

# 月亮下的新鮮事

實驗物理的知與行

汪治平

中央研究院原子與分子科學研究所

中央大學物理系

台灣大學物理系

物理實驗的實在哪裡？  
驗又在哪裡？

# 不實也不驗的實驗

照著預定的程序做？



若不符合預定的結果，重做或修改數據？

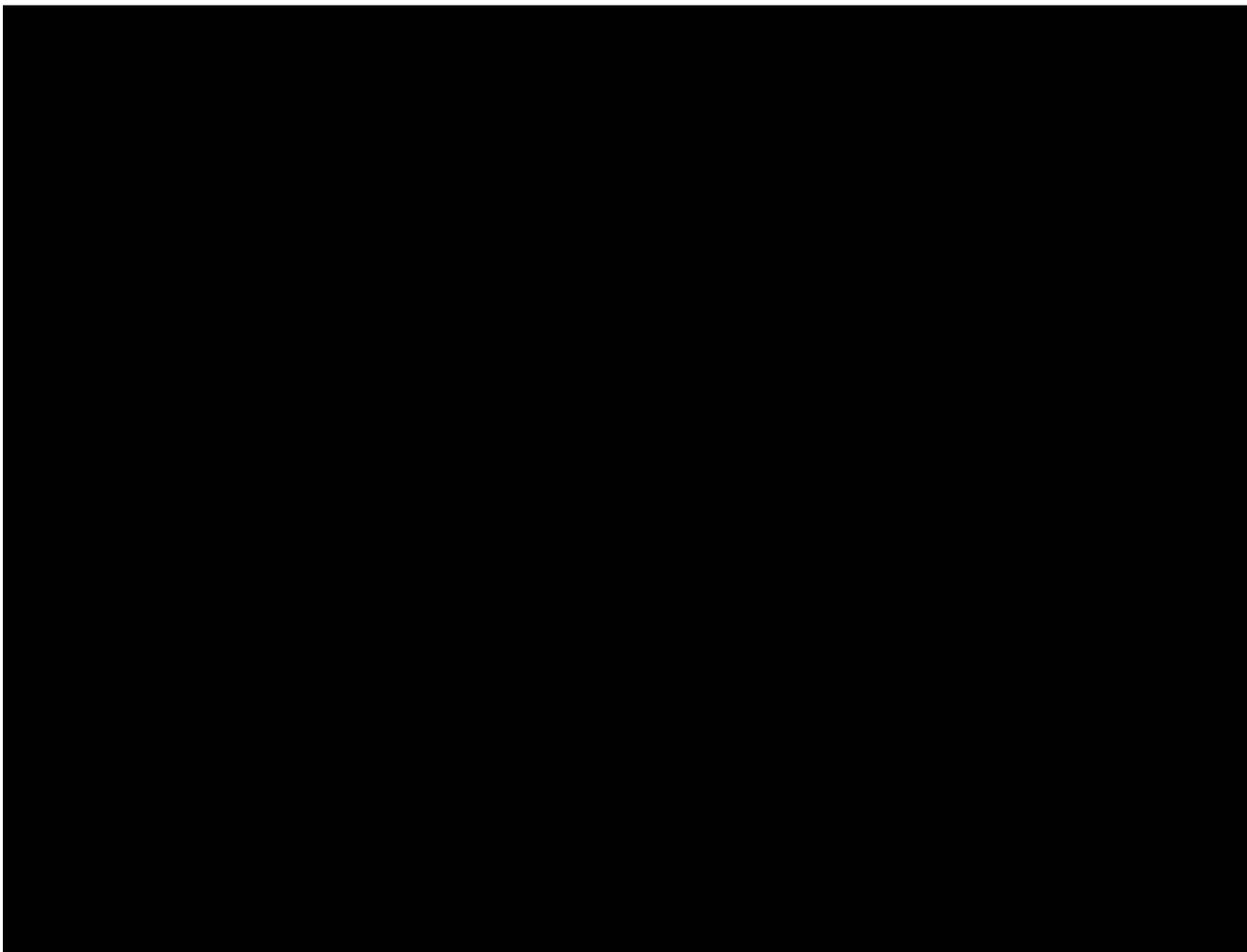


符合預定的結果，就回家？

封裝好的儀器，想追查錯誤原因也無從下手。

不實也不驗，還不如看youtube

隨時觀看，一看再看，只看不摸



# 實驗的精神：what if ..

“what if” 的必要條件

- 自由工作的空間和時間
- 機具和儀器
- 原料和零件
- 動手的能力
- 熱情

# 不會、不敢、不願動手

- 沒有工作的空間
- 沒有機具
- 沒有原料和零件
- 家長認為使用機具很危險
- 對成績沒幫助
- 對於把妹也沒幫助

# 經驗與物理的差距

有人報告老師，說他放在地面上的飲料被人從五樓垂下一根長吸管偷喝光了。老師不相信，為什麼？

