

# 液体キセノン中での金属の 反射率の評価

横国大工 ○富田賢典, 小田晋太郎, 菊地正人,  
小林尚史, 中村正吾, 橋本安章

# XMASS実験

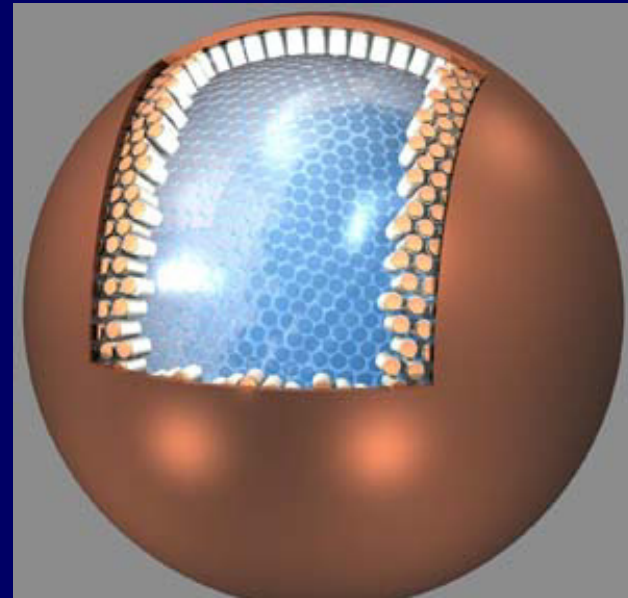
優れたシンチレータである液体キセノンを検出器として用いた実験

## <目的>

- ダークマター(宇宙暗黒物質)の探索
- 低エネルギー太陽ニュートリノの精密測定
- $0\nu$ -二重 $\beta$ 崩壊の検出

将来的には10tの液体キセノンを用いる。

10tの液体キセノンを用いたチェンバー  
装置概念図



# 液体キセノン中での金属の反射率

- 液体キセノンの容器として銅が用いられているが、液体キセノン中のシンチレーション光に対する反射率の報告はない。  
(真空中の反射率からliq.Xeの屈折率を用いて計算は可能)

測定には真空や低温が必要

前段階

★理論式の確認 ★測定技術の確立

XMASS	銅	シンチ光 真空紫外光	liq.Xe中
本実験	金	可視光	水中

★空気中と水中の金の反射率を測定し、計算式と比較を行った。



実験中の100kgのチェンバー(liq.Xeの容器は銅)

# 金の反射率の計算

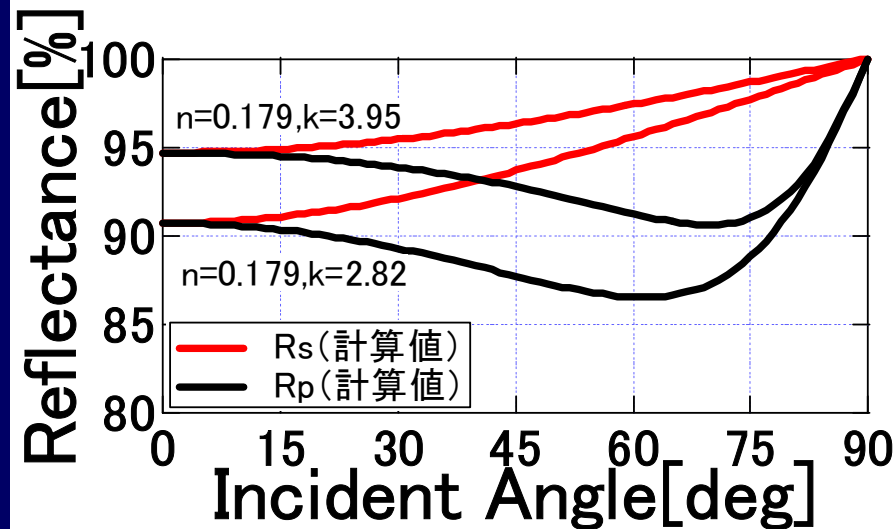
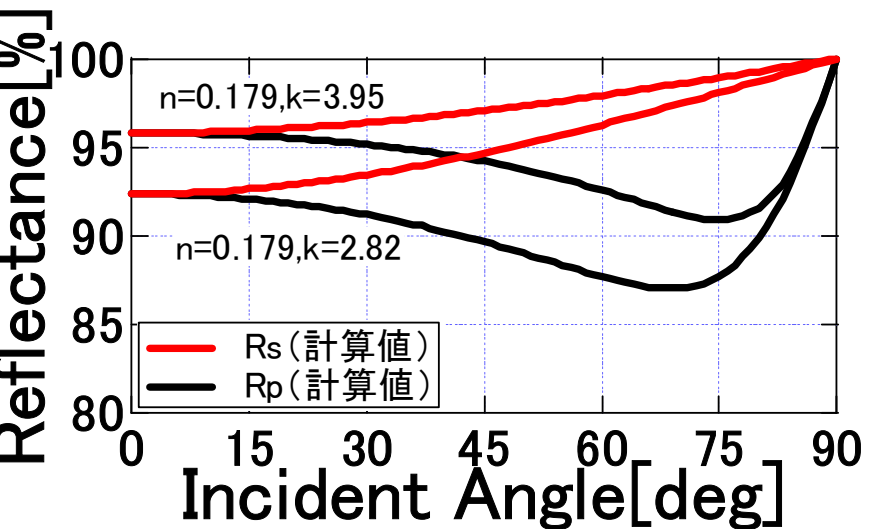
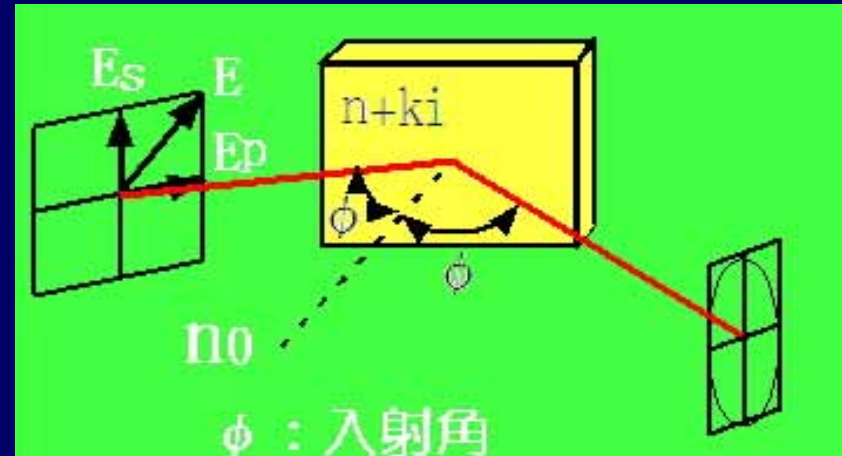
波長:  $\lambda = 632.8\text{nm}$  (He-Ne laser)

