

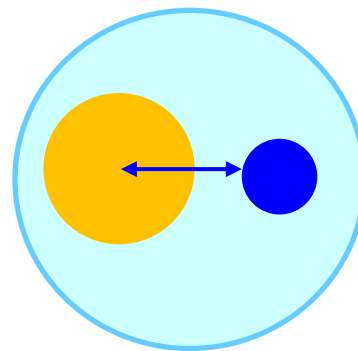
# ハイパー核のソフト・ダイポール振動

湊太志 (JAEA)

萩野浩一 (東北大学)



TOHOKU  
UNIVERSITY



1. はじめに: ハイパー核の集団運動
2. RPA 計算
3. 和則による系統的な解析
4. まとめ

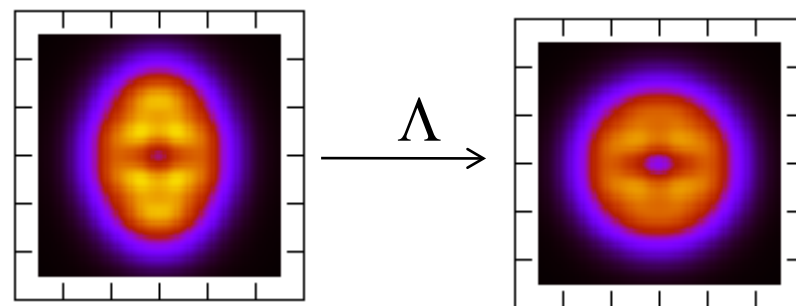
# はじめに:ハイパー核の集団運動

## 集団運動:量子多体系の特徴

- $\Lambda$ 粒子が付加されると集団運動がどのように変化するか?
- $\Lambda$ 粒子が付加されると新たなモードが発生しないか?

### ■ ハイパー核の変形

- Myaing Thi Win and K.H.,  
PRC78('08)054311
- Myaing Thi Win, K.H., and T. Koike,  
PRC83('11)041303(R)



### ■ ハイパー核の回転運動

- J.M. Yao, Z.P. Li, K.H., et al., NPA868('11)12
- K.H. and T. Koike, PRC84('11) 064325

