

WISP探し ~PARTICLE PHYSICSの立場から~

難波俊雄



WISP DM (AXION/HIDDEN PHOTON) 探索に対するわたしの態度

- 新粒子とDMを両方いっぺんに解決するというのはちょっと虫が良すぎませんかね
 - 見つけたとき: 本当? ちゃんと性質調べられるの?
 - 無かったとき: PARTICLE PHYSICS として意味がある結果なの?
- 少なくとも、SUSY WIMP DM に対しては、LHC という COUNTERPARTがあった
- WISP DM に対しても、PARTICLE PHYSICS 側でどげんかせんといかんのでは
- 道は遠いですが、地上実験で WISP を探しています

今日の話に関係する人たち



東大理、
ICEPP

浅井祥仁、山崎高幸、稲田聡明、
樊星、上岡修星、小林富雄(KEK)

東大理、
東大工 (APSA)

吉岡孝高、大間知潤子、五神真

理研、JASRI
(SPring-8、
SACLA)

玉作賢治、田中義人(兵庫県立大)、
澤田桂、犬伏雄一、矢橋牧名、石
川哲也

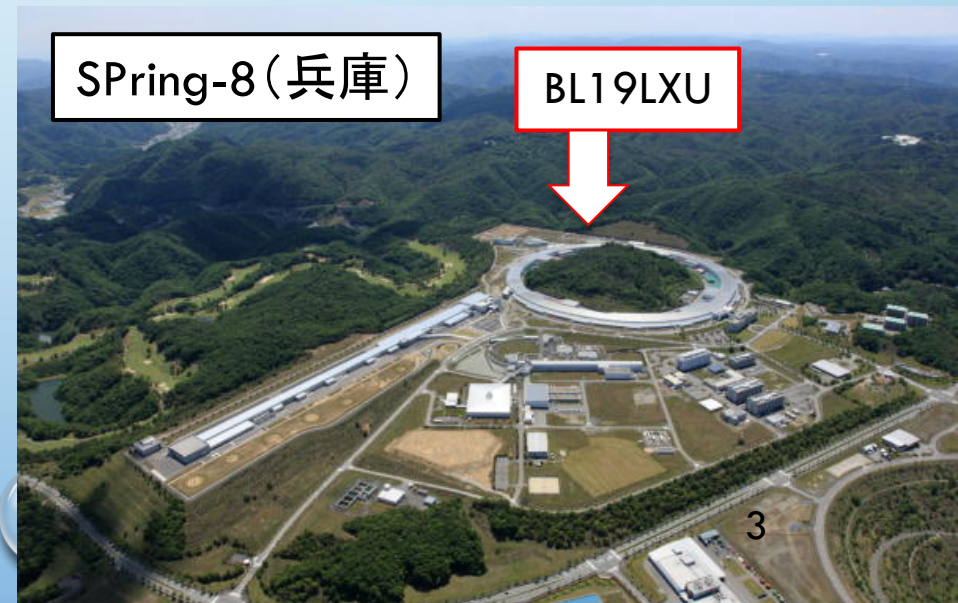
東大物性研、
東北大金研

松尾晶、金道浩一、野尻浩之



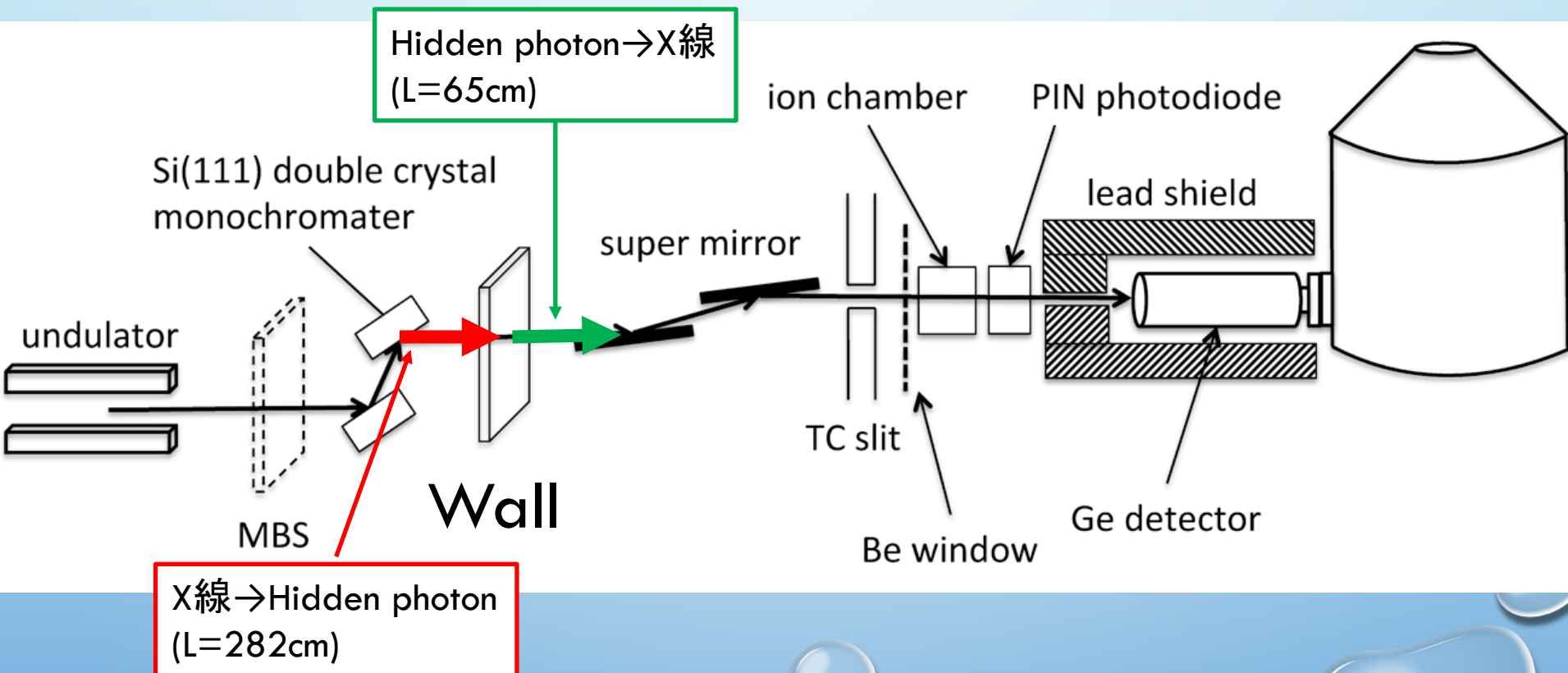
高輝度X線光源を使ったWISP探し (X線領域でのLSW実験)

