

到光梳雷射光譜實驗室修專題課程的要求

鄭王曜/2012/9/6/group meeting

這門課，我的理念：

1.我不挑修課學生

2.學生要從這門課有收穫

但，我是用國科會的錢，而不是教育部的錢
在教育你們



你們必須具有我們實驗室的專業，
而不只是光學的專業

最終目的：寫一個專題論文

請參考智凱、維哲、嘉宏等人的大學論文

題目要如何定？

1. 我要知道你的能力在哪裡

2. 實驗室用得上你的作品

3. 以培養本實驗室碩士人才為前提

(即，你現在的題目，如果你繼續在中央念碩士，一定會用上)

如何讓我們知道你的能力與興趣

請你把第一個工作做好、做快

不認真，做得好

認真，做得不好

你很厲害，我必須讓你覺得
夠有趣，你才會認真

認真
做好

與我討論，換方向

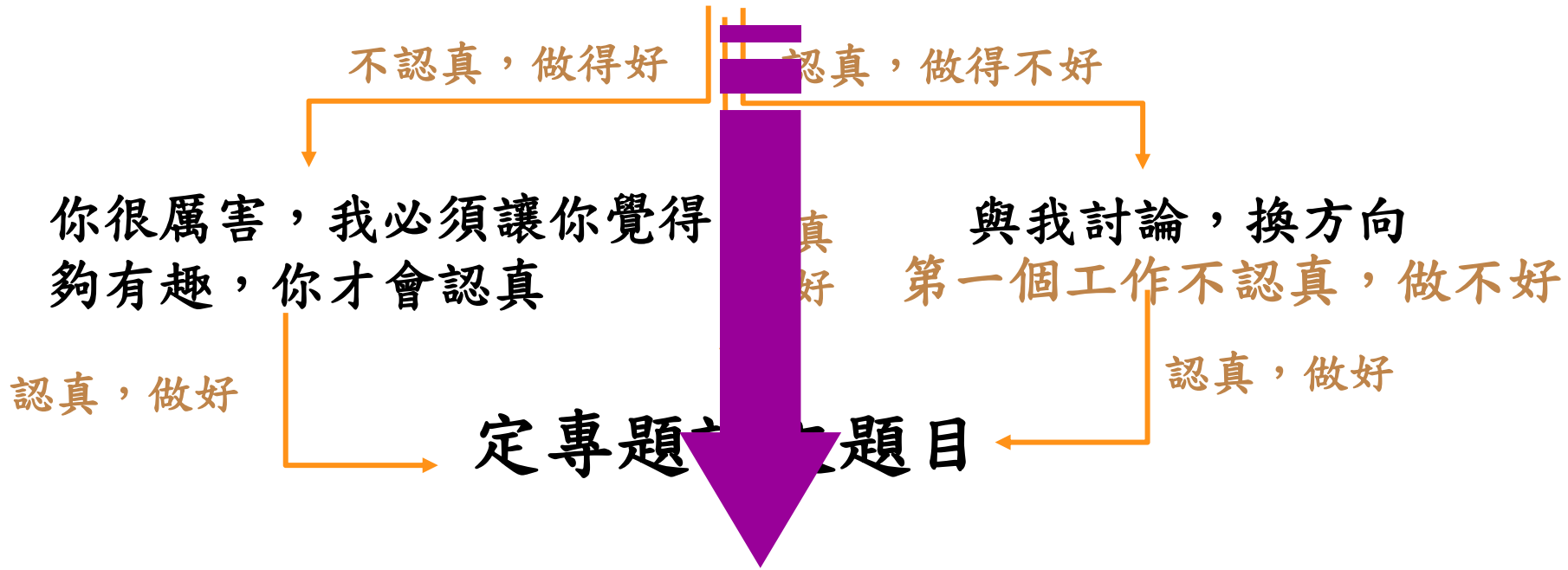
認真，做好

認真，做好

定專題論文題目

如何讓我們知道你的能力與興趣

請你把第一個工作做好、做快



我不會同意你下學期繼續修我的課

什麼叫認真

一星期在實驗室工作的時間 (大約)

< 3小時，不認真

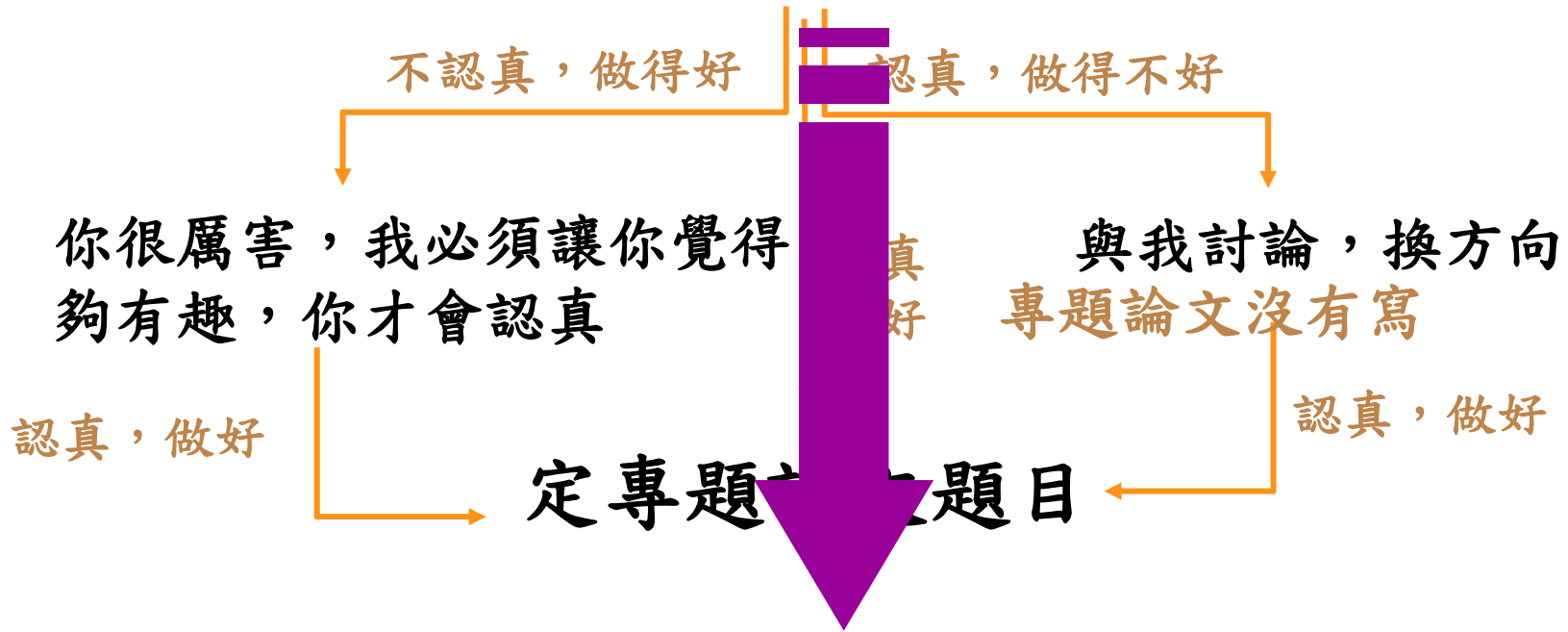
> 6小時，還算認真

獲得學長或老師的稱讚，認真!

