

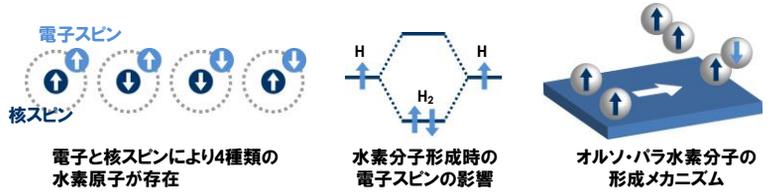
スピン偏極水素原子ビームの開発

Overview and Principle

■ スピン偏極水素原子ビーム

電子または核のスピンのそろった水素原子ビーム

オルソ・パラ水素分子生成メカニズムの解明や表面磁性のプロブとしての応用



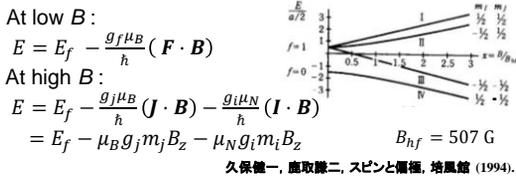
■ 磁場 B 中の水素原子のエネルギーと状態

水素原子の角運動量と磁場の関係

全角運動量 $F = J + I$ J : 電子の角運動量, I : 核の角運動量

超微細相互作用 $H_{IJ} = a I \cdot J$ a : 超微細構造相互作用定数

▶ 基底状態 ($B = 0$) ではエネルギー分裂 ($\sim \mu\text{eV}$)



久保健一, 藤取謙二, スピンと偏極, 培風館 (1994).

エネルギーに対応する固有関数

$\uparrow\downarrow$: electron spin, $+-$: nuclear spin

$$|I\rangle = |\uparrow\uparrow\rangle \quad (m_j = 1/2, m_i = 1/2)$$

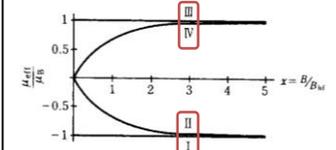
$$|III\rangle = \sqrt{(1+\delta)/2} |\uparrow-\rangle + \sqrt{(1-\delta)/2} |\downarrow+\rangle \quad (m_j = 1/2, m_i = -1/2)$$

$$|III\rangle = |\downarrow-\rangle \quad (m_j = -1/2, m_i = -1/2)$$

$$|IV\rangle = \sqrt{(1-\delta)/2} |\uparrow-\rangle + \sqrt{(1+\delta)/2} |\downarrow+\rangle \quad (m_j = -1/2, m_i = 1/2)$$

ただし $\delta = X/\sqrt{1+X^2}$, $X = B/B_{hf}$

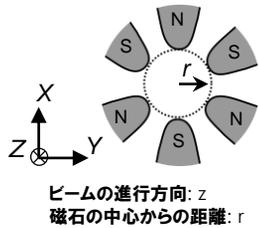
有効磁気モーメント μ_{eff}



スピン偏極率 (I, II のみを考える)

	Electron spin	Nuclear Spin
$B = 0$	75% \uparrow 25% \downarrow	75% \uparrow 25% \downarrow
$B \gg B_{hf}$	100% \uparrow	50% \uparrow 50% \downarrow

■ 六極磁石によるスピン状態選別



六極磁場中のポテンシャル ϕ , 磁場勾配 $\nabla|B|$:

$$\phi = ar^3 \cos 3\theta \quad a: \text{比例定数}$$

$$\Rightarrow \nabla|B| = 6ar \cdot r_1 \quad r_1: r \text{ 方向の単位ベクトル}$$

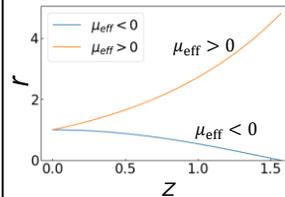
水素原子の運動方程式:

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = \mu_{eff} \nabla|B| \quad \Rightarrow \quad \frac{d^2 r}{dz^2} = \frac{6a\mu_{eff}}{mv^2} r$$

$$\frac{dz}{dt} = v \quad \mu_{eff}: \text{有効磁気モーメント}$$

m : 水素原子の質量
 v : 水素原子の速度

六極磁場中での水素原子の軌跡



I, II ($\mu_{eff} < 0$) の状態 ▶ 収束
III, IV ($\mu_{eff} > 0$) の状態 ▶ 発散

軌跡の収束点にアパチャーを置くことにより、スピン偏極ビームが得られる

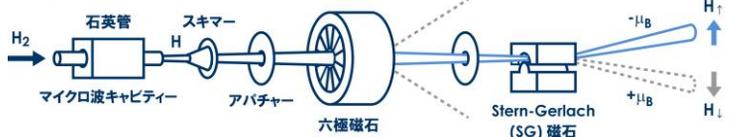
Instrument

■ 実験装置

スピン偏極水素原子ビーム

- マイクロ波放電 (2.45 GHz) ▶ 水素分子の解離
- スキマー・アパチャー ▶ ビーム化
- 六極磁石 (HM) ▶ スピン選別
- Stern-Gerlach (SG) 磁石 ▶ スピン位置分離

スピン偏極水素原子ビーム



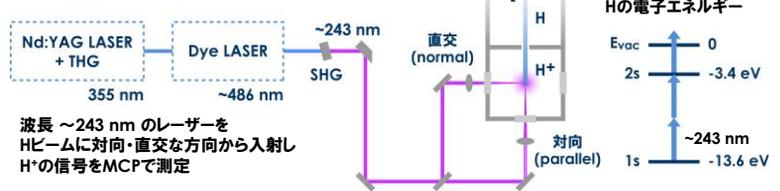
六極磁石により上向きスピンをもつものは収束され下向きスピンをもつものは発散される

S. Ogura et al., J. Vac. Soc. Jpn. 54, 192 (2011)

多光子共鳴イオン化法 (REMPI)

$1s \rightarrow 2s$ の (2+1) REMPI による水素原子の検出
共鳴波長 243.1367 nm (~ 5.099 eV)

REMPI測定



レーザーを空間的に走査することでスピン偏極率を測定することができる

Typical Data

■ REMPIによる水素原子の検出

マイクロ波放電にともなって信号が出現

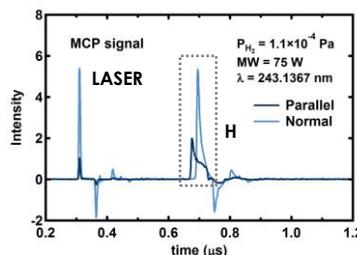
■ 水素原子ビームの速度測定

ピーク面積の波長依存性 (共鳴イオン化スペクトル)

ドップラー効果により対向入射の共鳴波長が直交入射より長波長側へシフト

$\lambda' = \lambda(1 - v_H/c)$ λ, λ' : 直交, 対向の共鳴波長
 v_H : 水素ビームの速度, c : 光速
Hの速度: 1225 m s^{-1}

REMPI信号



共鳴イオン化スペクトル