### ■ ハイパー核の表面振動

- F. Minato and K.H., PRC85('12)024316

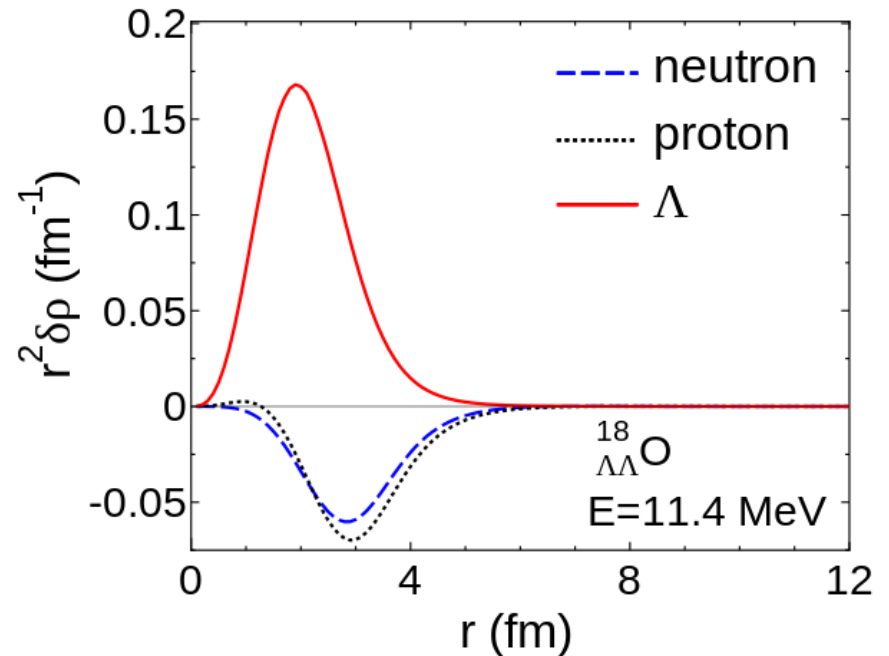
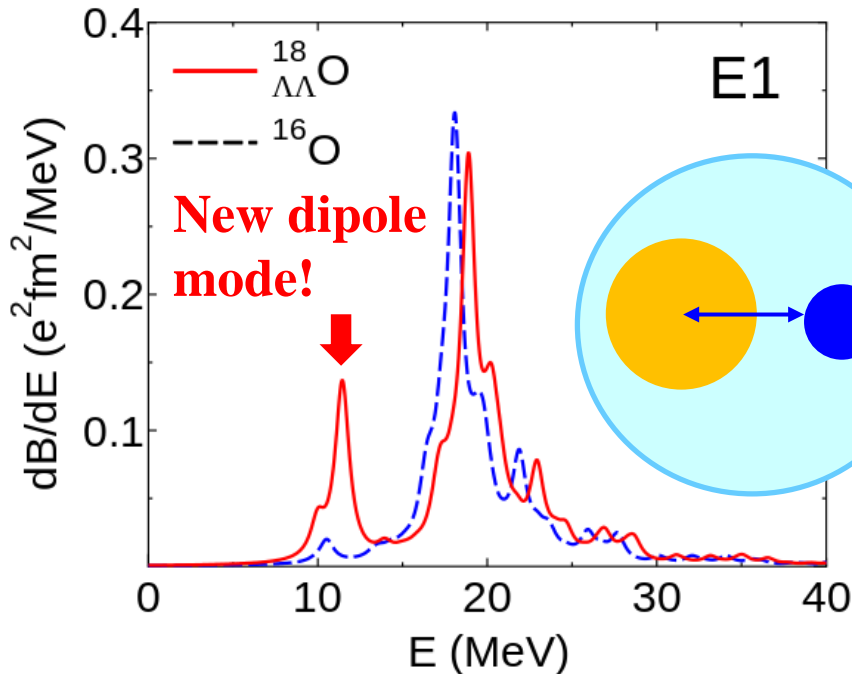
# ハイパー核の表面振動

## 乱雑位相近似 (RPA) の拡張

$$Q^\dagger = \sum_{p,h \in p,n,\Lambda} (X_{ph} a_p^\dagger a_h - Y_{ph} a_h^\dagger a_p)$$

${}^{18}_{\Lambda\Lambda}\text{O}$ への適用 ← 偶数粒子系

芯核のまわりを $\Lambda$ 粒子が双極子振動



cf. ハロー核のソフト・ダイポール振動

Skyrme HF + RPA

SkM\* + Yamamoto No. 5 + Lansky S $\Lambda\Lambda$ 1

F. Minato and K.H., PRC85('12)024316

# 和則を用いた系統的な解析

## 動機:

- ✓ 系統的な解析 (振動エネルギーの質量数依存性)
- ✓ single- $\Lambda$ ハイパー核の Soft Dipole  $\Lambda$  Mode (SDLM)



## 和則 (Sum Rule) を用いた解析

和則: 
$$m_k \equiv \sum_i (E_i - E_0)^k |\langle \Psi_i | \hat{F} | \Psi_0 \rangle|^2$$

←→ 基底状態における各種演算子の期待値

$$\begin{aligned} m_0 &= \langle \Psi_0 | \hat{F}^\dagger \hat{F} | \Psi_0 \rangle \\ m_1 &= \frac{1}{2} \langle \Psi_0 | [\hat{F}, [H, \hat{F}]] | \Psi_0 \rangle \end{aligned}$$

→  $\bar{\omega} = m_1 / m_0$

## E1 演算子

$$\hat{F}_\mu = e \sum_{i \in p} (r_i Y_{1\mu}(\hat{r}_i) - R Y_{1\mu}(\mathbf{R}))$$

ハイパー核全体の重心  
から測った陽子の座標

$$\mathbf{R} = \frac{1}{M} \left( m \sum_{i \in n,p} \mathbf{r}_i + m_\Lambda \mathbf{r}_\Lambda \right), \quad M = m_N(Z + N) + m_\Lambda$$

これをリアレンジすると

$$\hat{F}_\mu = \hat{F}_\mu^{(\text{core})} + \hat{F}_\mu^{(\Lambda)}$$

$$\hat{F}_\mu^{(\text{core})} = e \frac{NZ}{N+Z} (R_p Y_{1\mu}(\hat{R}_p) - R_n Y_{1\mu}(\hat{R}_n))$$