金:  $n=0.179, k=2.82 \sim 3.95$

(Handbook of Optical Constants of Solids)

空気の屈折率:  $n_0=1.00$ ,

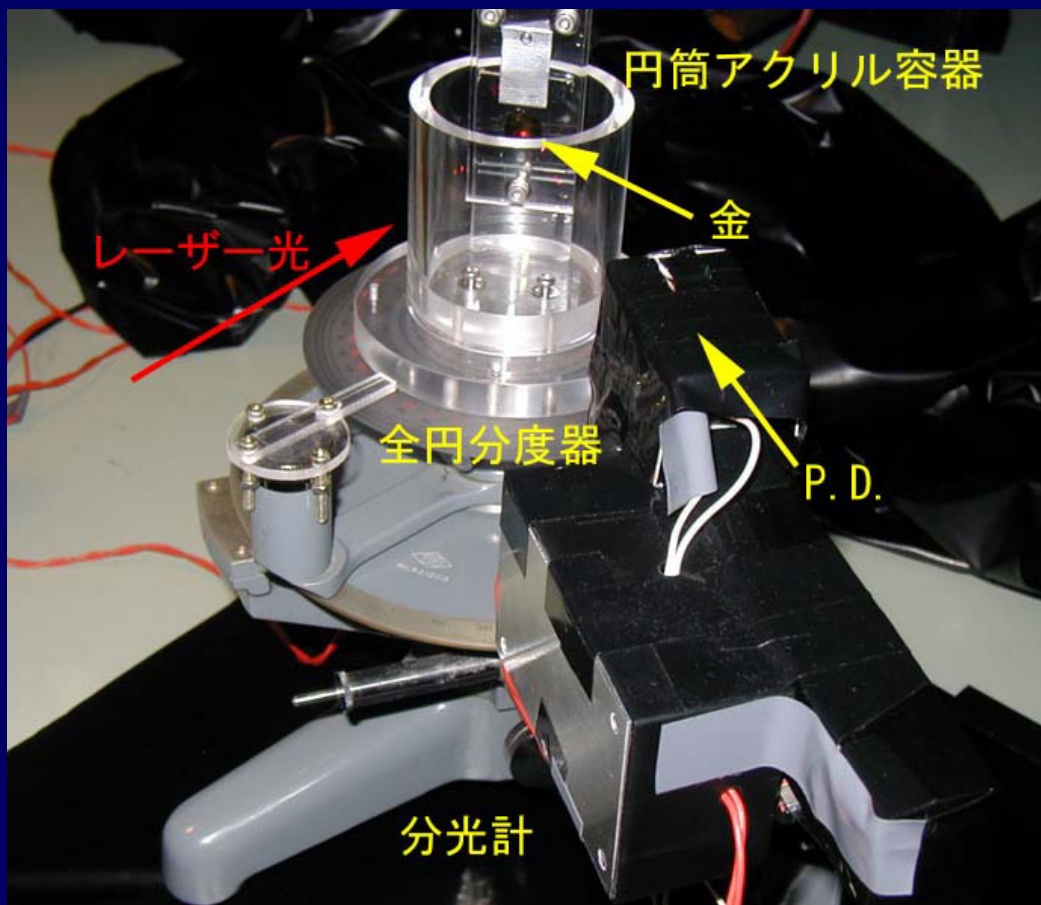
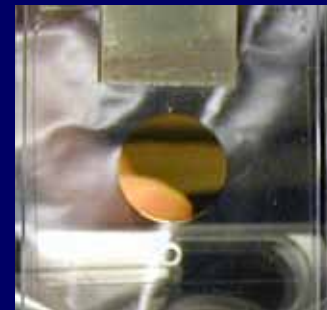
水の屈折率:  $n_0=1.33$



反射率の入射角度依存性  
(左: 空気中の金、右: 水中の金)

# 実験装置

- 試料: 真空蒸着した金 (厚み712nm) →
- 光源: He-Ne laser (波長632.8nm, polarized)
- 受光器: フォトダイオード (P.D.)