└─→ 認真很難量化

如何讓我們知道你的能力與興趣

請你把第一個工作做好、做快

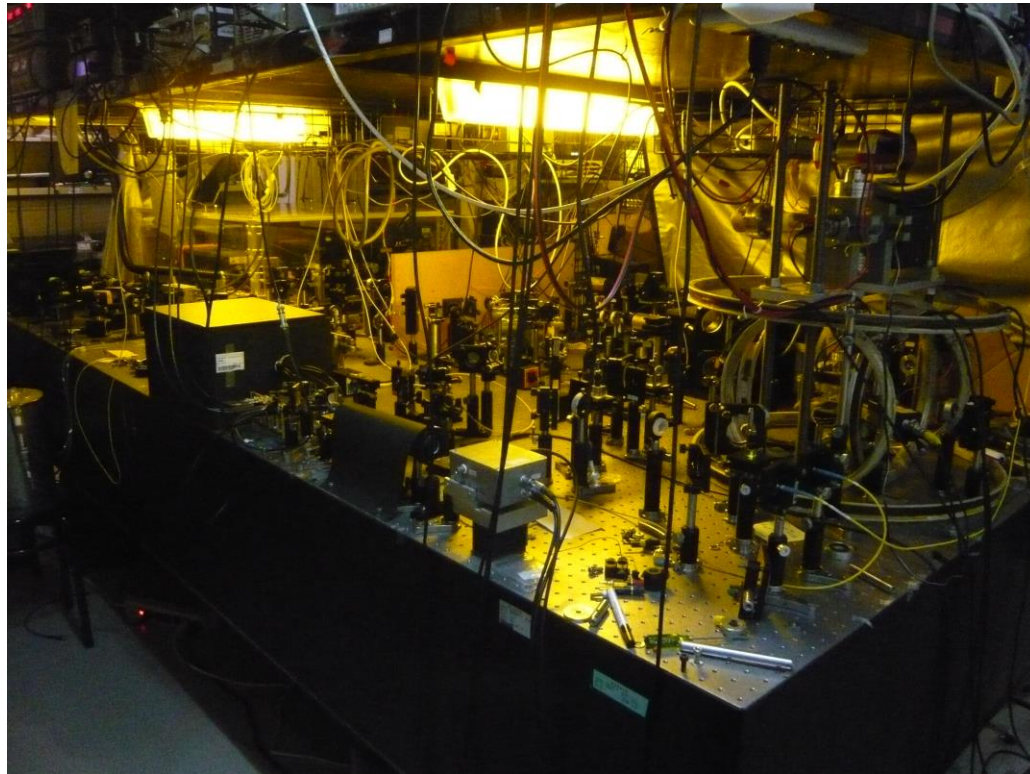


我會將你最後一次修的課當掉，請留意這個規定

實驗室導覽

中央物理

光梳雷射光譜實驗室



以下定各位專題論文的進度
有問題的可以找我討論

亭儒：銻原子6S→6D超精細光譜與穩頻

宣哲：頻寬大於1 MHz之回授線路，與在腔內式雷射上的應用

實驗室導覽內容

- 我們是哪一行
 - 我們的領域叫AMO
 - 我們的專長：光梳雷射物理、量子控制 (雷射穩頻與物質波控制)
- 學生在這一會學到什麼
- 我們過去做了什麼
- 我們未來會做什麼
- 我們對科學界及社會有什麼貢獻

我們是哪一行

什麼是AMO?

美國物理協會有一個分支：

Damop: Division of atomic, molecular, and optical physics

光與原子分子的交互作用，以用途而言，分兩類

用光來控制原子分子的量子狀態

用原子分子來控制光的量子狀態

1997~2005，AMO這個小族群，有九個人拿諾貝爾獎

1997: Laser cooling (Since 1986) (用光來製造冷原子)

S. Chu, B. Philips and C. Tonugui

2001: Bose-Einstein Condensation (since 1995) (用光使原子凝結)

C. Wiman, E. Cornell, W. Kettler

2005: High precision measurement and Comb laser (since 1999) (用原子控制光)

R. Clauber, T. Hansch, J. Hall

他們的雷射都需要穩頻！！！！

穩頻雷射在基礎科學之貢獻 (小錢做大實驗)

電子形狀之檢測

(Nature **473**, 10104(2011))

質子大小之檢測

(Nature **466**, 09250(2010))

標準模型之檢測

(Science **275**, 1759 (1997))

實驗室重力紅移

(Nature **463**, 08776 (2010))

夸克質量變化之檢測

proposed, Phys. Rev. A 79, 054102 (2009) ;

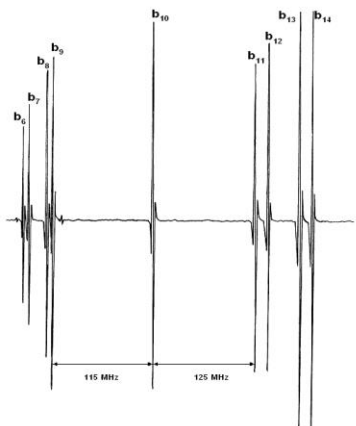
弦論之檢測

proposed, Phys. Rev. A 59, 230 (1999)

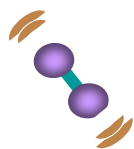


穩頻雷射拿來做光鐘

Iodine standard



Linewidth : 23 kHz



strontium clock

Linewidth : mHz

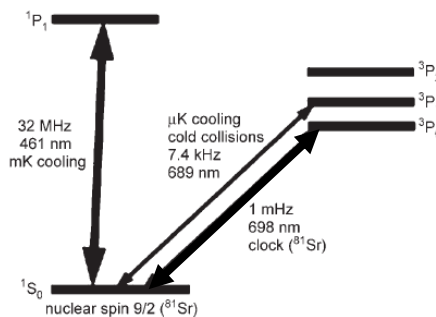
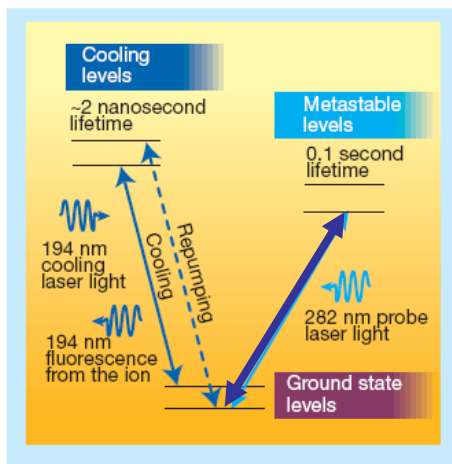


Figure 3. The lowest energy levels of strontium.

Hg⁺ clock

Linewidth : 6.7 Hz



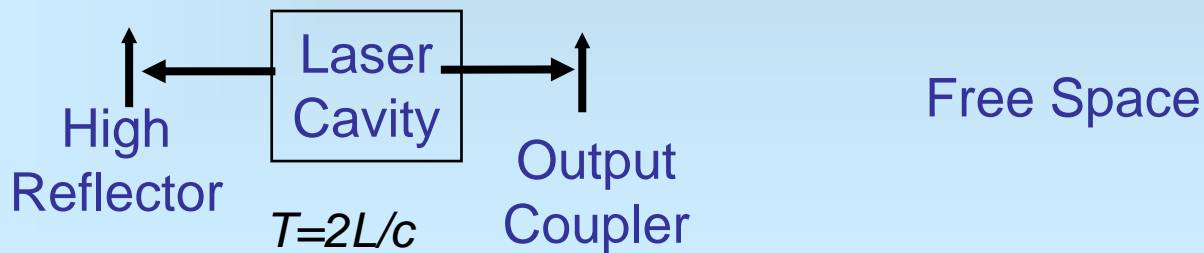
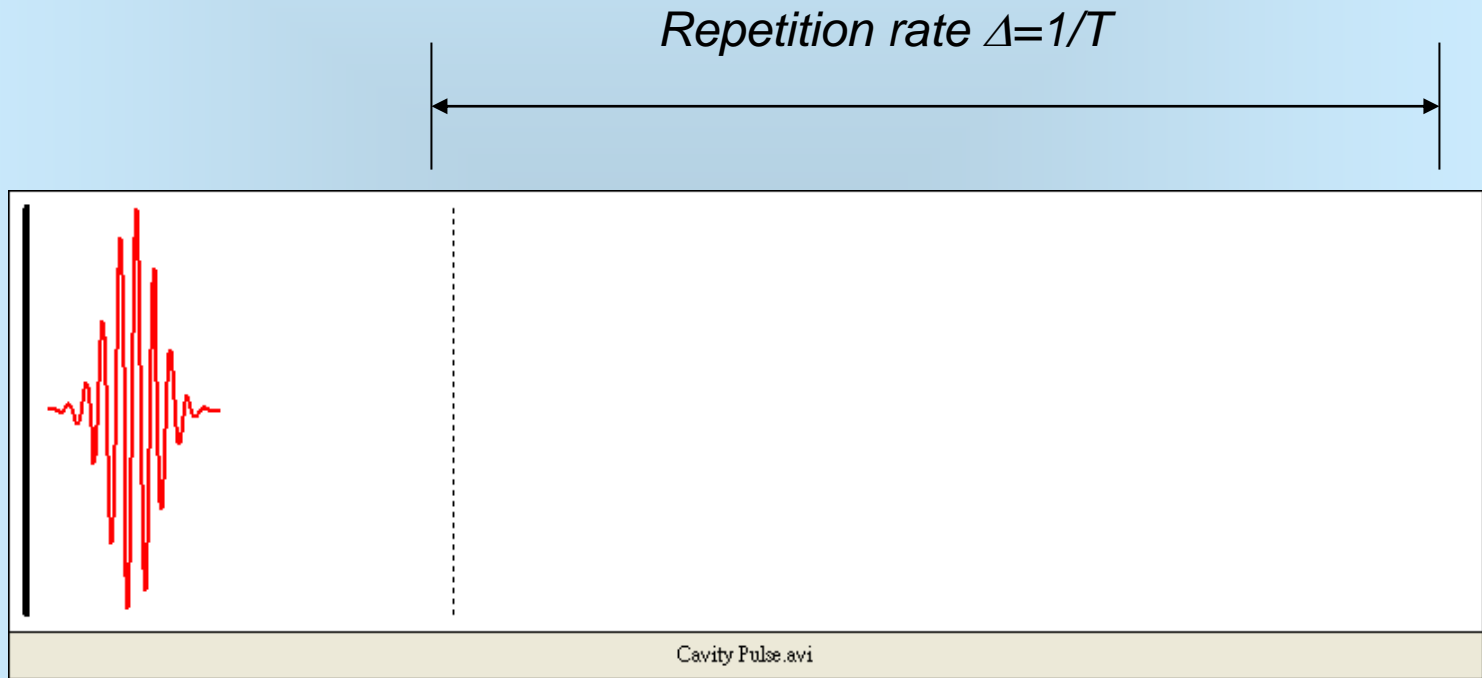
我們在AMO這行的專長