- X線を使えば、重い(WISP)も探せる (LSW実験は可視・赤外線レーザーばかりでありあまりX線は使われていない)
- SPRING-8 BL19LXU: 10KEV 近辺のX線で世界最高強度レベル
~ 10^{14} PHOTONS/S
- (瞬間強度はSACLAの圧勝)



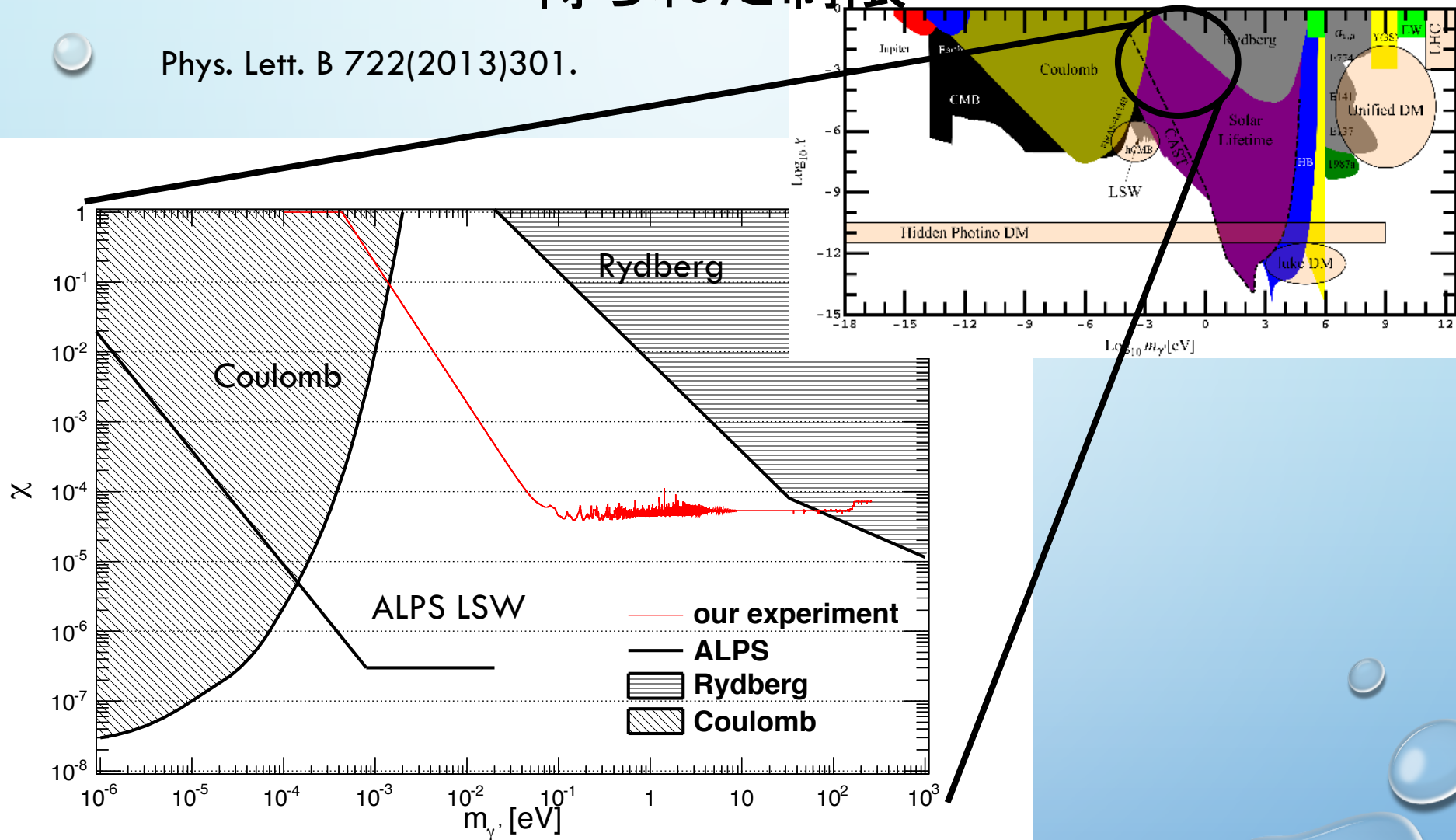
まずはHIDDEN PHOTON探し

- ビームラインに既設のインフラ+ゲルマニウム検出器でLSWのセットアップ



シグナルが見つからなかったので、 得られた制限