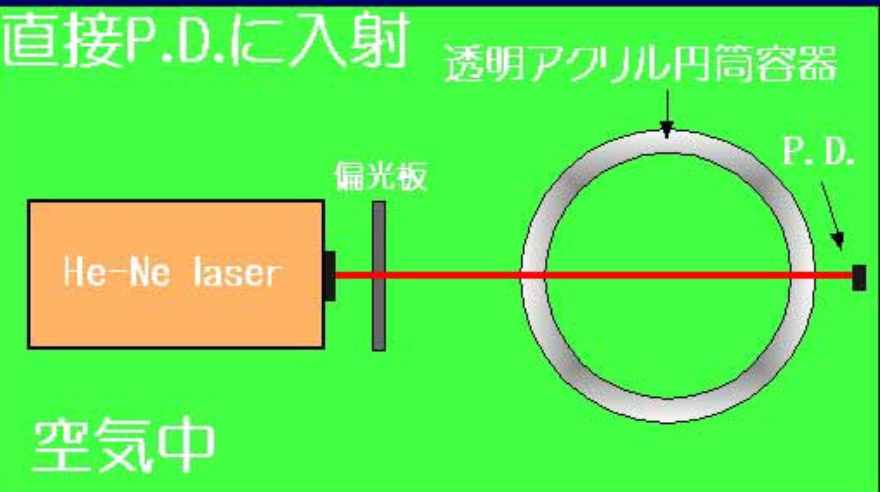


- 光の入射角は全円分度器で調節
- P.D.の位置は分光計で調節

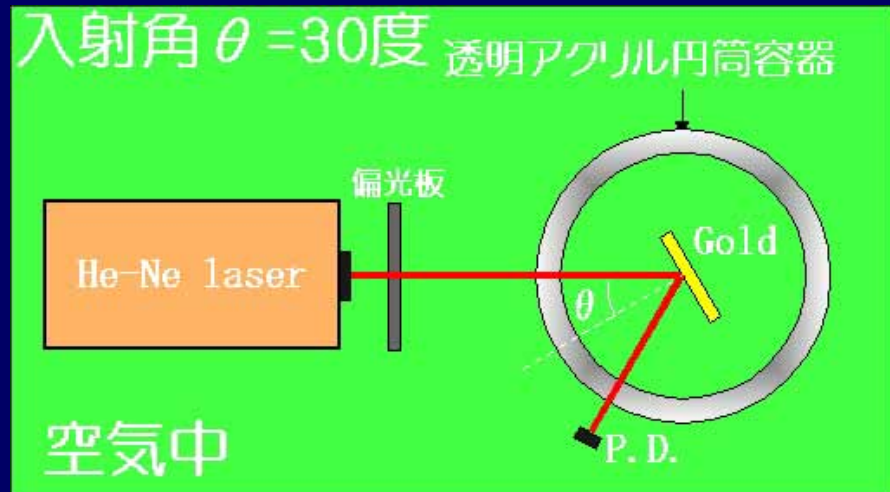
← 実験装置  
(分光計の周辺)