- 光梳雷射物理
- 量子控制 (雷射穩頻與物質波控制)
- 原子分子光譜

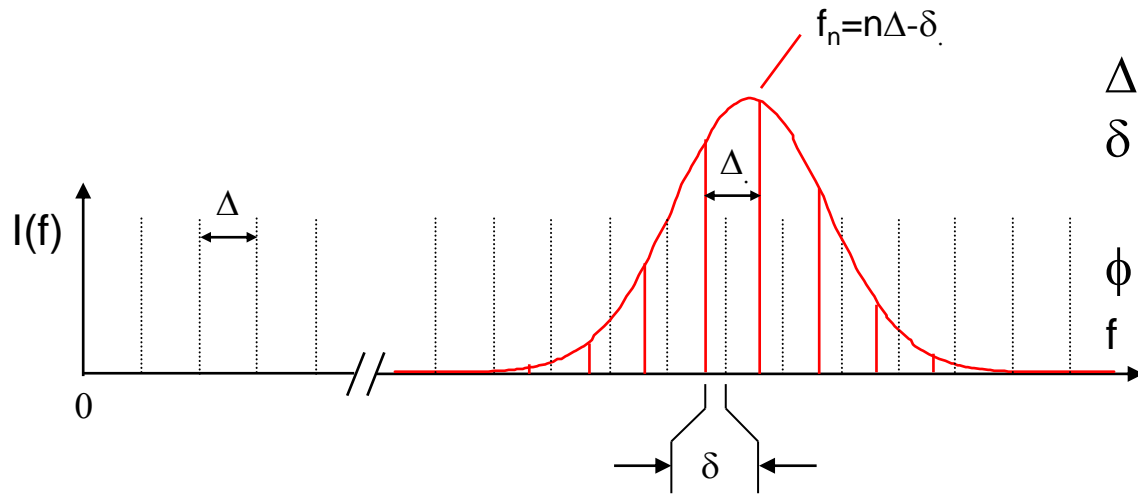
我們在AMO這行的專長 (i)

—光梳雷射物理

1. 一般光脈衝，相速度 \neq 群速度
→ 不同調 (no coherence)
2. 雷射腔長 \leftrightarrow 鎖膜光脈衝的重複率 \rightarrow 不穩定



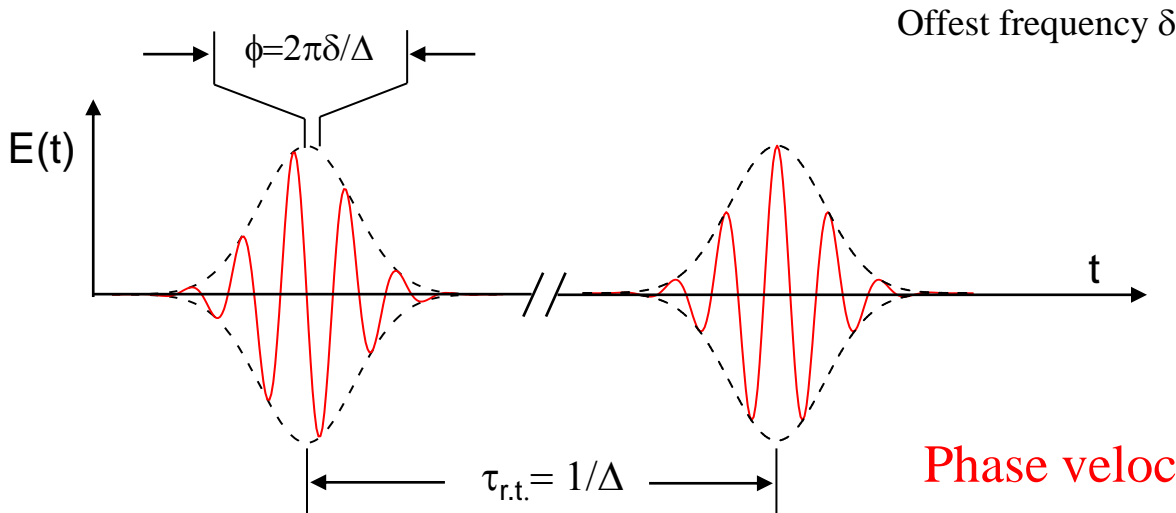
飛秒(10^{-15} sec)光梳雷射 time domain與 frequency domain 性質



Δ = repetition rate = $1/T$

δ = Comb offset from harmonics of Δ

ϕ = Phase slip b/t carrier & envelope each round trip



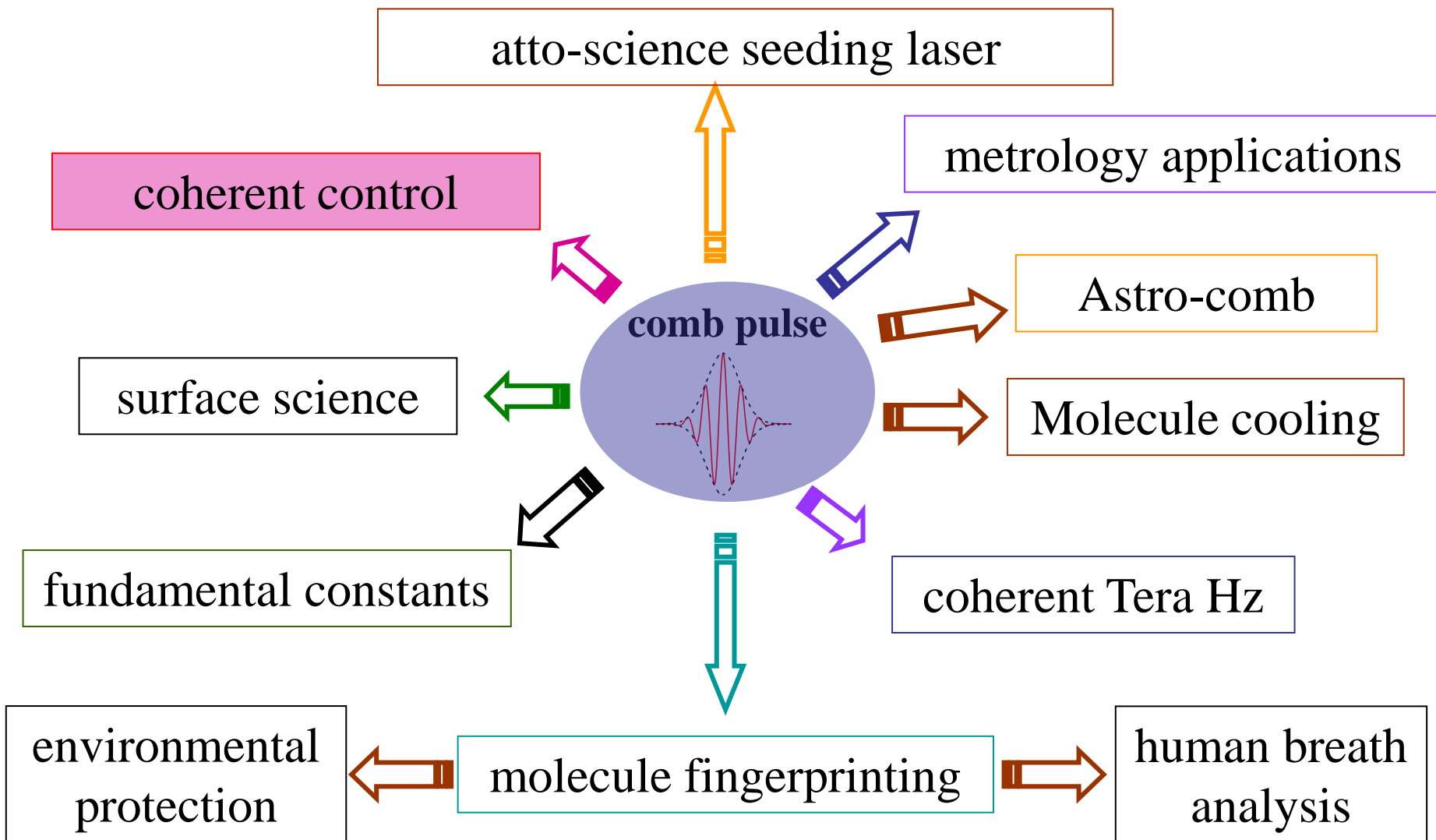
Offset frequency δ

$$\equiv \frac{d\phi}{dt} = \frac{1}{2\pi} \frac{\phi / pulse}{T}$$

Phase velocity \neq Group velocity

光梳雷射如何為科學界打開一扇窗

(jobs down and proposed since 2005)

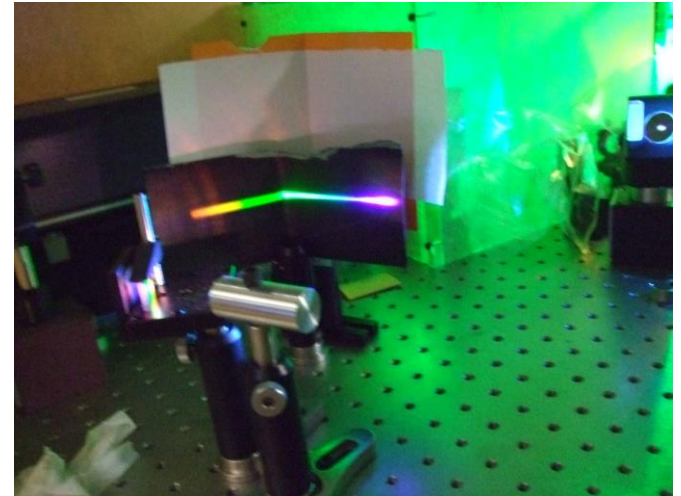


光梳雷射 time domain的特色:

High peak power (compared to CW laser)

Fixed carrier-envelope phase
(good for selective or delicate pumping)

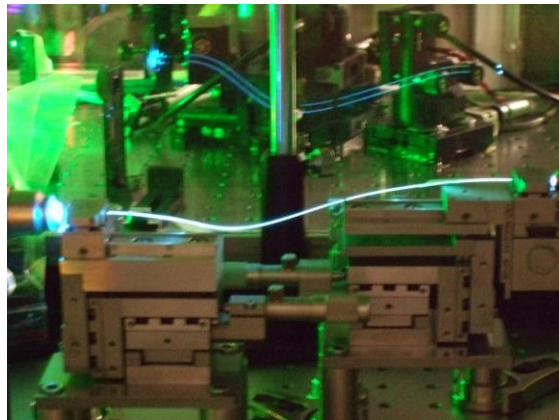
Femtosecond time scale



圖片來自我們實驗室



圖片來自我們實驗室



Examples:

Science **307**, 400 (2005)

→ *Kr atom ionization rate control*

Nature **436**, 234 (2005)

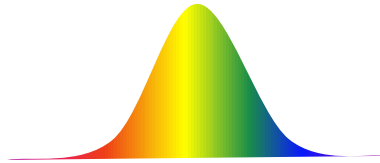
→ *XUV comb*

Nature physics **2**, 327 (2006)

→ *Terahertz comb*

光梳雷射 frequency domain的特色:

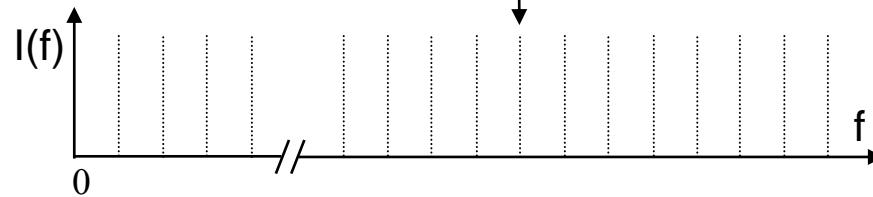
Wide-band



F_n fixed to 1 Hz stability



High-resolution



Examples:

Nature **445**, 627 (2007)

→ molecular fingerprinting, I_2 , span: 16,00,000 MHz (9 nm), resolution: 1 MHz

Science **311**, 1595 (2006)

Rapid-
wideband

measurement

→ comb laser cavity ring down, C_2H_2 , H_2O , O_2 , NH_3 , 210,00 GHz (130 nm), resolution: 25 GHz

我們在AMO這行的專長 (ii)

—雷射穩頻

我們的實驗為例

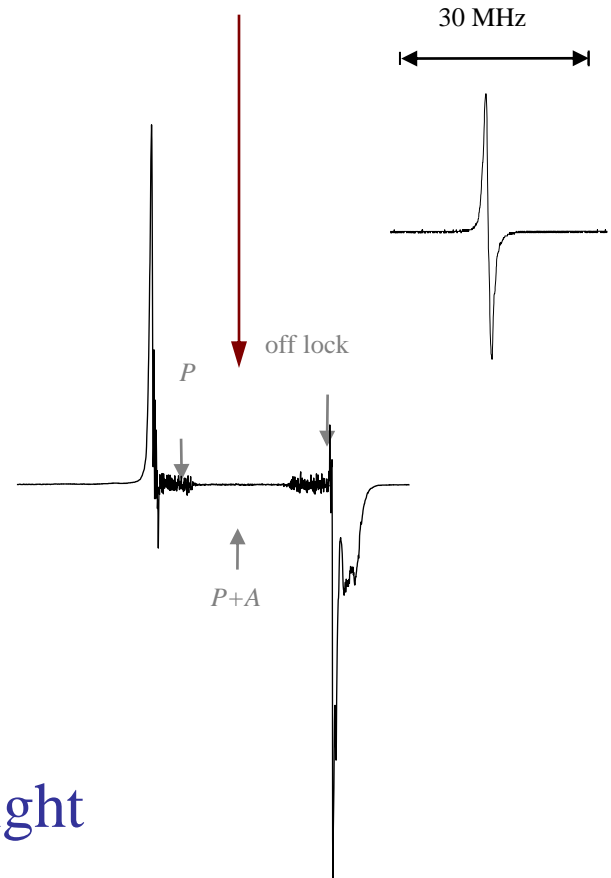
藉此得知原子分子特性

Optical frequency 4.5×10^{14}
~**150** Hz frequency uncertainty

cesium 6S-8S
dipole not allowed transition

Opt. lett. **32**, 563 (2007)

electronics for
feedback
control

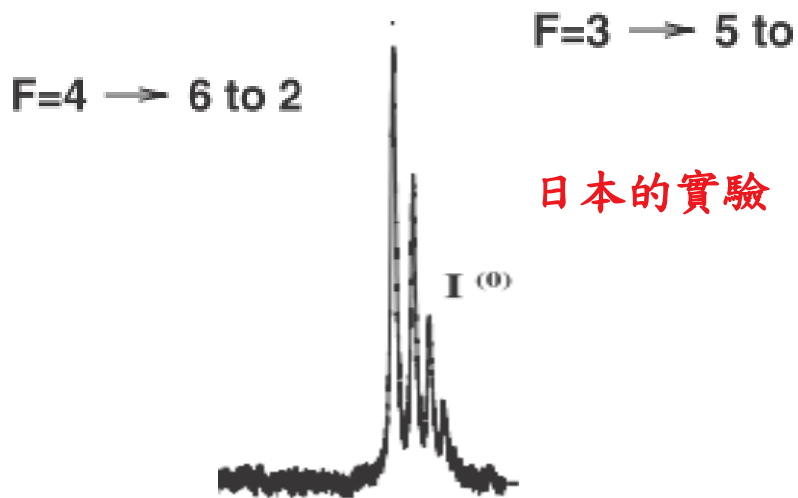


Ultra-high Coherence light

我們在AMO這行的專長 (iii)

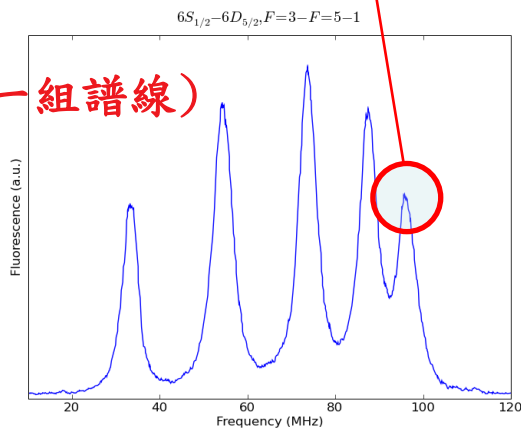
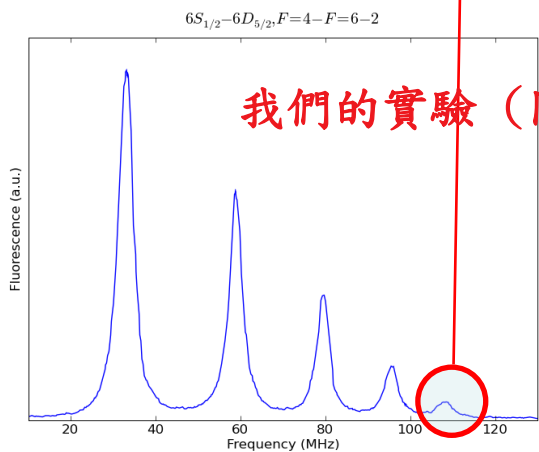
超高解析光譜

穩頻雷射的好處：



Journal of the Physical Society of Japan
Vol. 74, No. 9, September, 2005, pp. 2487-2491

雷射功率: 32 W
鈦藍寶石雷射: ~300萬台幣
雷射頻率穩定度:
1 MHz
(未穩頻)



Opt. lett. **36**, 76 (2011)

雷射功率: 0.03 W
半導體雷射: ~3萬台幣
雷射頻率穩定度:
0.0003 MHz
(穩頻於光學共振腔)

2005年諾貝爾物理獎得主 John Hall 看到我們工作後的感觸

From: JHall @JILA

To: <wycheng@gate.sinica.edu.tw>

Sent: Wednesday, January 12, 2011 5:22 AM

Hi Wang-Yau

I like you first day of the New Year article in Opt Lett. Looks like some good results from intensity measurements. It would really be neat to have the lasers frequency-locked to a cavity when looking at the dispersion of the two-photon transitions. I think that it should be a good S/N highway, but only if one is at shot noise stability level. ... Anyway, it's certainly fun to play in the labs!