Phys. Lett. B 722(2013)301.



やっぱりアクションやりたいよね

- アクション的なものはやっぱり無いと困るでしょう
- 問題は磁石

→いろいろ探したんですが、結局自分たちで作りました

パルス磁石: 安くて磁場強い



作ったパルス磁石

断面1mm×3mmの銅線を15ターン巻く

光の通る管(Φ5.35)

電流

磁場の向き

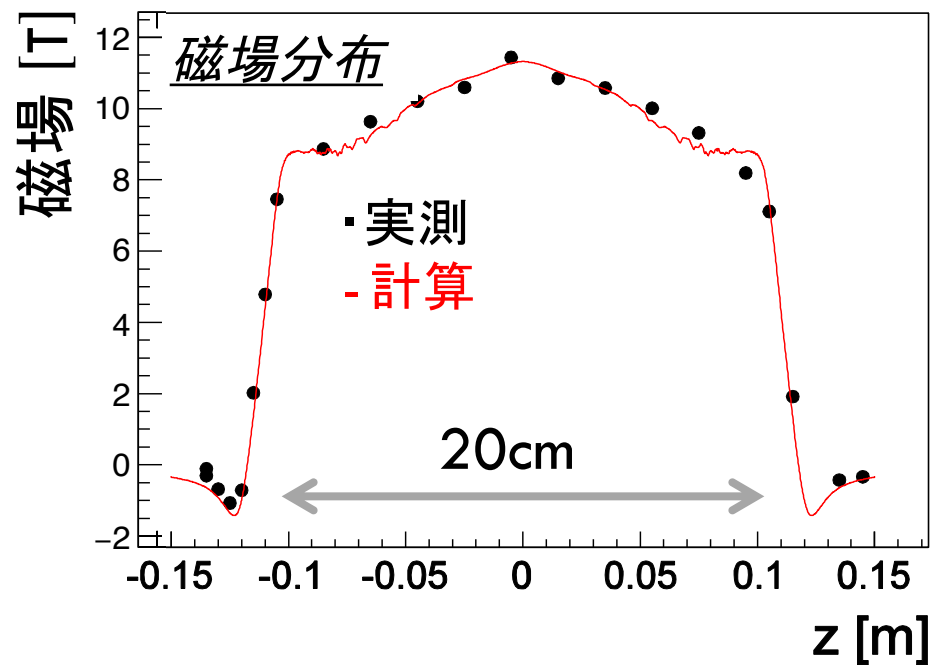
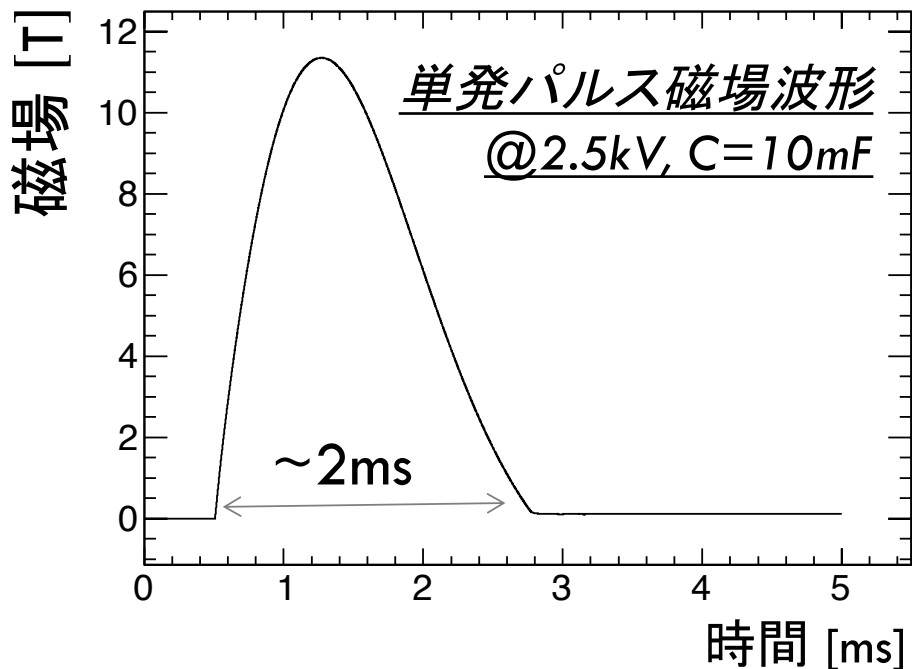
磁場領域 20cm