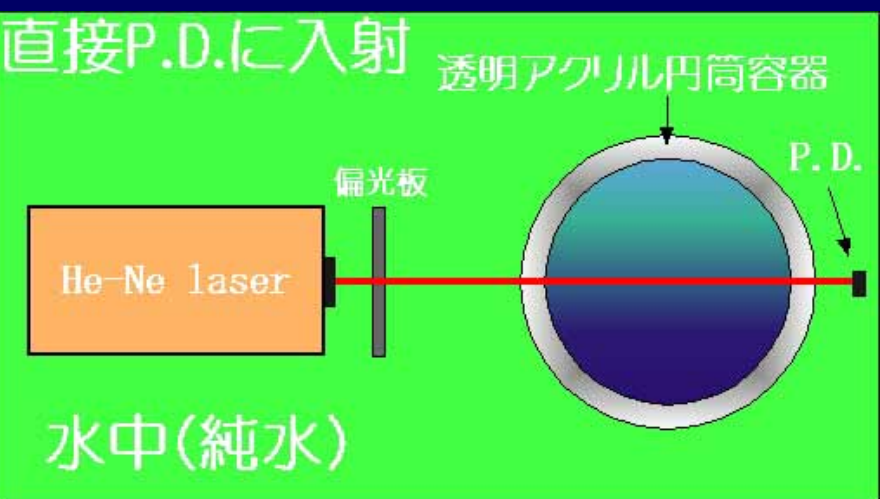
# 測定方法



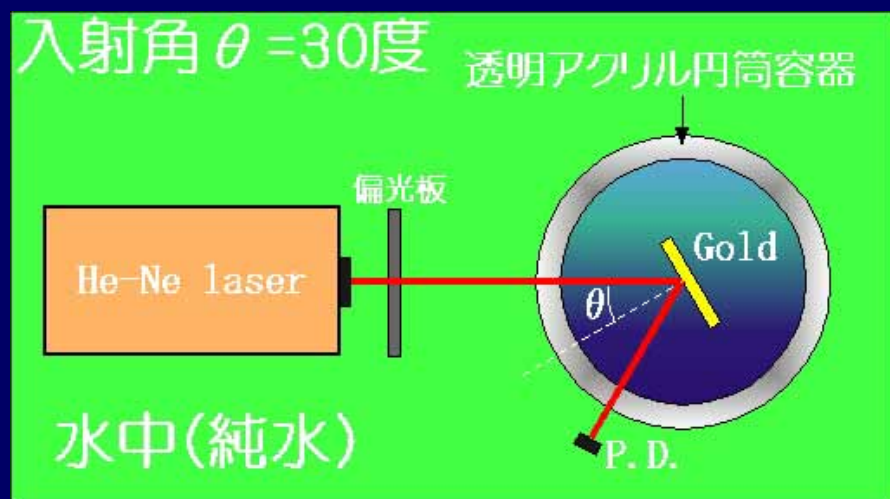
1



2

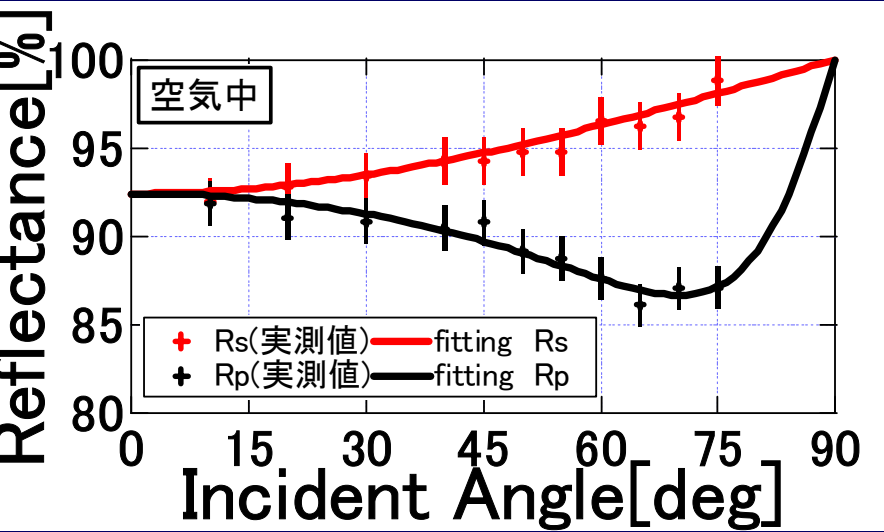


3



4

# 測定結果と計算式との比較

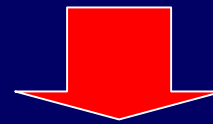


← 空気中の反射率に対して  
計算式をfitting

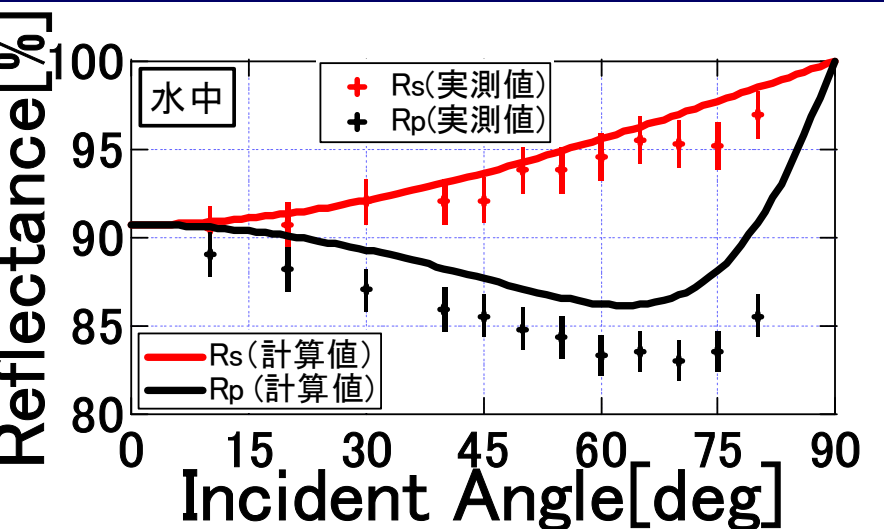
複素屈折率

$n=0.197 \pm 0.033$ ,  $k=2.99 \pm 0.33$

(文献:  $n=0.179$ ,  $k=2.82 \sim 3.95$ )



水中を計算



← 水中での反射率の計算値  
と実測値

● (水中の反射率) < (空气中)  
であることは一致。

● 最大で計算値より5%低い  
反射率。

# 結論

## <空気中の金の反射率>

- 文献からの計算値と測定値で一致が見られた。

測定から得られた金の複素屈折率

$$n=0.197 \pm 0.033, \quad k=2.99 \pm 0.33$$

## <水中の金の反射率>

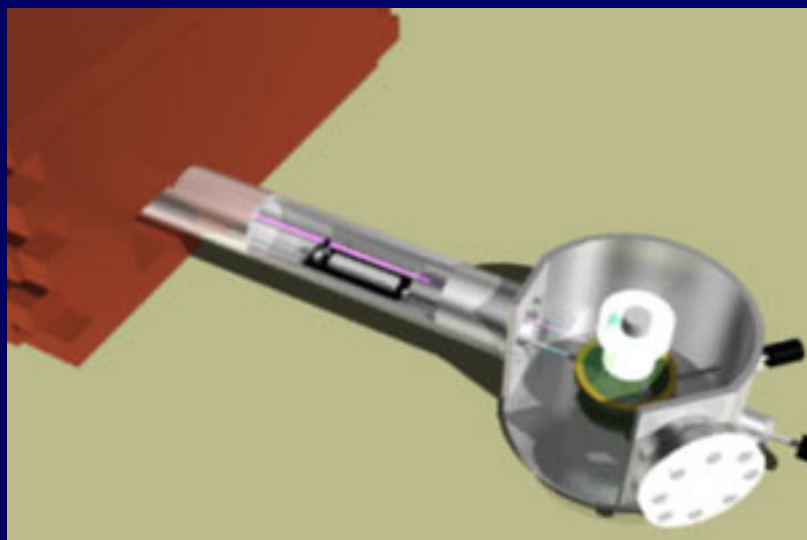
- 水中の反射率が空気中に対して低くなることを確認
- 入射角が大きいところでは実測値が計算値に比べて最大5%低くなった。→受光の漏れ？



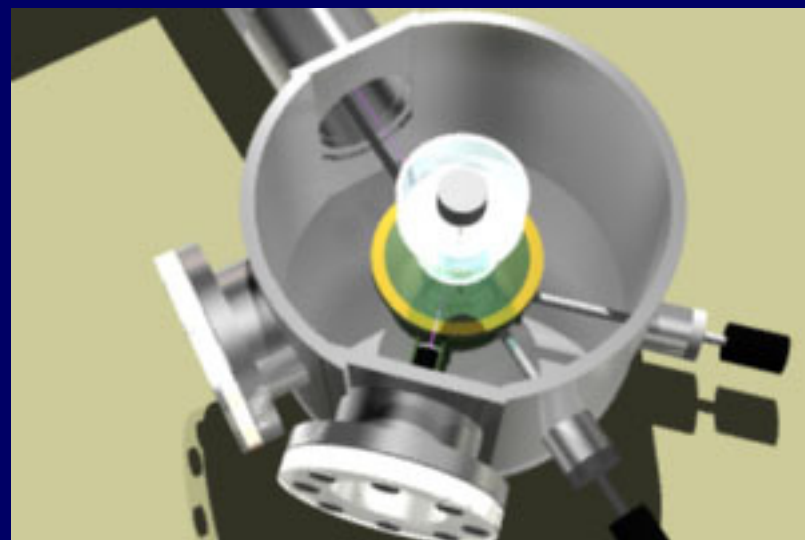
# 今後の課題

- 受光部にレンズを用いて光を絞って測定を行う。  
→光の漏れをチェック。
- 光の波長を変えて測定を行ってみる。
- 実際にliq.Xe中の銅について測定したい。