J

認真的學生可以學到什麼？

-進階的電子電路

- 回授電路 鎖相迴路 Lockin
- 各式電路設計(電流供應器、頻率產生器、PCB lay out技術等)

-光電元件的使用

-雷射物理(大部分雷射我們自組)

-原子分子光譜與量子力學的更加認識

-量子光學計算(我們非常歡迎單純想做計算的人)

- 量子干涉的發生條件 連立微分方程的解
- 光梳雷射與物質交互作用的模型建立

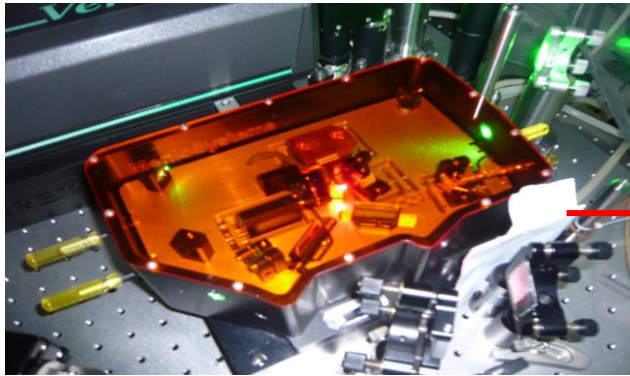
我們之前的成果(2007~2011)

- 新光頻標準(Optics Letters, 2007)
- 新穎光梳雷射 (Applied Phys. B)
- 量子控制 (雷射穩頻與物質波控制) (投稿中)
- 超高解析光譜(Optics Letters, 2011)

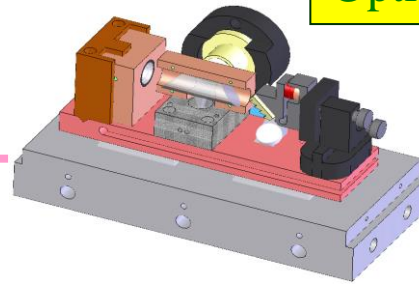
精密光頻量測，有助於原子分子躍遷理論之檢驗

光梳雷射

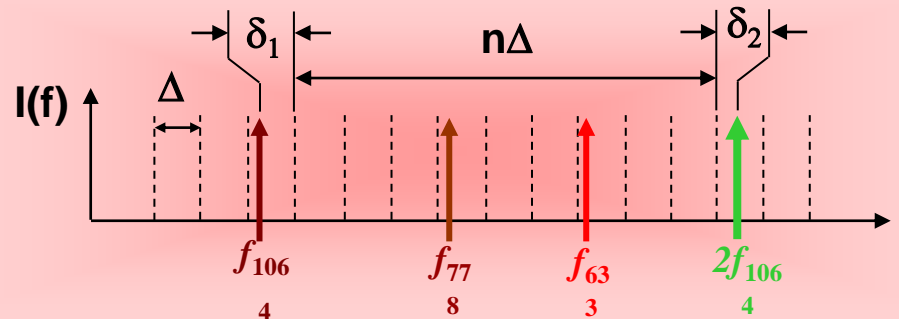
Apply Physics B 92, 13 (2008)



銻原子6S→8S雙光子躍遷
Optics Letters, 36, 76 (2011)

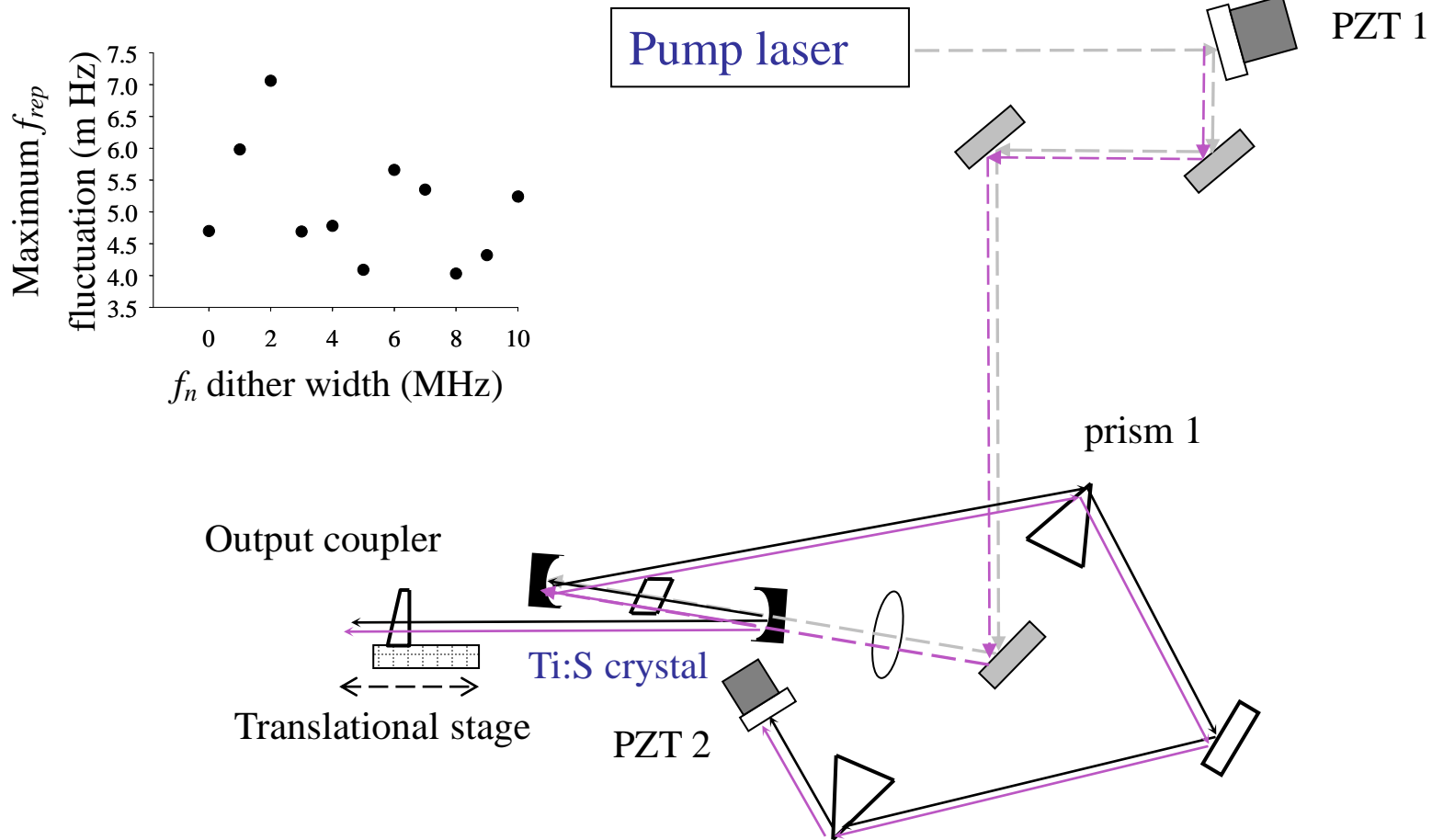


未知雷射與光梳雷射比頻率



新的單獨控制雷射相位的方法

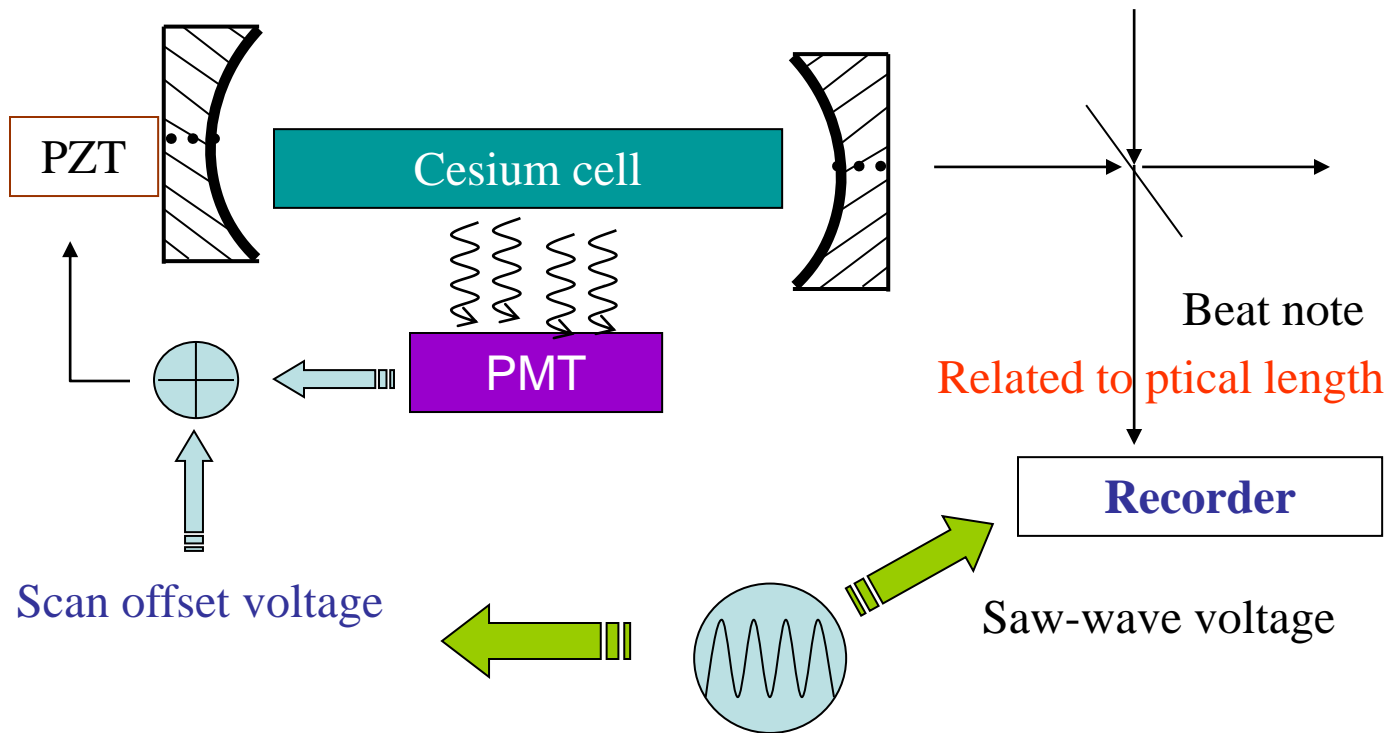
Apply Physics **B** 92,
13-18 (2008)