非磁性ステンレス
による補強

液体窒素で冷却して駆動

~10mΩ、~40μH

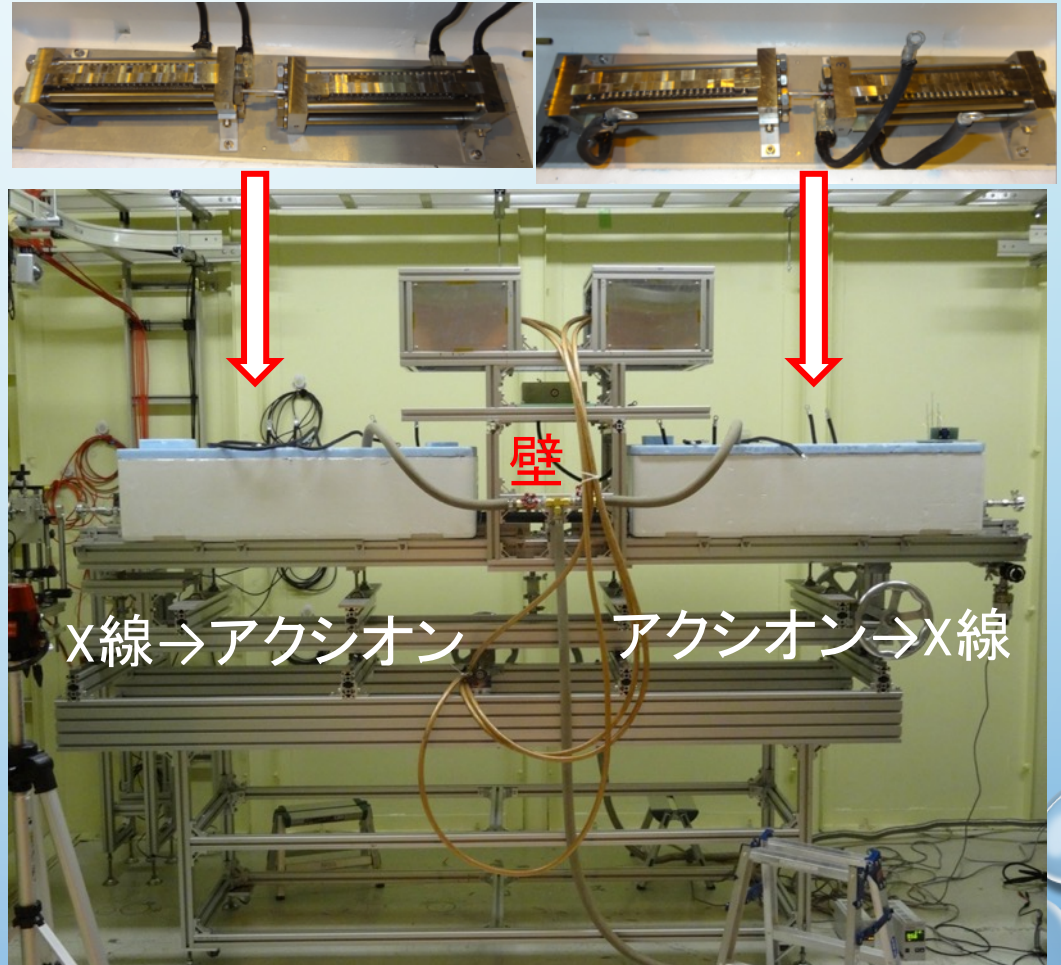
10T励磁時に~40MPaの応力



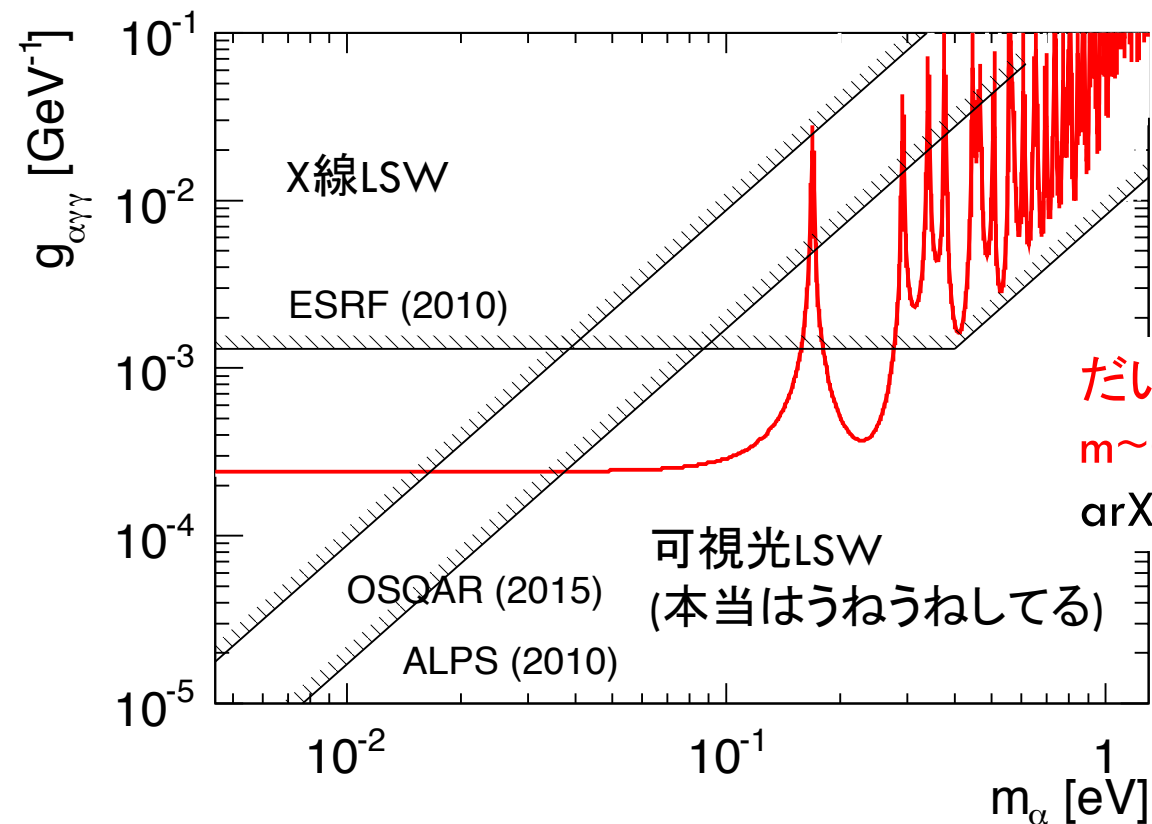
- ~ 0.1 Hzくらいのパルス繰り返しレート (充電時間で律速)
- コンデンサ(250mF $\times$ 12個=3mF、4.5kV耐圧、Full充電で30kJ)
- NIM A 833(2016)122.

SPRING-8 BL19LXU に持ち込んで アクシオンのLSW探索

- パルス磁石4個使用
(壁の前2個、後2個)