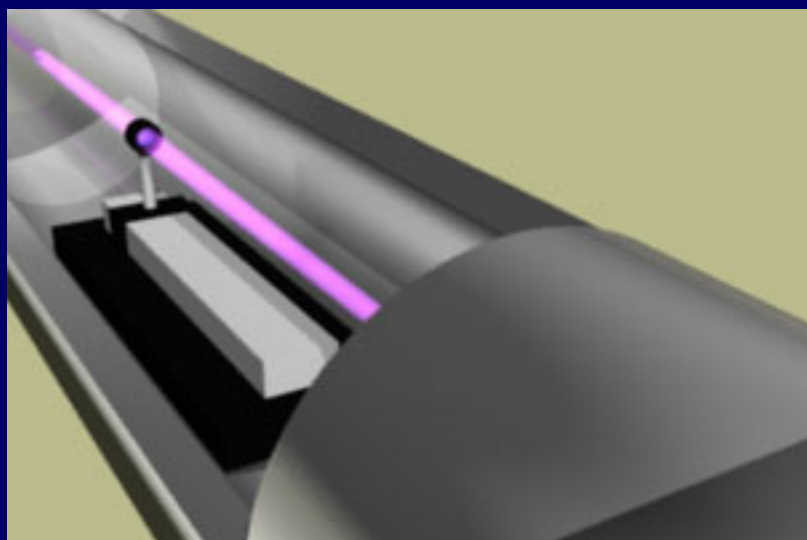
# liq.Xe中の銅の反射率測定装置概念図



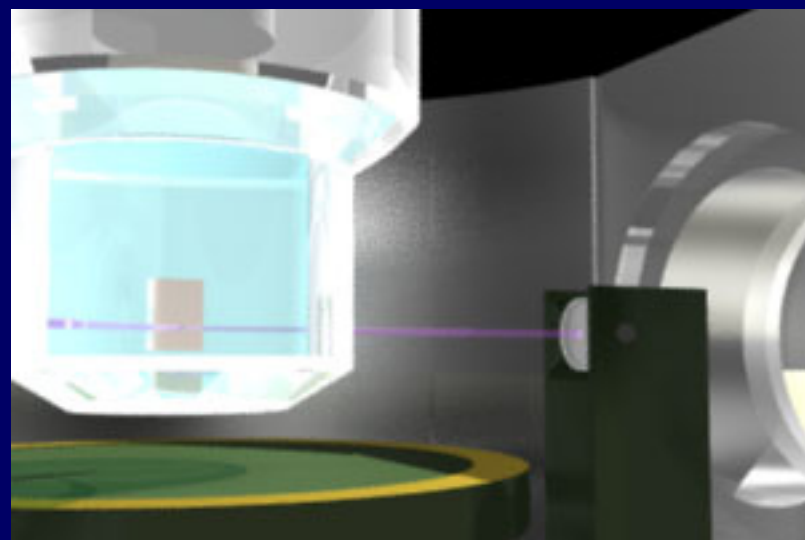
装置全体



セルの周り

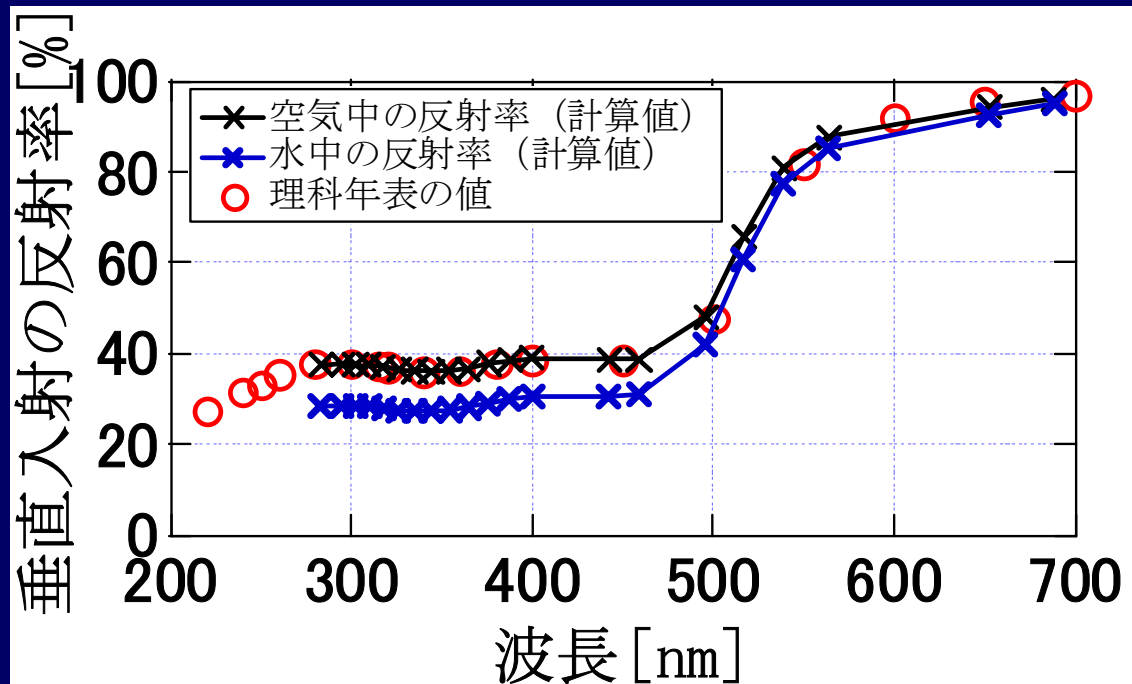


レンズと精密移動ステージ



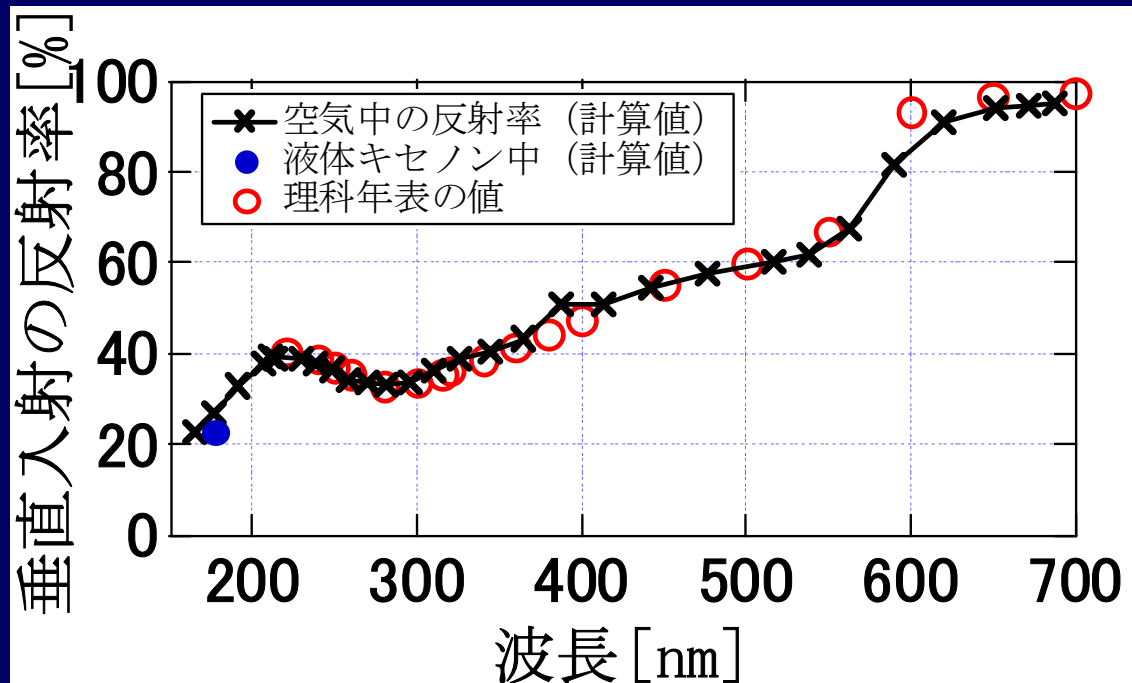