答案一：吸管內原本有很多空氣，嘴巴容不下。（多）

答案二：吸管會被吸扁，飲料通不過。（少）

答案三：大氣壓無法把水壓到五樓那麼高。（1~2人）

# 課本也可能誤導



2008年12月13日花蓮

月出：17:42

日沒：17:08

滿潮：18:10

2008年11月28日花蓮

月沒：17:19

日沒：17:05

滿潮：17:59

# 地球的自轉比潮波快很多



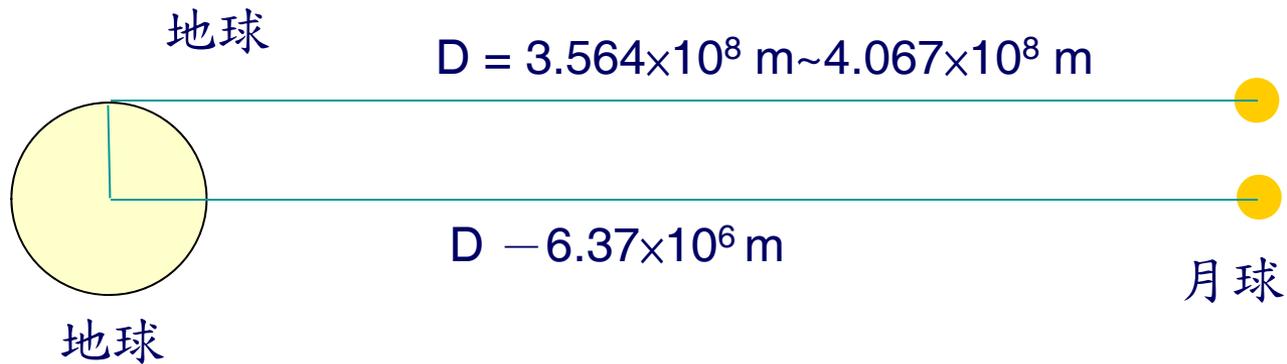
台灣因地球自轉而移動的速度 = 1530 km/hr

潮波傳播的速度  $\sqrt{gD} \approx 360$  km/hr (假設水深為 1000 m)

# 眼睛也可能誤導

月亮初昇時看起來比較大，移到了天頂感覺就比較小，這是賞月時普遍的經驗。請用照相機拍照，比較月亮成像的大小，藉以說明這個經驗是否為錯覺。

# 測量地球到月球的距離



月亮在天頂時其影像比較大!