- 磁場: 8.5T/6T
- 下流の別の実験ハッチにゲルマニウム検出器
- 0.1HZの繰り返しを14,000
ショット取得
- 磁場ONとOFFでさっぴき
→無かった



得られた制限



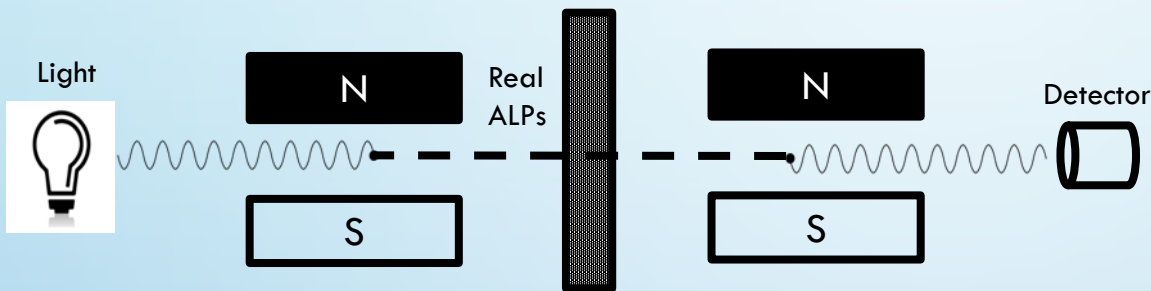
だいぶ結合の大きいところですが、
 $m \sim 0.1$ eVあたりを制限

arXiv: 1609.05425 (Accepted by PRL)

磁石アップグレード+SACLA
→今後の感度向上

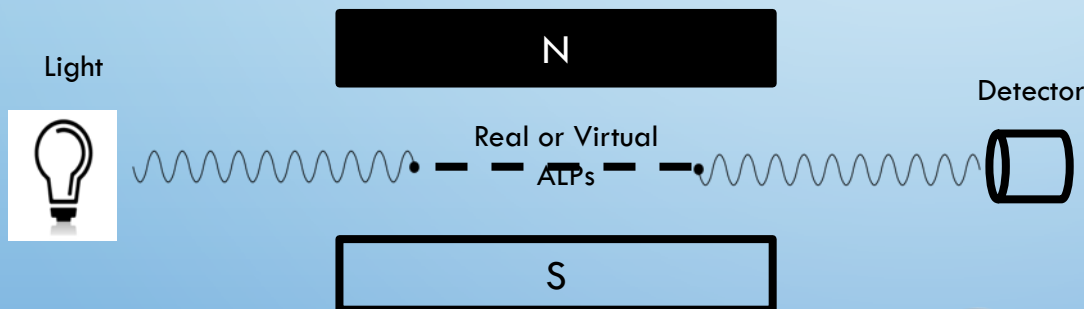
実はON-SHELLのアクシオンを 作らない方が楽じゃね?