セルと光電子増倍管

# 金の反射率(垂直入射)の波長依存性



- 理科年表の値と計算値が良く一致している。
- 水中の反射率は空気中に比べて低い。

# 銅の反射率(垂直入射)の波長依存性

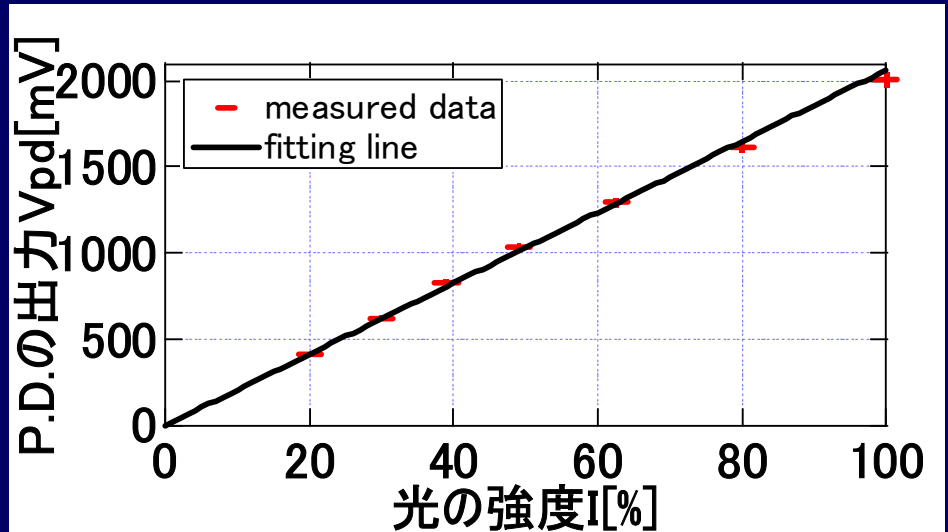


- シンチレーション光に対する液体キセノン中の銅の反射率23%  
(真空中では27%)