$6.37 \times 10^6 \div 3.82 \times 10^8 = 1.67\%$   $\longrightarrow$  數位相機可分辨

用高階數位相機測量的結果:  $3.85 \times 10^8 \text{ m}$

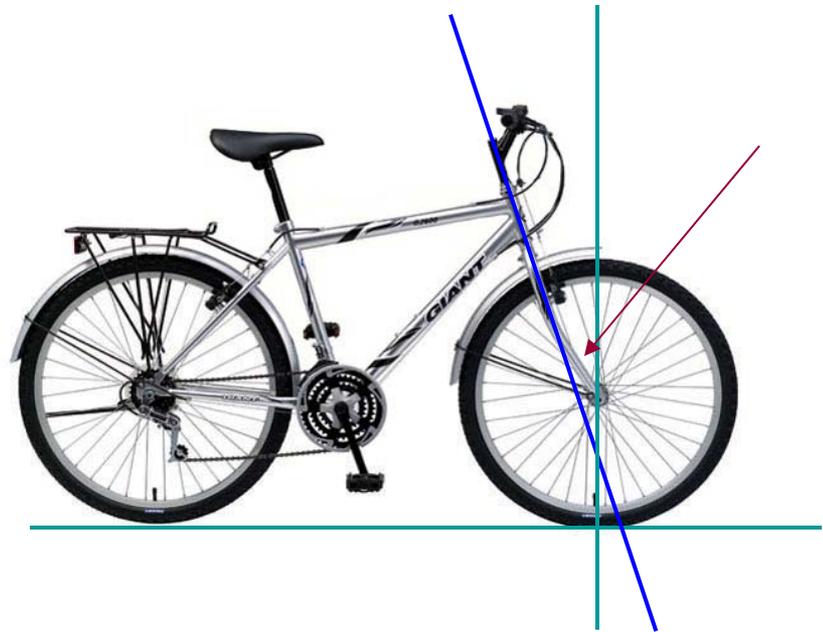
2008/10/14 地月距離:  $3.64 \times 10^8 \text{ m}$

# 每天實驗的神奇交通工具

腳踏車如何保持平衡？

放雙手騎車能夠依照自由意志轉彎嗎？

- 一般腳踏車龍頭的橫桿是裝在龍頭轉動軸的前方，這樣做有何好處？
- 有些腳踏車的前叉略向前彎（紅色箭頭所示），為何這樣做？
- 一般腳踏車龍頭轉動軸的沿線並不通過車輪與地面的交接點，而是落在稍微前面一些（藍線所示）。這樣做有何好處？





龍頭的運作不受角動量的影響



放雙手轉彎



放雙手過小門

# 鞦韆為何可以愈盪愈高？



溜冰為何可以愈轉愈快？



# 沒人整理的東西會愈來愈亂？



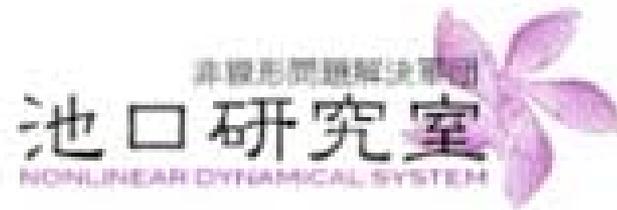
メトロノーム同期 (32個)

Synchronization of thirty two metronomes

2012年09月14日，池口研究室前廊下にて撮影

Filmed at Ikeguchi Laboratory, on September 14, 2012.

# 模式之間的競爭



メトロノーム同期の分岐  
-同相 $\leftrightarrow$ 逆相-

Bifurcation of In-phase and anti-phase  
synchronization of metronomes

2012年9月19日、池口研究室にて撮影  
Filmed at Ikeguchi Laboratory, on September 19, 2012.

# 實驗就是探索

啟發學生探索的精神，

訓練學生探索的技術。

# 實驗物理教學實驗

- 第一學期：機械加工、程式設計、電腦模擬
- 第二學期：類比電子學、電子組裝、光學技術
- 第三學期：數位電子學、感測器、驅動器、數據處理
- 第四學期：以現代技術重做經典實驗或自行創作具有重要性或啟發性的實驗

二、三百年前能做的重要實驗，應用現代的電子機械技術來重做，應該不會太難。

# 第一學期

- 車床、銑床、鑽床、攻牙、沖床、折床
- RTV樹脂翻模
- 計算機概論、程式設計
- 機械專題：蒸汽機、指南車、機械鞦韆（參量振盪器）、陀螺儀
- 模擬專題：行星、彈道、擴散、percolation

# 第二學期

- 電阻、電容、電感、開關、繼電器、變壓器、同軸電纜、LED、二極體、電晶體、SCR、FET
- 接地、屏蔽、阻抗、頻率響應、動態範圍、訊噪比、電路模擬軟體
- 整流、濾波、穩壓、放大器、回授、振盪器、濾波器、調變與解調、bootstrapping
- 電子製作專題：電擊棒(電蚊拍)、電吉他音效、麥克風迴音器、心電圖儀、無線電收發機、磁懸浮