Light Shining through a Wall Experiment



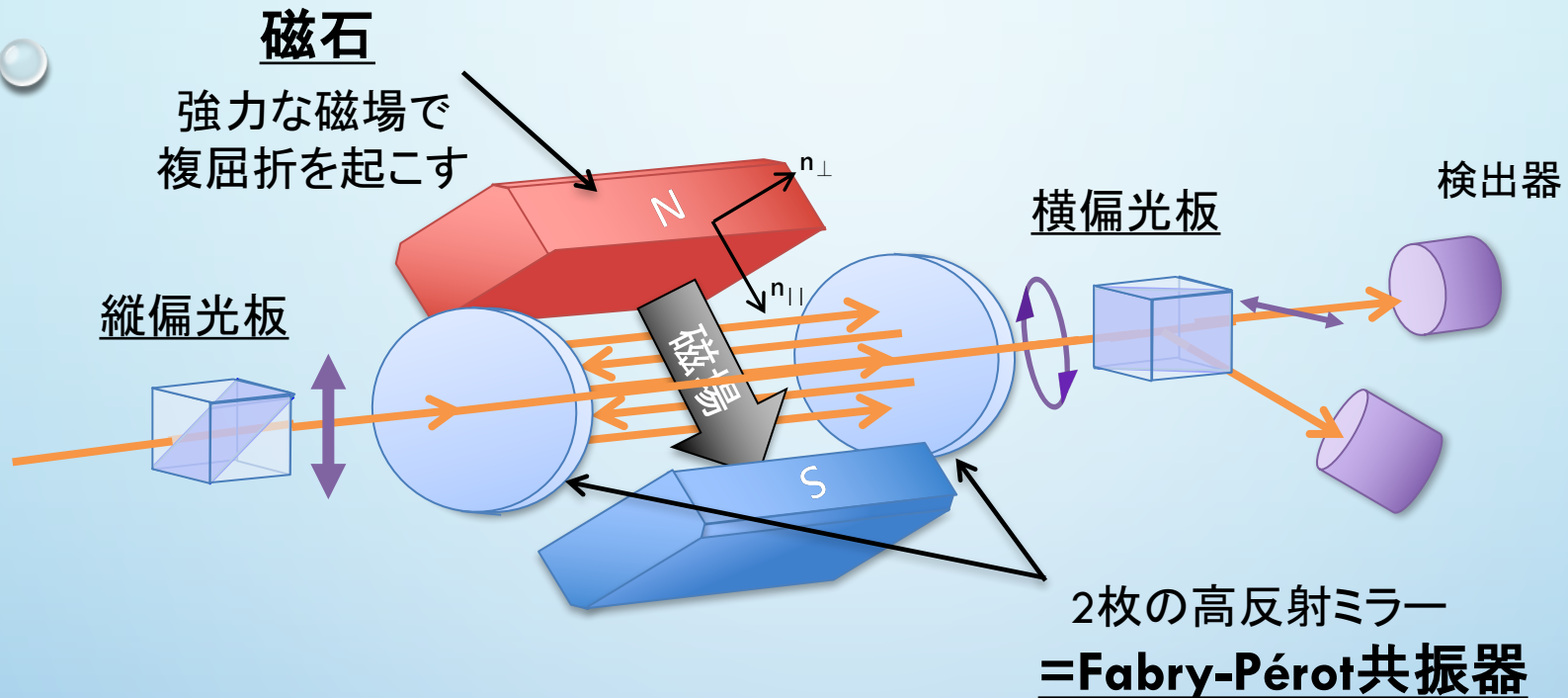
実粒子を飛ばすと
 $S \sim (g^2 B^2 L^2) \times (g^2 B^2 L^2)$
シグナルは g^4 依存