# 受光器、光源の特性



フォトダイオード  
BS520

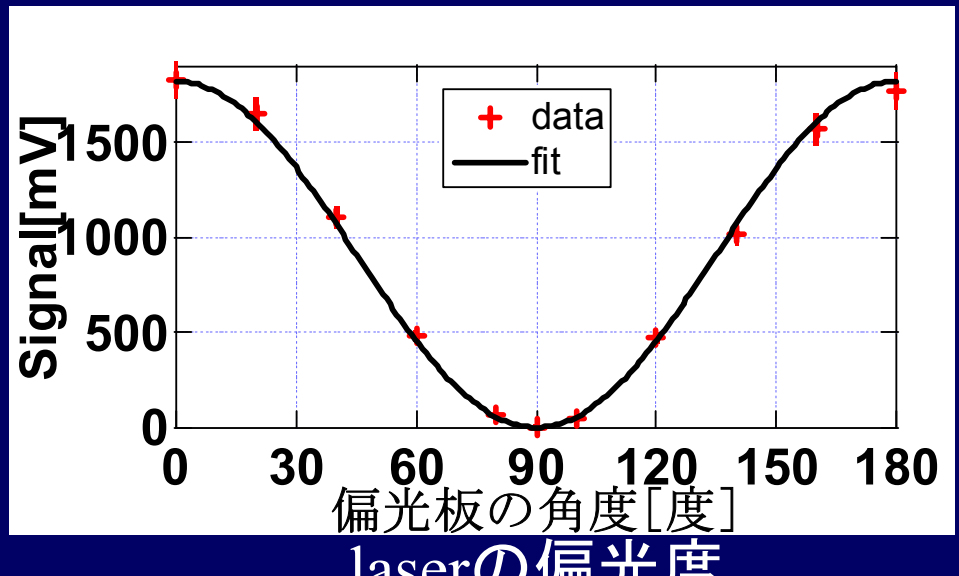


フォトダイオードの照度 - 電圧特性

He-Ne laser

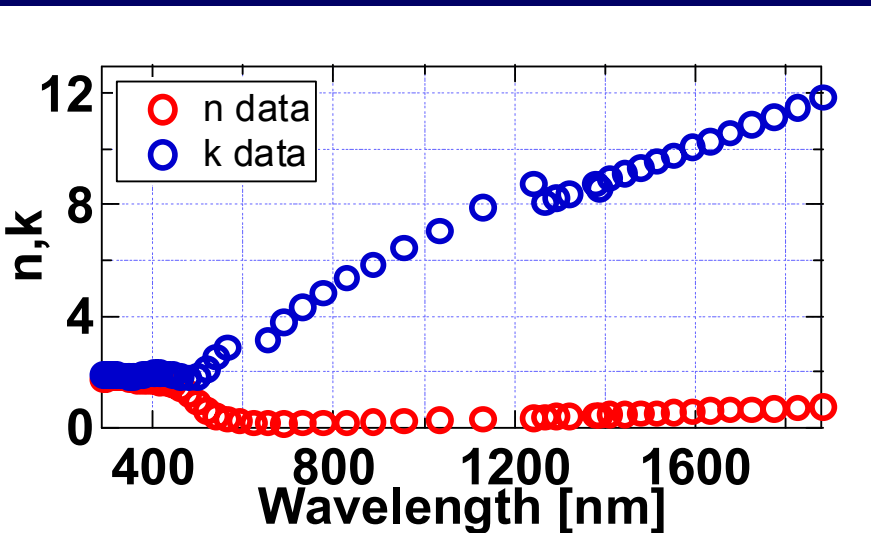


直線偏光している。



laserの偏光度

# 金の複素屈折率

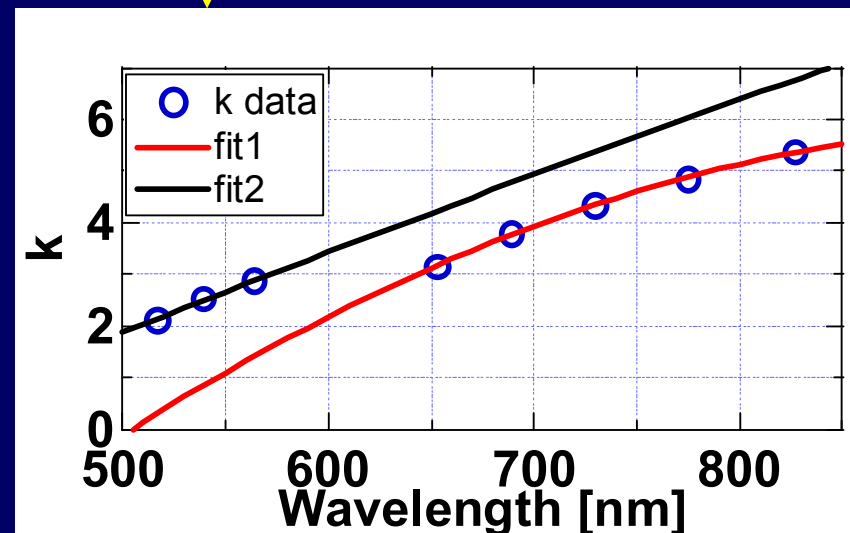
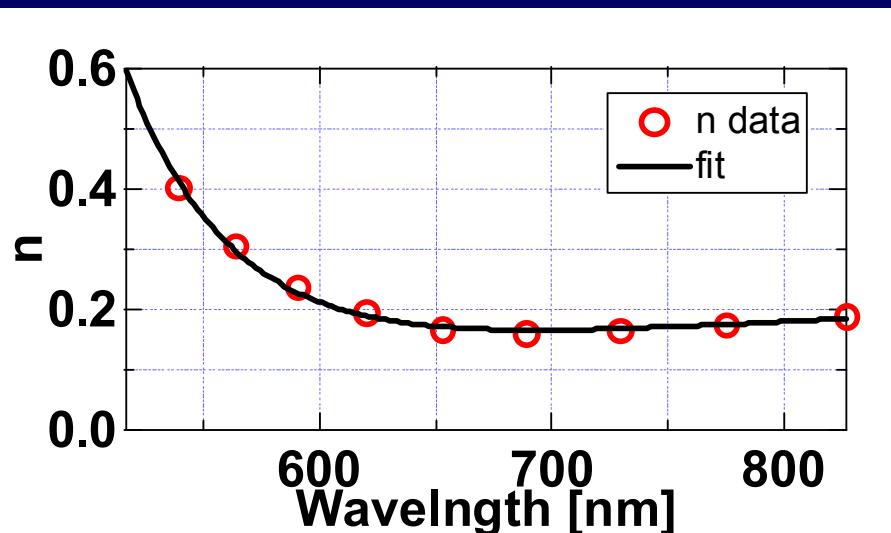


文献からの $n, k$ の値

$n, k$ に対するfitting

$n=0.179, k=2.82 \sim 3.95$

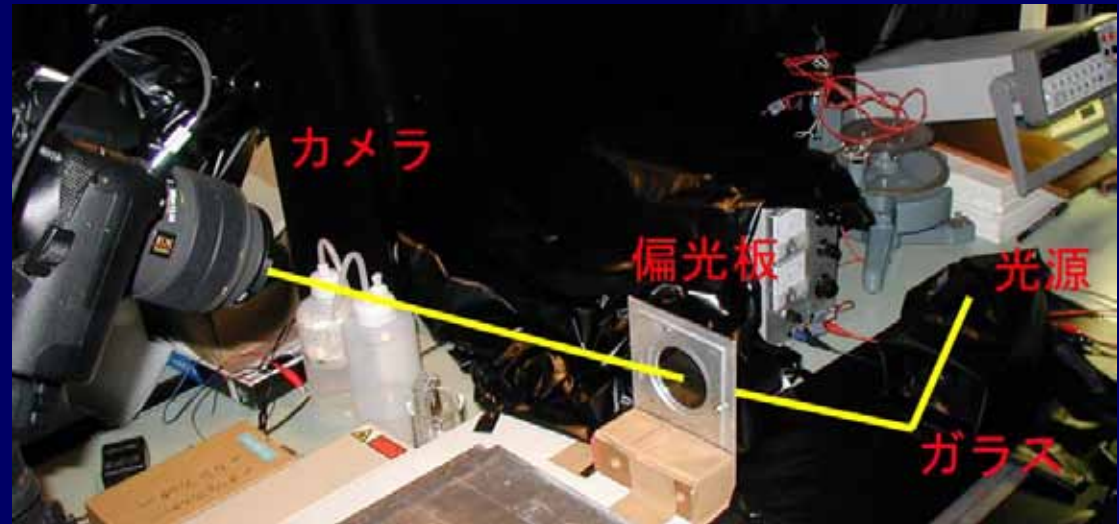
(波長632.8nm)