# 第三學期

- TTL 電路, NAND gate, latch, flip-flop, counter, multiplexer/demultiplexer, encoder/decoder, AD/DA converter, Schmitt trigger, one-shot, delay-gate, phase lock loop
- Lock-in detection, Arduino 數位類比整合控制器，雷射（來自報廢的燒錄機），步進馬達（來自報廢的軟碟機）
- 光偵測器、溫度偵測器、壓力偵測器
- 電子製作專題：電子鐘、電子賭具、電子密碼鎖、紅外線遙控器、電子樂器

# 期待學生體會電子關卡

- 訊號噪音比
- 動態範圍
- 頻率響應
- 快速設計與製作

# 第四學期

- 驗證萬有引力定律
- 測量光速
- 驗證庫倫定律、安培定律、法拉第感應定律
- Frank-Hertz 實驗(測量蒲蘭克常數)
- 泰勒干涉實驗 (單光子的波動性)
- 測量亞弗加多羅數
- $PV=NRT$  氣體定律
- 核磁共振

# 課餘實驗區

- 電子工作站（示波器、訊號產生器、電源供應器、烙鐵）
- 小型三合一加工機（車床、銑床、鑽床）
- 手工具（電鑽、電鋸、扳手、起子、挫刀、鉗子、鐵鎚）
- 報廢的印表機、除濕機、雷射、電子儀器
- 回收的管線、玻璃器皿、磁鐵、線圈、螢光屏、馬達、壓克力
- 電子、五金零件箱
- 電腦、網路、沙發、白板、冰箱、水槽、書架



傳說中黃帝的指南車（原理與差速器相仿）



早期船用蒸汽機模型



音樂控制的閃電（脈寬調變）



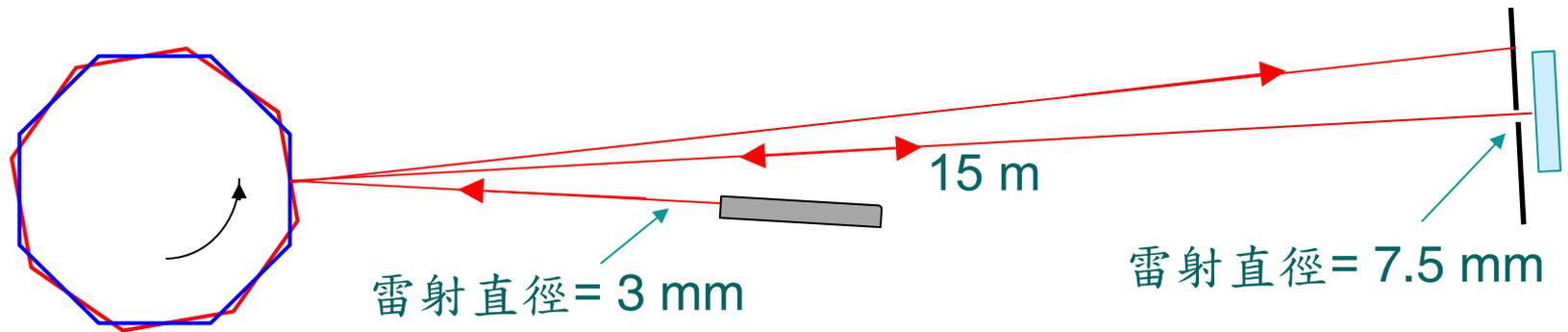
May the force be with you (T5燈管)



磁懸浮（電流回授控制）

# 測量光速

7200 rpm =  $240\pi/\text{sec}$



$$30 \text{ m} / (3 \times 10^8 \text{ m/s}) = 10^{-7} \text{ sec}$$

$$240\pi/\text{sec} \times 10^{-7} \text{ sec} = 7.5 \times 10^{-5}$$

$$7.5 \times 10^{-5} \times 15 \text{ m} = 1.1 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{繞射角} &= 1.22 \times \text{波長} / \text{孔徑} \\ &= 1.22 \times 532 \times 10^{-9} \text{ m} / (4 \text{ mm}) \\ &= 1.6 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{繞射光斑直徑} &= 2 \times 1.6 \times 10^{-4} \times 30 \text{ m} \\ &= 9.6 \text{ mm} \end{aligned}$$