Vacuum Magnetic Birefringence Experiment



仮想粒子による偏光変化
 $\Delta n \sim g^2 B^2 L$
シグナルは g^2 依存

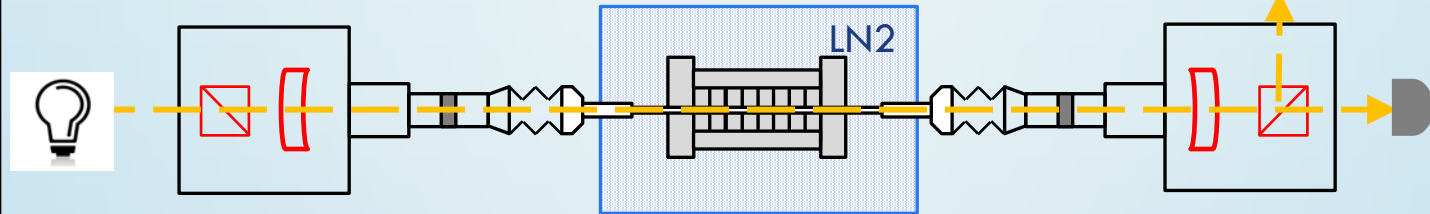
強磁場下での真空の複屈折探し



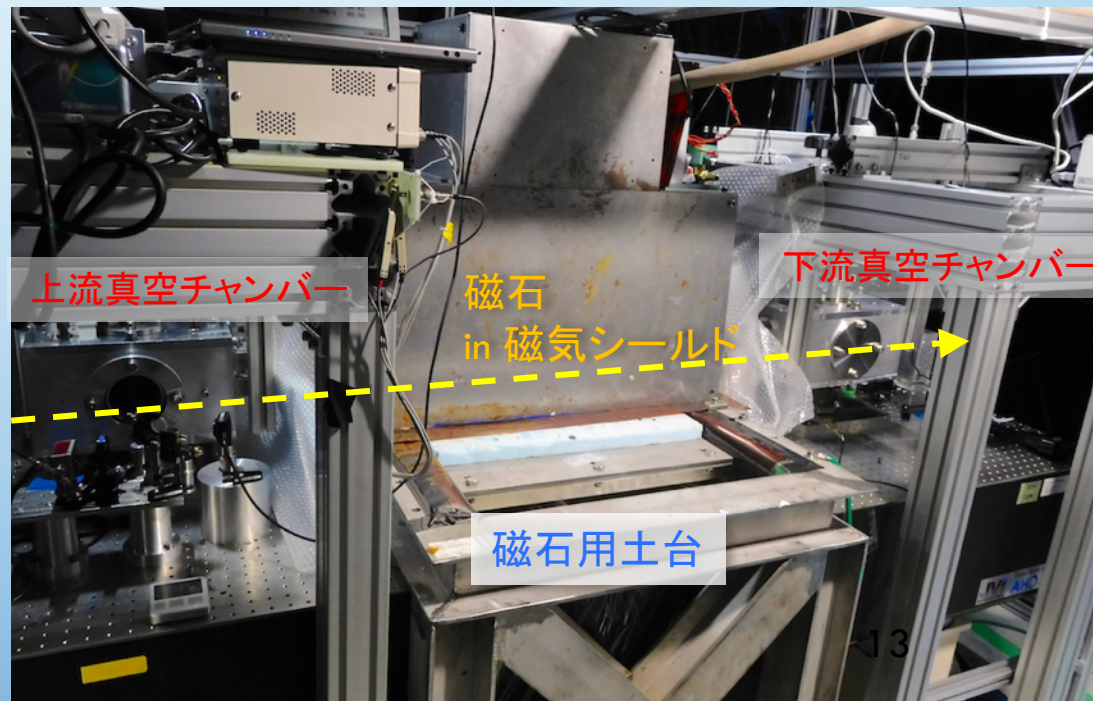
- 強磁場による真空偏極 QED: $\Delta n = 4 \times 10^{-24} \times (B[\text{T}])^2$ 、 $\Delta \alpha_{\text{axion}} = ?? \times (B[\text{T}])^2$
- 系統誤差を無くすためには、変動磁場が不可欠→パルス磁場
- 距離を稼ぐため、Fabry-Perot キャビティ($F \sim 600,000$)に赤外レーザーを溜める
- 偏光子(消光比 $< 10^{-6}$)により透過光の偏光検出

現物のセットアップ

2.4m × 1.2m 光学定盤



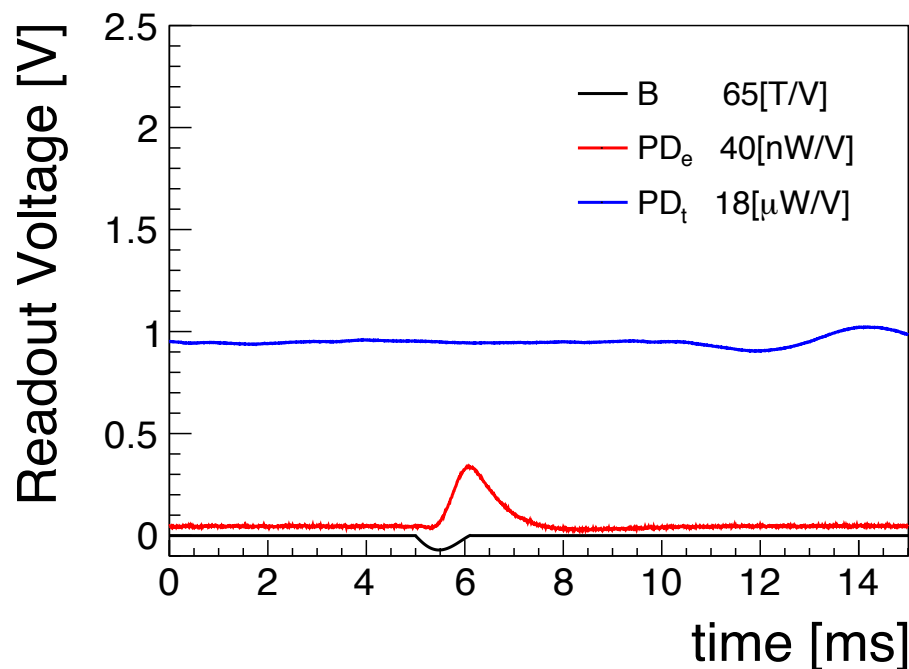
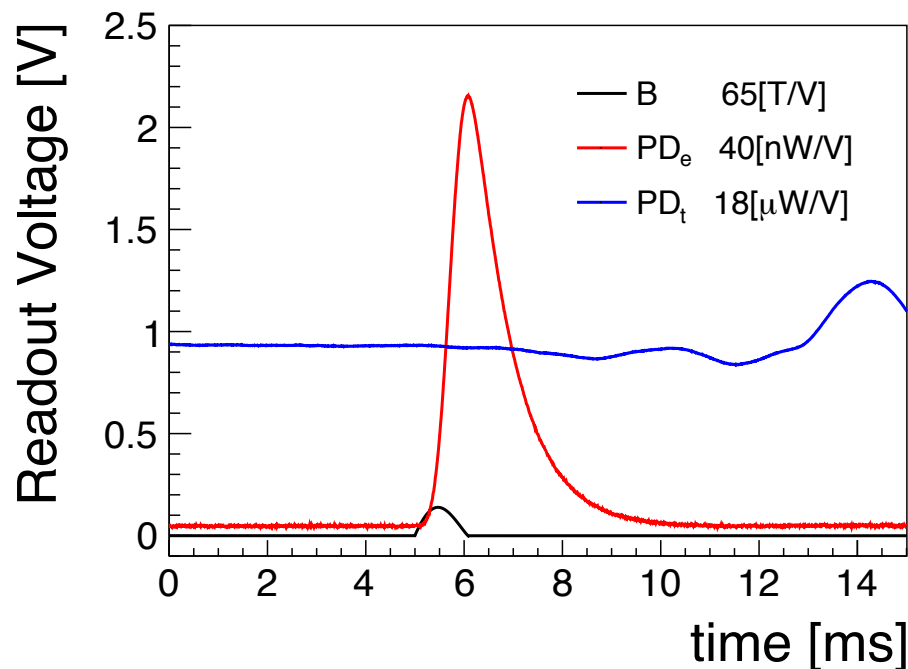
- 光学定盤とパルス磁石は切り離してマウント (力学的にも、電氣的にも)
- パルス励磁してもキャビティのロックは外れない！



