

Title	Electric Quadrupole Moments of Short-lived $\beta$ -Emitting Nuclei 21F, 23Mg and 27Si
Author(s)	大西, 崇
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/42524">https://hdl.handle.net/11094/42524</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	おおにし たかし 大西 崇
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 15960 号
学位授与年月日	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	Electric Quadrupole Moments of Short-lived $\beta$ -Emitting Nuclei $^{21}\text{F}$ , $^{23}\text{Mg}$ and $^{27}\text{Si}$ (短寿命 $\beta$ 放射性核、 $^{21}\text{F}$ 、 $^{23}\text{Mg}$ 、 $^{27}\text{Si}$ の電気四重極モーメント)
論文審査委員	(主査) 教授 南園 忠則  (副査) 教授 下田 正 教授 能町 正治 教授 赤井 久純 助教授 松多 健策

## 論文内容の要旨

不安定核  $^{23}\text{Mg}$ ,  $^{21}\text{F}$ ,  $^{27}\text{Si}$  の電気四重極モーメント  $Q$  を決定した。 $Q$  モーメントは、各々の短寿命  $\beta$  放射性核の、イオン結晶  $\text{MgF}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  中の電気四重極結合定数 (electric quadrupole coupling constant)  $eqQ/h$  を測定し、これから導出した。各々の  $eqQ/h$  は、 $\beta$ -NMR 法と、高エネルギー入射核破碎過程を用いる生成核分離技術とを組み合わせて測定した。効率よく  $eqQ/h$  を測定するため、 $\beta$ -NMR 法を応用して、四重極分離した共鳴線の各々に連続して高周波磁場を加え、各々の磁気順位の占有率を完全に反転することで大きな  $\beta$  線非対称度変化を得る、 $\beta$ -NQR 法を用いた。

電気四重極結合定数は、

$$|eqQ(^{23}\text{Mg in MgF}_2)/h| = (1.96 \pm 0.06) \text{ MHz}$$

$$|eqQ(^{21}\text{F in MgF}_2)/h| = (9.94 \pm 0.09) \text{ MHz}$$

$$|eqQ(^{27}\text{Si in Al}_2\text{O}_3)/h| = (1.88 \pm 0.14) \text{ MHz}$$

と測定した。これらの結果と、既知の安定原子核の  $Q$  モーメント  $|Q(^{25}\text{Mg})| = (201 \pm 3) \text{ mb}$ 、 $|Q(^{19}\text{F}^*)| = (71 \pm 16) \text{ mb}$  より、 $^{23}\text{Mg}$ ,  $^{21}\text{F}$  の  $Q$  モーメントは、それぞれ、

$$|Q(^{23}\text{Mg})| = (115 \pm 8) \text{ mb}$$

$$|Q(^{21}\text{F})| = (71 \pm 16) \text{ mb}$$

と決定した。 $^{27}\text{Si}$  の電気四重極モーメントについては、Si の同位元素に既知の電気四重極モーメントを持つものが存在しないことから、ホストとして使用した  $\text{Al}_2\text{O}_3$  結晶内の Al 置換位置に置かれた Si 原子核位置における電場勾配 (electric field gradient)  $q$  を、スーパーセル法を用いた電子バンド構造計算による第一原理計算 (KKR 法) を用いて計算し、電気四重極モーメントを以下のように求めた。

$$|Q(^{27}\text{Si})| = (60 \pm 13) \text{ mb}$$

不安定核  $^{21}\text{F}$ ,  $^{27}\text{Si}$  については、磁気双極子モーメントも再測定を行った。以下のように、既知の値に比較してより精度の高い実験値が得られた。

$$|\mu(^{21}\text{F})| = (3.9191 \pm 0.0012) \mu_N$$

$$|\mu(^{27}\text{Si})| = (0.8654 \pm 0.0003) \mu_N$$

実験で得た電気四重極モーメントによって、既存の、原子核構造についての広く認められている殻模型を用いて算

出した理論値との比較を行って、理論の検証を行った。 $^{23}\text{Mg}$ の $Q$ モーメントは、シェルモデル計算(OXBASH)による理論値でよく再現でき、sdシェルの原子核構造が、複雑な配位までよく説明されていることを示した。

一方で、 $^{27}\text{Si}$ については、シェルモデル計算値は実験値の説明は十分な精度に達しているとは言えない。鏡映核である $^{27}\text{Al}$ の $Q$ モーメントについてはおおむねよく一致している現状に反して、 $^{27}\text{Si}$ の $Q$ については理論値が実験値のほぼ二倍を示している。このズレは経験則的な有効電荷(effective charge)の再調整によっては説明がつきにくい。有効電荷がよく現状を反映していると仮定すれば、この不一致は、殻模型計算において $1d_{3/2}$ 軌道への遷移を禁止した場合においてようやく解消され、OXBASHの配位混合では $1d_{3/2}$ への励起が強すぎることを示していると考えられる。他の可能性として、シェルモデル計算では不活性な芯として扱われている $^{16}\text{O}$ の、有効電荷によって考慮されている分に加えた、さらなる変形で説明することもできる。しかしながらこの説明では、芯の変形が鏡映核間で非対称にならなければならない、不自然さを残す。また、芯の陽子グループと中性子グループで異なる変形が起きているという可能性も考えられる。

$^{21}\text{F}$ については、 $Q$ モーメントの基準値 $Q(^{19}\text{F}^*)$ がまだ電場勾配の理論的予測に源を持つ大きな不確実性を含んでいるため、同位元素、 $^{17}\text{F}$ 、 $^{19}\text{F}^*$ 、 $^{21}\text{F}$ 間での比について理論値との比較を行った。殻模型計算による電気四重極モーメントの比は実験値の比を全体としてよく再現するが、詳細に見れば $^{21}\text{F}$ においてやや違いを生じている。これは、 $^{17}\text{F}$ 、 $^{19}\text{F}^*$ に比べ、 $^{21}\text{F}$ における付け加えられた2中性子がよりゆるやかな結合状態にあり、これら中性子の「芯」におよぼす変形の力(中性子の有効電荷として取り入れられている)がやや小さくなっているためであると考えられる。この結果を、得られた比から計算すると、 $^{17}\text{F}$ 、 $^{19}\text{F}^*$ で用いた値が0.50に対して、0.34となった。この中性子の有効電荷の減少についての議論を進めるために、 $^{21}\text{F}$ の電気四重極モーメントの測定が望まれる。

#### 論文審査の結果の要旨

短寿命 $\beta$ 放射性核 $^{23}\text{Mg}$ 、 $^{27}\text{Si}$ 、 $^{21}\text{F}$ の単結晶中 $\beta$ -NQRから、電気四重極( $Q$ )モーメントを決定した。質量数23鏡映対の $Q$ モーメントをシェルモデル計算による複雑な配位混合で説明。一方、質量数27鏡映対の異常から、シェルモデルの問題点を指摘。荷電非対称な核変形効果の可能性を示唆した。また、F同位体で外殻中性子の有効電荷の束縛エネルギー依存性を明らかにしたものであり、博士(理学)の学位論文として十分価値あるものと認める。