陽子・中性子間の  
双極子振動

$$\hat{F}_\mu^{(\Lambda)} = -e \frac{Z m_\Lambda}{M} (r_\Lambda Y_{1\mu}(\hat{r}_\Lambda) - R_c Y_{1\mu}(\hat{R}_c))$$

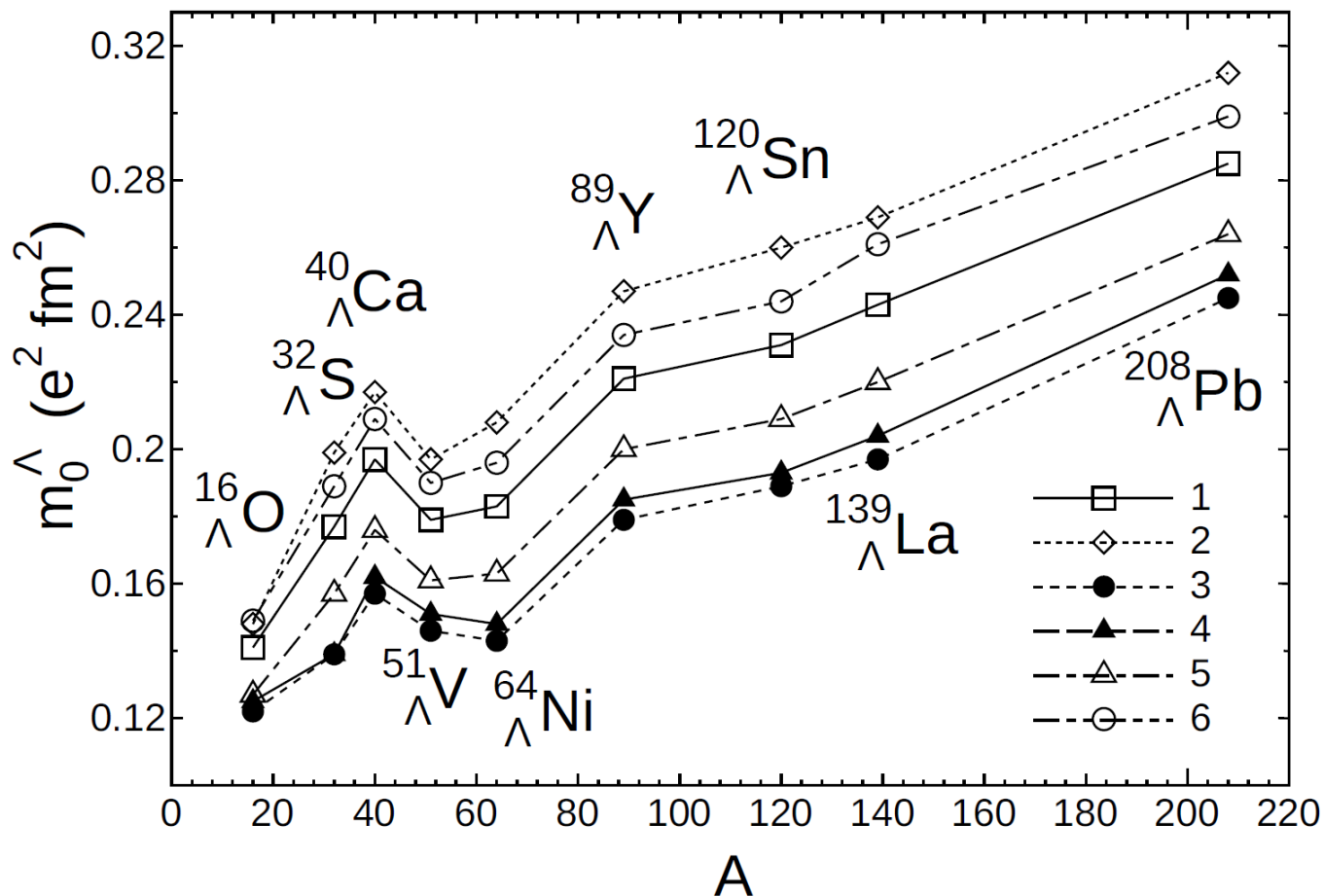
$\Lambda$ ・芯核間の  
双極子振動

$F^{(\Lambda)}$  を用いて和則を計算する:

$$m_0 = \langle \Psi_0 | \hat{F}_0^{(\Lambda)} \hat{F}_0^{(\Lambda)} | \Psi_0 \rangle, \quad m_1 = \frac{1}{2} \langle \Psi_0 | [\hat{F}_0^{(\Lambda)}, [H, \hat{F}_\mu^{(\Lambda)}]] | \Psi_0 \rangle$$

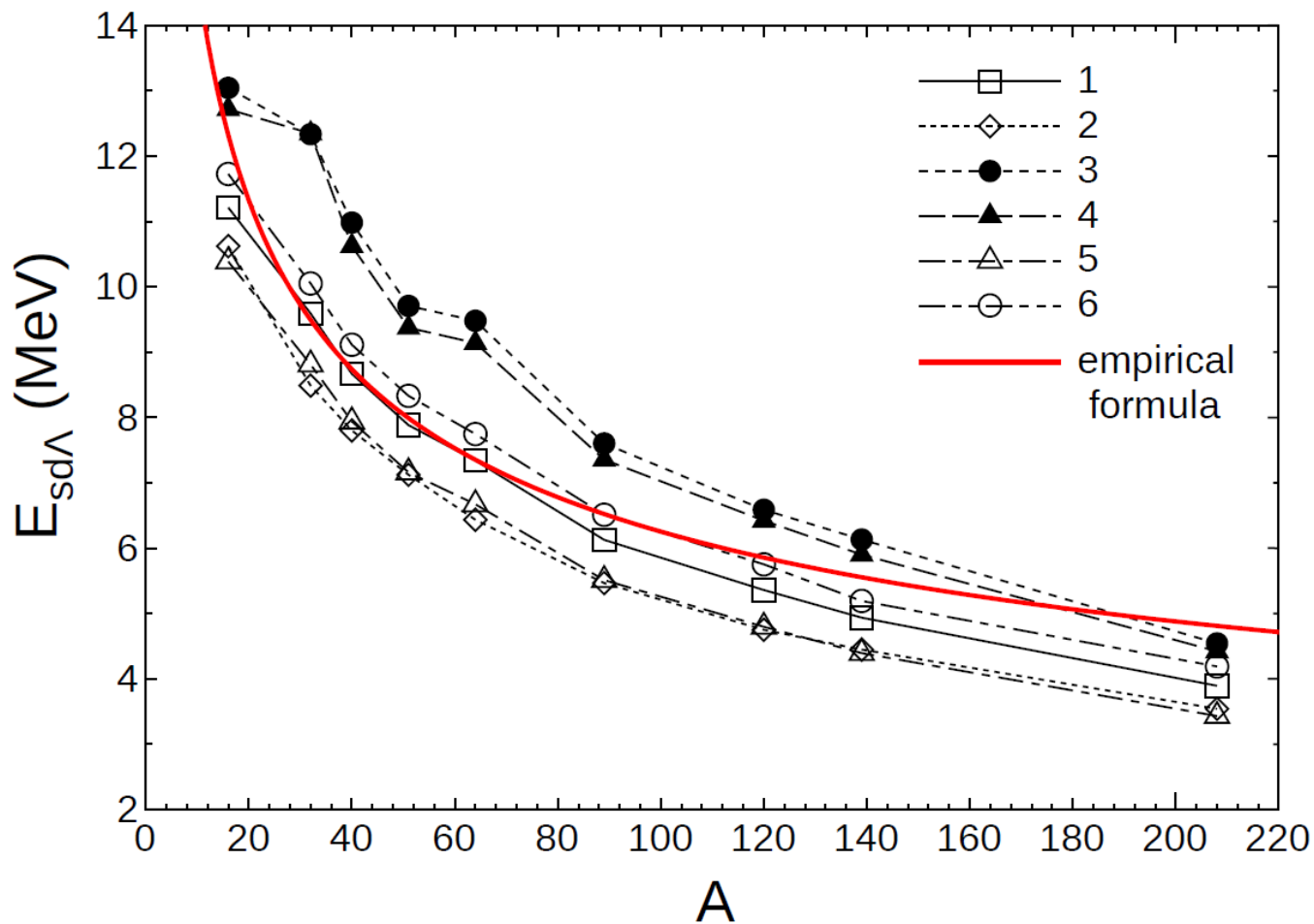
non-energy weighted sum rule

$$m_0^\Lambda = \frac{e^2}{4\pi} \left( \frac{Zm_\Lambda}{M} \right)^2 \left( \langle r^2 \rangle_\Lambda + \frac{1}{(N+Z)^2} \langle r^2 \rangle_c \right)$$



基底状態: Skyrme Hartree-Fock 法 (球対称を仮定)  
 相互作用: SkM\* + Yamamoto 1-6

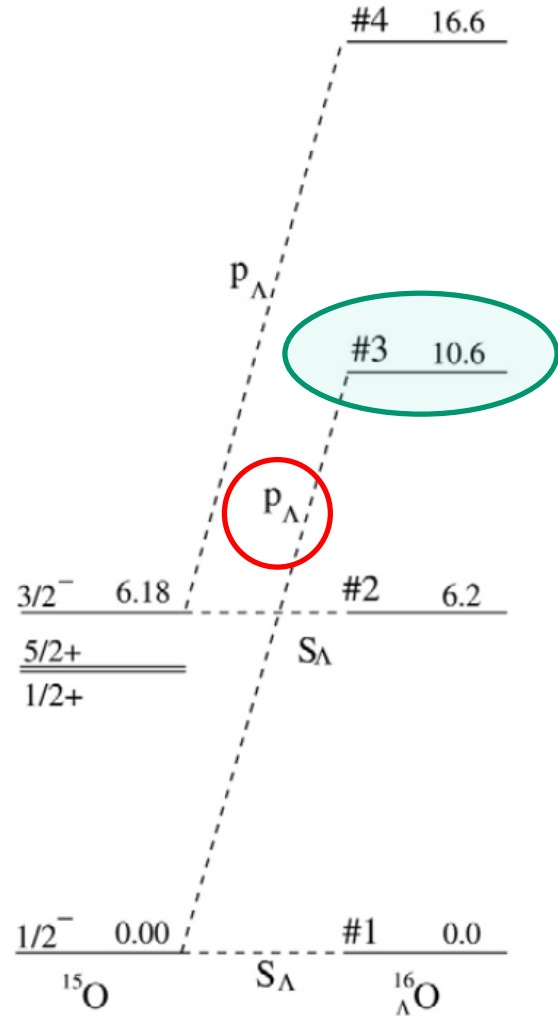
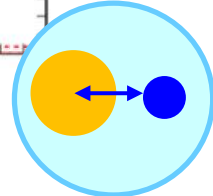
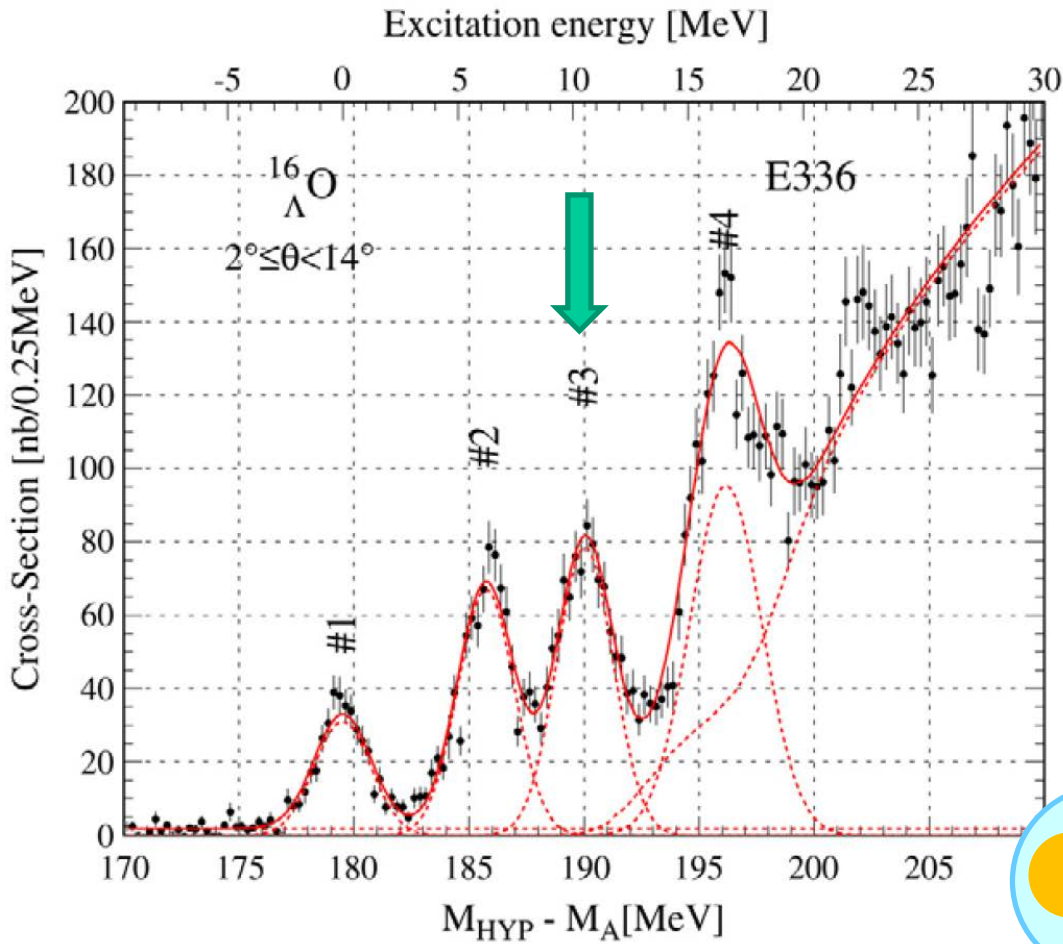
# Soft dipole $\Lambda$ mode の平均エネルギー



