺少了具體的數字及實際的實驗資料。

現在，作者願以美國愛荷華大學亞雷博士 Dr. Louis Alley 講義中所應用之另一套公式

及伊利諾大學丘里頓博士 Dr. T. K. Cureton 所做實驗資料，再次嘗試推鉛球的力學分析。

如圖二，實際上推鉛球時所測得的距離，應加 R_1 及 R_2 。據丘里頓教授電影化研究的結果，美國成人男子的 R_1 為一呎（三〇、五公分）。圖二裡之 R 與圖一裡之 L 相同。 R_1 及 R_2 代表了圖一裡曾經忽略過的一段，應加在全段中計算。所得之新公式如下：

圖二：推鉛球力學分析



$$R + R_1 + R_2 = \frac{V^2 \sin \theta \cos \theta + V \cos \theta \sqrt{V^2 \sin^2 \theta + 2gh}}{g} + 1(\text{foot})$$

表一是由上式計算而得。由表一，可知最遠的推擲距離出現在 θ 是四十度到四十三度之間。理想的投擲角度，並與初速 (V) 成正比。 h 的高度，約為七至七·五呎（二一三·五公分至二二八·七五公分）。

實驗式的計算結果告訴我們，在推鉛球時球離手時之初速需要大，推擲角度需配合各人之初速而選擇之。個人差異的調節，必須適當而切實。

表一：鉛球的投擲角度、速度，及距離的關係

鉛球離手時之角度(θ)	37°	38°	39°	40°	41°	42°	43°	44°
鉛球離手時之速度($V\theta$)								
20 (呎/秒/秒)	18.16(呎)	18.9	18.60	18.00	17.90	17.80	17.70	17.60
22	19.73	20.96	20.89	20.88	20.72	20.70	20.58	19.78
24	23.61	23.98	23.96	23.91	23.84	23.75	23.65	23.58
26		27.23	27.22	27.19	27.12	27.05	26.94	26.81
28		30.71	30.71	30.68	30.64	30.57	30.46	30.34
30		34.40	34.42	34.42	34.39	34.32	34.21	34.09
32		38.31	38.37	38.36	38.34	38.29	38.19	38.07
34		42.45	42.49	42.54	42.35	42.49	42.43	42.24
36		46.44	46.90	46.95	47.28	47.01	46.87	46.70
38		51.47	51.60	51.68	51.72	51.70	51.63	51.59
40		56.24	56.41	56.50	56.57	56.56	56.51	56.40
45					69.60	70.15	69.62	
50					80.1	84.91	84.65	