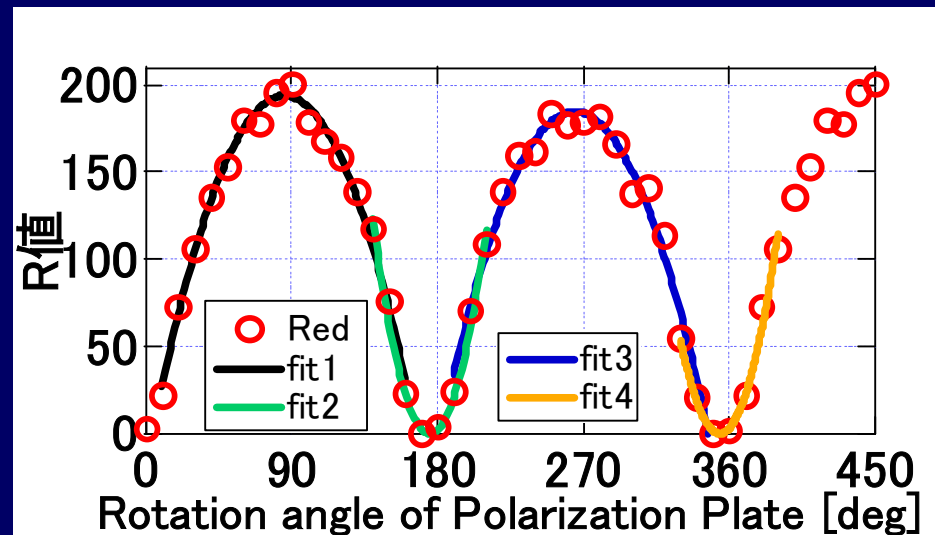


# 偏光板

偏光板の偏光軸  
の位置合わせ。



偏光板



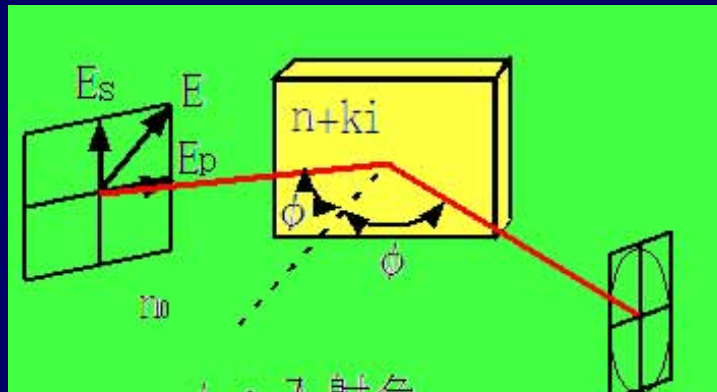
偏光板を回転させたときのR値の変化

# 理論的な反射率の計算

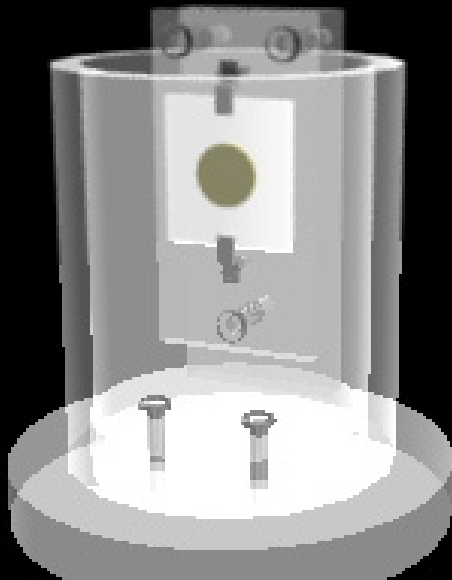
## 透明な媒質中での金属の反射率

$$R_s = \frac{(a - \cos\phi)^2 + b^2}{(a + \cos\phi)^2 + b^2} \quad R_p = R_s \cdot \frac{(a - \sin\phi \tan\phi)^2 + b^2}{(a + \sin\phi \tan\phi)^2 + b^2}$$

$$a^2 = \frac{1}{2} \left\{ \left[ \left( \left( \frac{n}{n_0} \right)^2 - \left( \frac{k}{n_0} \right)^2 - \sin^2 \phi \right)^2 + 4 \cdot \left( \frac{nk}{n_0^2} \right)^2 \right]^{1/2} + \left( \left( \frac{n}{n_0} \right)^2 - \left( \frac{k}{n_0} \right)^2 - \sin^2 \phi \right) \right\}$$
$$b^2 = \frac{1}{2} \left\{ \left[ \left( \left( \frac{n}{n_0} \right)^2 - \left( \frac{k}{n_0} \right)^2 - \sin^2 \phi \right)^2 + 4 \cdot \left( \frac{nk}{n_0^2} \right)^2 \right]^{1/2} - \left( \left( \frac{n}{n_0} \right)^2 - \left( \frac{k}{n_0} \right)^2 - \sin^2 \phi \right) \right\}$$

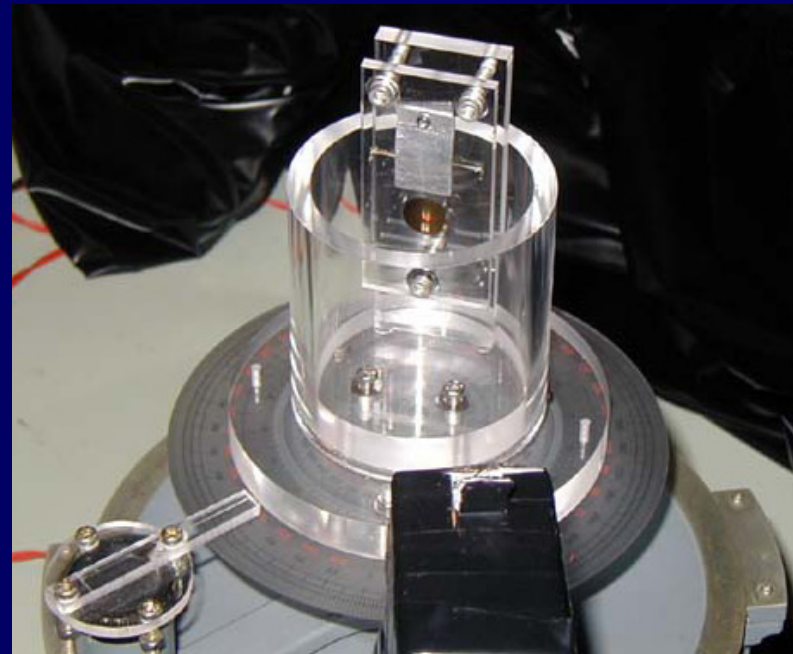


# 円筒容器



三つのねじで金の表面を自由に動かせる。

実際に分光計に取り付けられたアクリルの円筒容器の写真



# ☆ 液体キセノンの性質

- 沸点： $-108.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( 1 atm )
- 融点： $-111.9\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( 1 atm )
- 密度： $2.947\text{ g/cm}^3$  ( 1 atm )
- シンチレーション

$\lambda \sim 178\text{ nm}$  (←真空紫外光)

$n_{\gamma} \sim 42,000 / 1\text{ MeV}$

吸収長：1m以上？

散乱長：30  $\sim$  40 cm？