シグナル例 (400パスカル窒素)

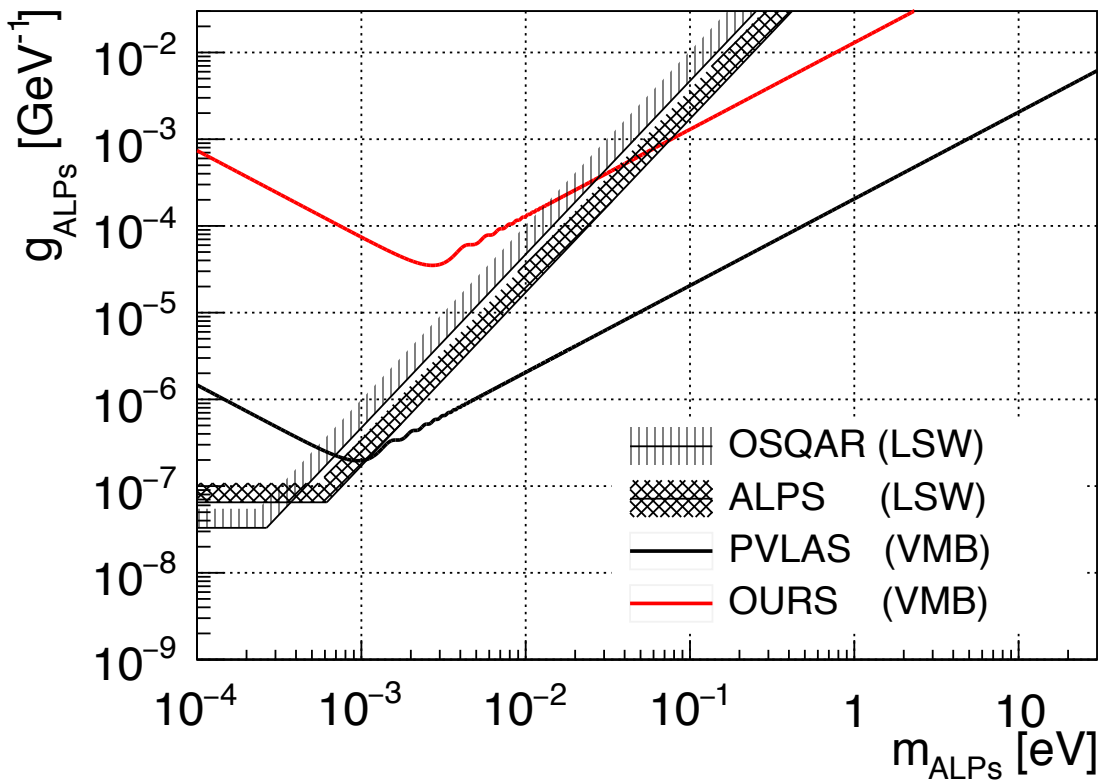
B=9.0 Tのとき

B=-4.5 Tのとき



- 窒素ガスにパルス磁場を印加すると、ガスのファラデー効果、複屈折効果がきれいに見える (理論値と一致)
- 振動はまわりこんで遅れてやってきているので、シグナル領域はきれい

現状、真空を測って得られた制限



- まだALPSやPVLASにはかないませんが、これから
- レーザー: 強度向上、安定化
- 磁石: 線材の変更による磁場向上
- PVLASくらいまでは数年で行けそう

まとめ



- Particle Physics として、新粒子を探しています
- (現状、「暗黒物質」まではちょっと遠いですが)
- X線 LSW: Hidden photon、ALPs
- パルス磁石の開発
- 真空複屈折によるALPs