経験式 (赤線):  $E_{sd\Lambda} = \alpha A^{-1/3} + \beta A^{-2/3}$

$\alpha = 26.6 \text{ MeV}$ ,  $\beta = 11.2 \text{ MeV}$

# Discussion



$p_{\Lambda}$  という単純な状態ではなく SDAMか?  
 (ただし、A が大きくなると芯核の反跳が小さくなるので、単純な描像に近くなる)

F. Ajzenberg-selove NPA523.N1(1991)1 E336 Exp.

O. Hashimoto and H. Tamura, Prog. Part. Nucl. Phys. 57 ('06)564



# まとめ

## $\Lambda$ ハイパー核の表面振動

### ➤ 新たな双極子振動 (soft dipole $\Lambda$ mode)

cf. ハロ一核の soft dipole mode

和則を用いた系統的な解析 ← 基底状態波動関数のみ



single  $\Lambda$  ハイパー核にも適用可

経験式(赤線):  $E_{sd\Lambda} = \alpha A^{-1/3} + \beta A^{-2/3}$

$$\alpha = 26.6 \text{ MeV}, \quad \beta = 11.2 \text{ MeV}$$

### ➤ 実験データの再解釈

- これまで core +  $p_{\Lambda}$  と考えられてきた状態は、  
正確には soft dipole  $\Lambda$  mode
- ただし、重い系では core の反跳効果は小さく、core +  $p_{\Lambda}$  でよい



# Energy-weighted sum rule

$$\begin{aligned}
 m_1^\Lambda &= \frac{1}{2} \left\langle 0 \left| \left[ \hat{F}_0^{(\Lambda)}, \left[ H, \hat{F}_0^{(\Lambda)} \right] \right] \right| 0 \right\rangle, \\
 &= \frac{3e^2}{4\pi} \left( \frac{Zm_\Lambda}{M} \right)^2 \left[ \frac{\hbar^2}{2m_\Lambda} + \frac{\hbar^2}{2m_N(N+Z)} + \frac{1}{4} (t_1^\Lambda + t_2^\Lambda) \left( 1 + \frac{1}{N+Z} \right)^2 \int \rho_\Lambda(\mathbf{r}) \rho_c(\mathbf{r}) d\mathbf{r} \right]
 \end{aligned}$$