銫原子放到雷射中之新雙光子吸收光譜

Change physical cavity length

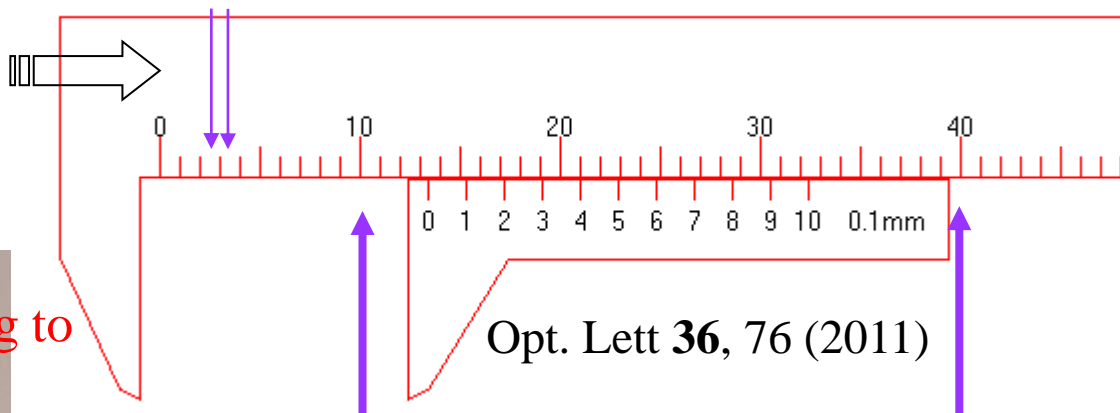
The other frequency-stabilized laser



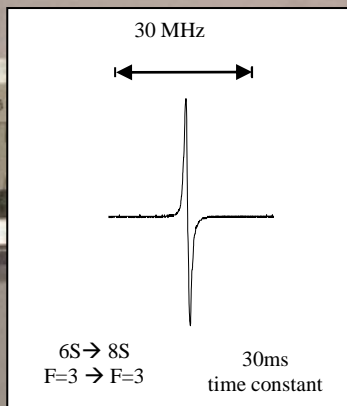
做了高精密光學游標尺

scale: Cmob-CPT clock

1. no 1f-2f scheme
2. all comb parameters referring to atomic cesium transitions



Cs spectrometer

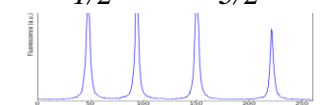
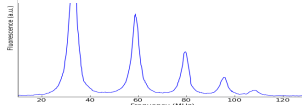


Opt. lett. 32, 563 (2007)

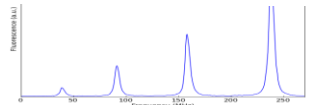
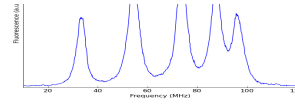
main marker from 822 nm laser

main marker from 884nm laser

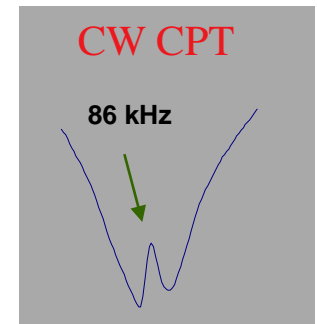
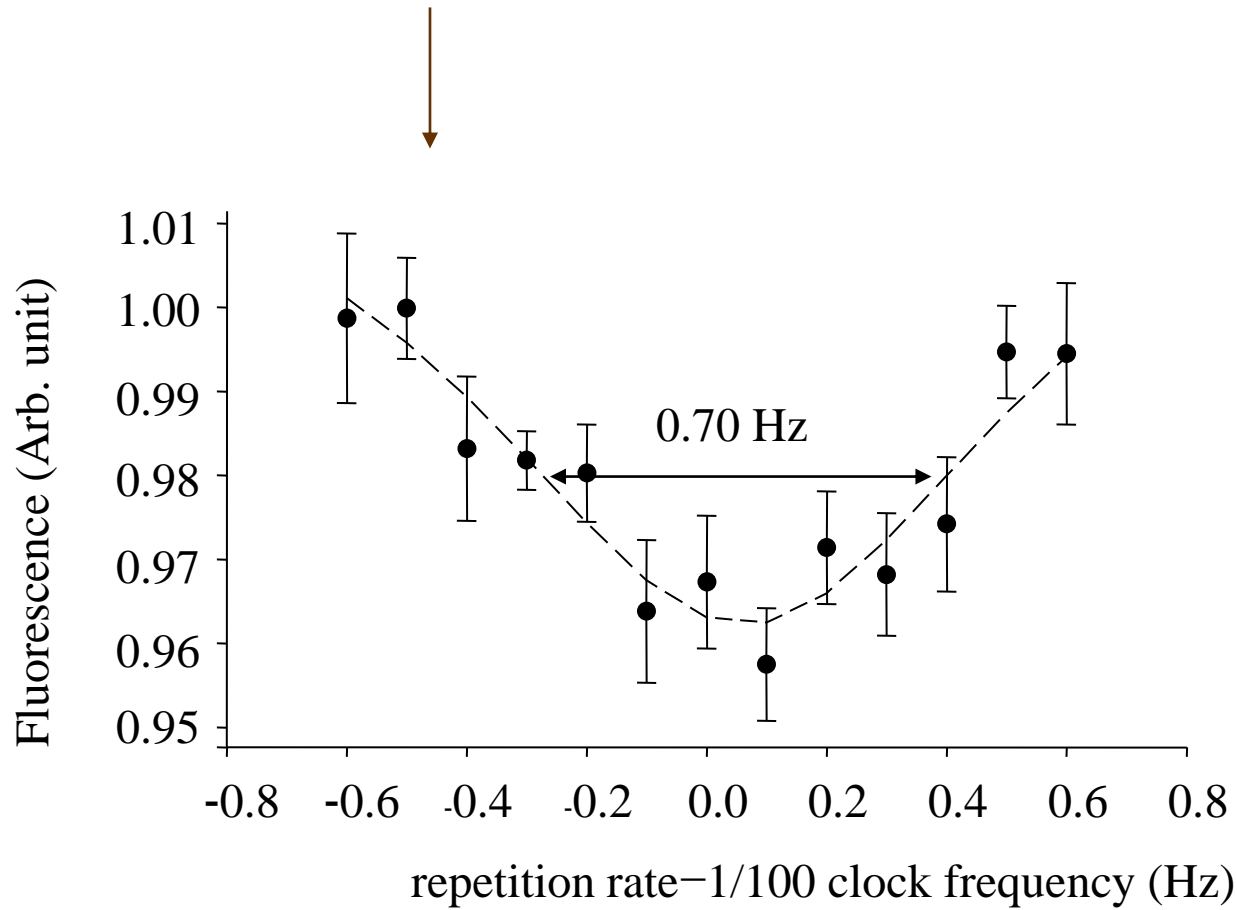
$$6S_{1/2} \rightarrow 6D_{5/2}; F=4 \sim f \quad 6S_{1/2} \rightarrow 6D_{3/2}; F=4 \sim f'$$



