

連成振り子と弾性振り子の実験

—誘導放出、自然放出、自発的対称性の破れ—

霜田光一

1. 連成振り子の実験

長さの等しい2つの振り子が結合した連成振り子の固有振動は連成振動とは異なる。

固有振動の振幅は $A(x, y, z, t) = \phi(x, y, z) \exp(i\omega t)$ 、

固有エネルギーは $E = \hbar\omega$ で、対称モードと反対称モードがある。

アンモニアのマイクロ波スペクトル(inversion spectrum)も同様。

対称性の異なる固有状態の間の遷移で双極子モーメントが誘起される。

調和振動子、水素原子、量子井戸のスペクトルも物理は同じ。

2. 誘導放出と自然放出

共鳴電磁波の擾動による誘導遷移でコヒーレント双極子モーメントが誘起される。

反転分布でメーザー、レーザーが発明された。

自然放出確率は、なぜ周波数の3乗に比例するのか？

量子コヒーレンス(波動性)と量子跳躍(粒子性)の相補性

$$\Delta n \Delta \phi > 1, \quad \Delta E \Delta t > \hbar$$

3. 捩れ振動と伸縮振動の連成振動の実験

異種の振動の結合でも共鳴すれば連成振動が起こる。

多原子分子の振動スペクトルで観測された。

4. 弾性振り子の連成振動と固有振動の実験

振り子の長さがバネで伸縮する弾性振り子の伸縮振動の周期の2倍が振り子振動の周期に等しいとき、連成振動が生じる。最初に伸縮振動を始めると、やがて伸縮振動は減衰して振り子振動が始まり、次には振り子振動が減衰して伸縮振動になり、これを繰り返す。

このとき振り子の振動面は毎回異なる。伸縮振動が最大になったとき、振り子運動が止まっているので、次に起こる振り子運動の振動面が決まるのは“対称性の自発的破れ”である。これが自発的であることは、実験的に示すこともできる。

ぶらんこもパラメトロンもパラメトリック振動であるが、強制振動であって、連成振動ではない。

弾性振り子の固有振動は、振り子の傾きとバネの伸縮の大きさを整合させた初期条件で実現される。連成振動では、振り子運動の振動面は不定であるが固有振動の振動面は不変である。

重りにバネと紐を直列につないだ振り子では、紐の長さを変えると伸縮振動の周期は変わらないで、振り子の周期が変わるので、紐の長さを調節して共鳴条件を実現することができる。この実験では、0.1%程度まで精密に共鳴させる必要がある。

最初は輪ゴムに重りをつけて実験し、振り子と伸縮の連成振動が起こることを確認した。しかしゴムでは減衰が大きいのので、ピアノ線でいろいろのばねを作り、試行錯誤により適当な振動数で減衰の小さい弾性振り子を完成した。