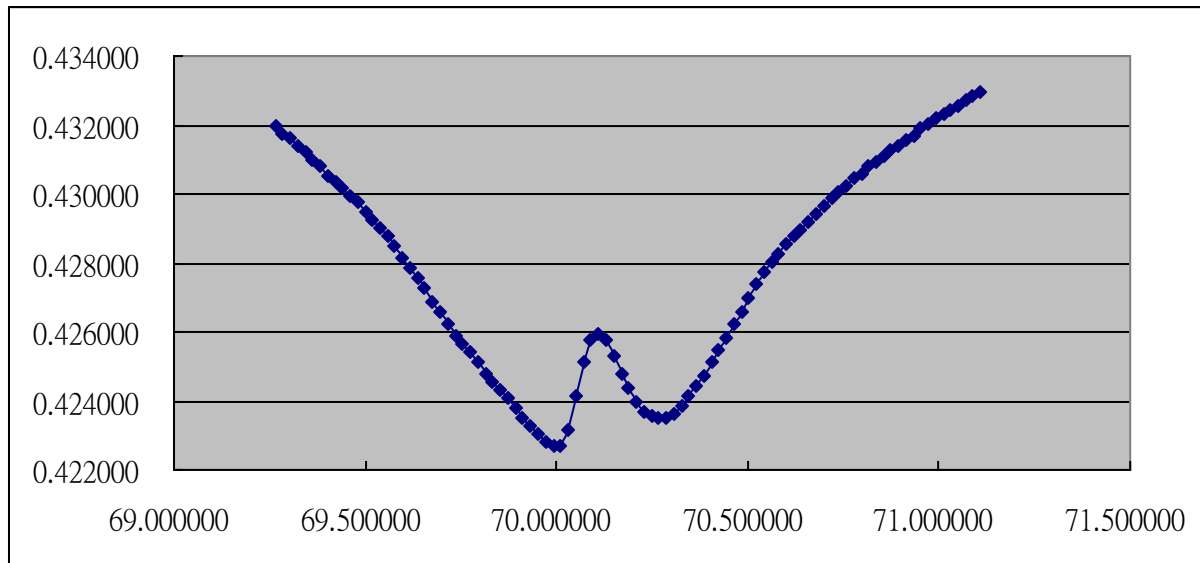
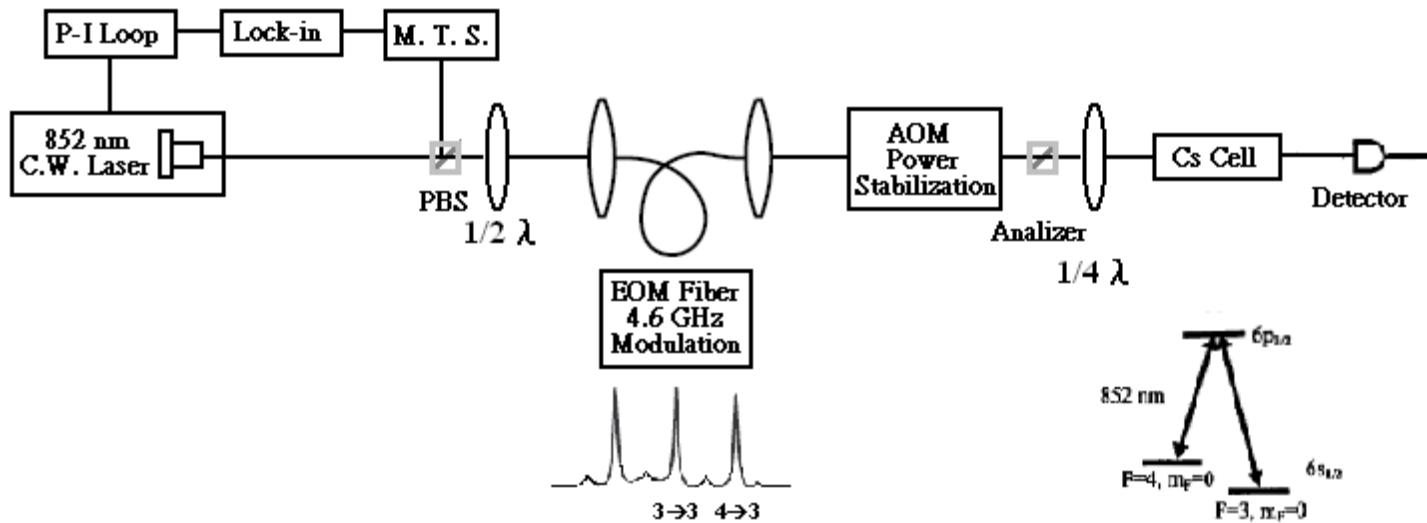
$$6S_{1/2} \rightarrow 6D_{5/2}; F=3 \sim f'' \quad 6S_{1/2} \rightarrow 6D_{3/2}; F=3 \sim f'''$$



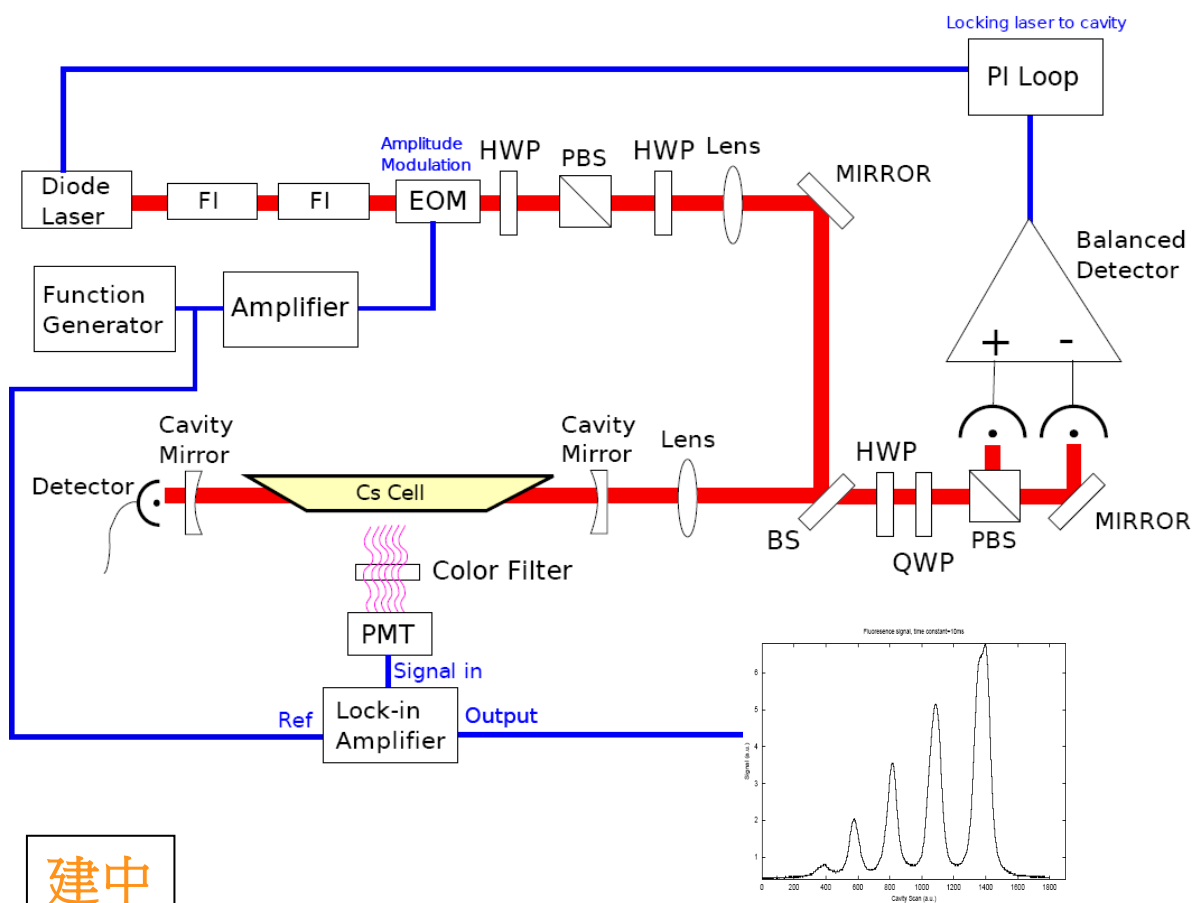
光梳雷射誘發透明 → 利用光梳雷射做量子干涉實驗



Probe CPT signal by CW laser



Cesium atom $6S \rightarrow 6D$ two-photon transition as a frequency reference on 884-885 nm wavelength regime



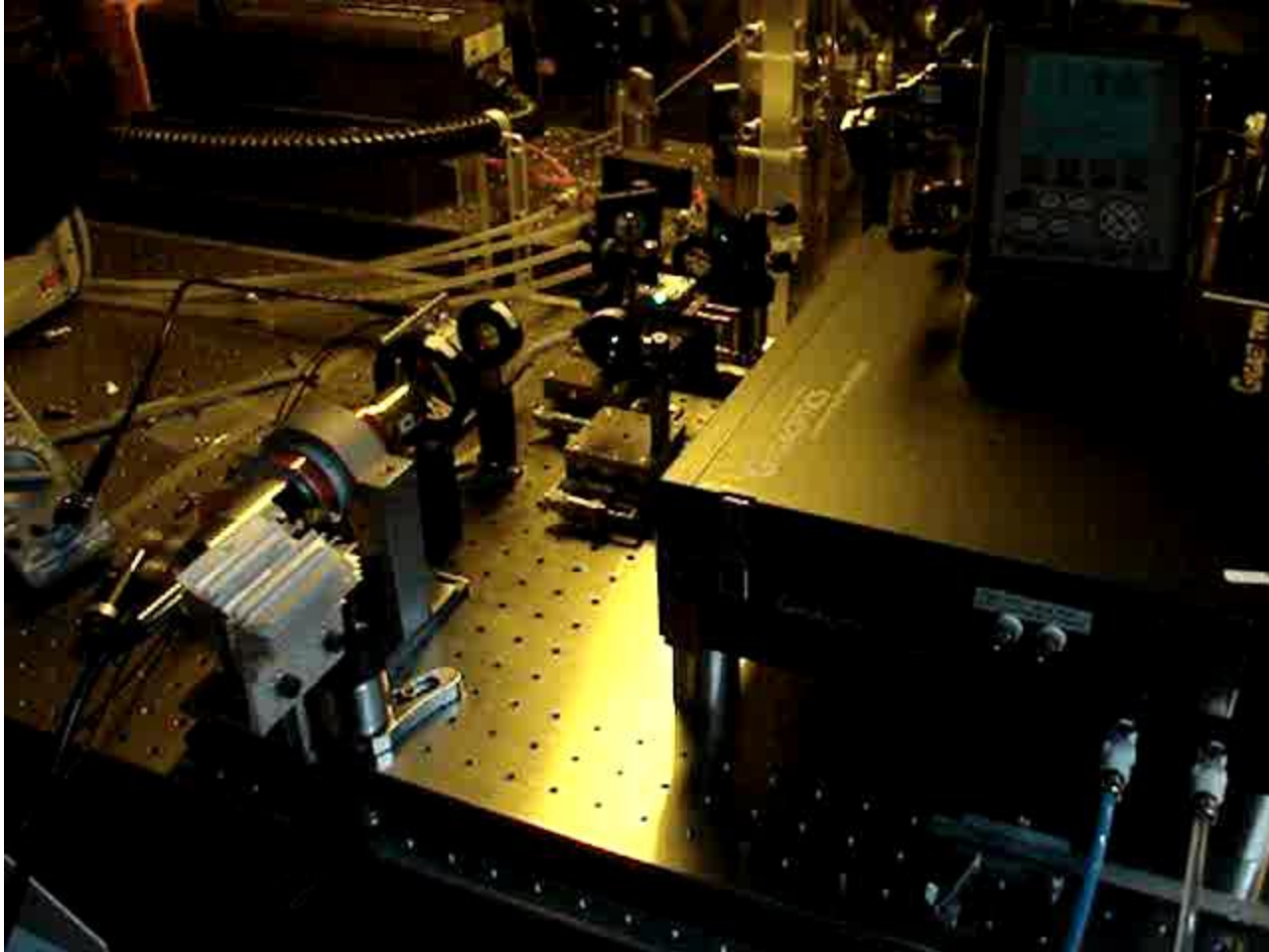
Significance:

1. Reliable frequency reference of Ti:sapphire comb laser
2. Provide precise data for cesium atom hyperfine structure
3. Frequency reference of UV heterodyne spectroscopy project
4. Resolving the nuclear magnetic octupole

建中

Cesium atom $6S_{1/2}, F=4 \rightarrow 6D_{5/2}, F'=6, 5, 4, 3, 2$
 Sampling time: 10 mS

縮小版光梳雷射 (用光纖雷射幫浦)



Cs MOT (under construction)

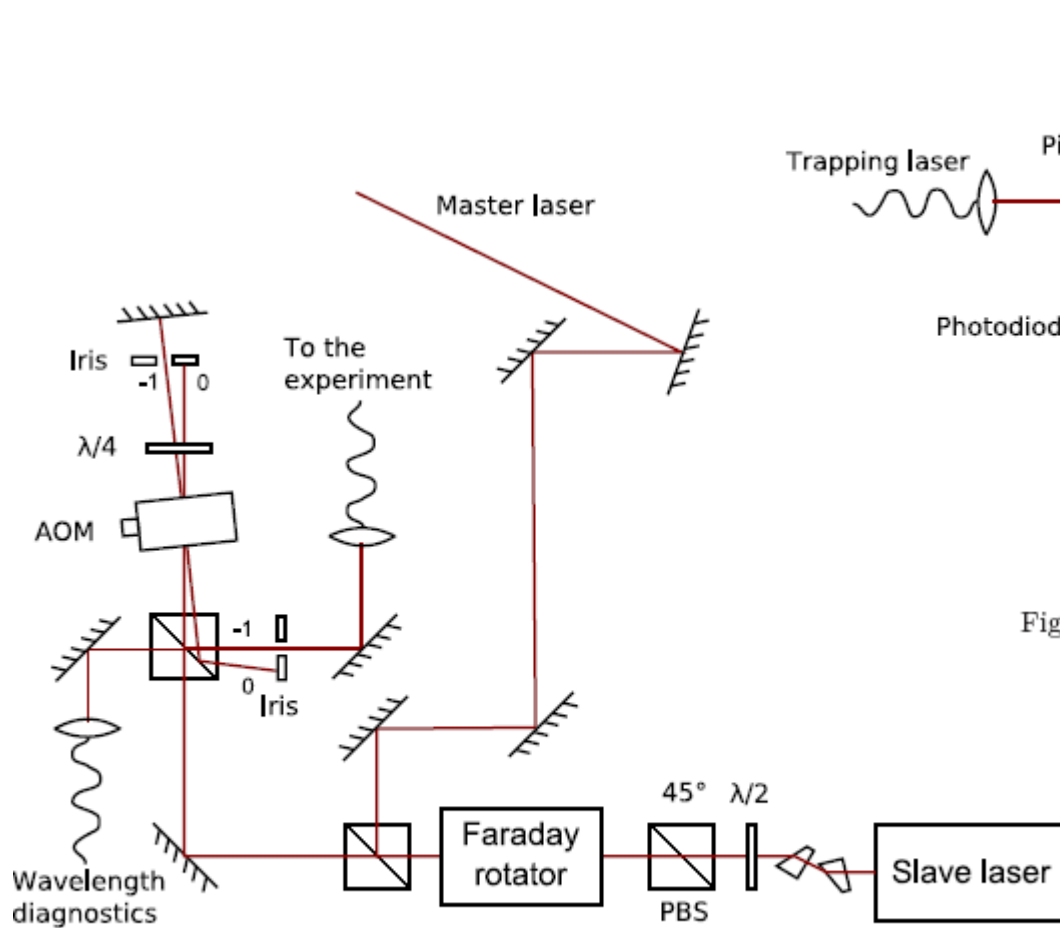


Figure 1: Trapping laser system optical setup.

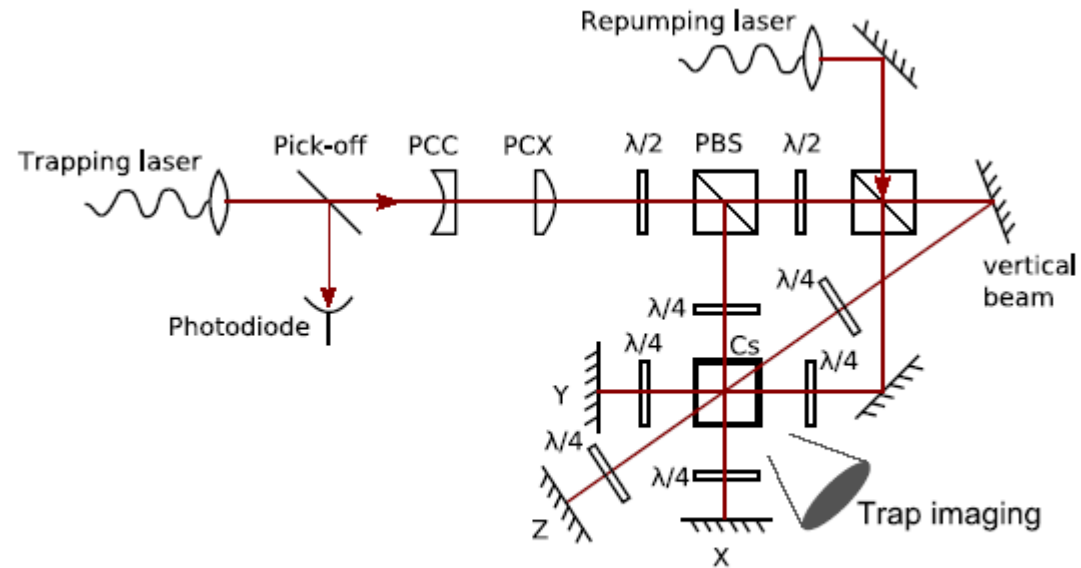


Figure 2: Trapping laser system optical setup.

未來的方向、對其他領域的貢獻

AMO的新發展來自於各個極限

極高能量(Peta Watt 例：強場物理)

極冷(nano Kelvin 例：分子冷卻)

極瞬間(atto second 例：電子軌跡，化學反應)

極精密量測(mHz, 例：光鐘)

這些AMO成果如果有跨領域的應用，必發光發亮!!!

有可能的跨領域合作



SrF/BeF 分子快速指紋

陳應誠博士 實驗室



光鐘計畫

中華電信研究所



半導體雷射之工業應用

optoplex公司, San Jose

高同調 THz光源

飛秒光梳雷射

超高精密
光學量測

星星速度之觀測

進行中

長鏈分子之解析

許艷珠博士 實驗室

鉀原子高能皆光譜

張銘顯博士 實驗室

