

University of Groningen

Radium Ion Spectroscopy

Giri, Gouri Shankar

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

2011

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Giri, G. S. (2011). *Radium Ion Spectroscopy: Towards Atomic Parity Violation in a single trapped Ion*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. s.n.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Chapter 8

Samenvatting van de Resultaten en Conclusies

Hier presenteren wij een lijst met behaalde doelstellingen en geven een compilatie van de uiteindelijke resultaten die werden behaald door middel van laserspectroscopie van Ra^+ . Dit levert de onontbeerlijke basis voor de precisiemeting van atomaire pariteitschending in dit systeem.

- We hebben een laboratorium opgezet dat gewijd is aan het onderzoeken van het vangen en laserkoelen van Ba^+ ionen. Dit onderzoek is onmisbaar voor het werk aan Ra^+ . Verschillende ionenvallen zijn gebouwd, getest en in gebruik genomen. De lasersystemen die nodig zijn voor het uitvoeren van spectroscopie van Ba^+ zijn opgezet in dit lab. Ba^+ ionen werden succesvol gasgekoeld en gevangen als ionenwolk. Laserkoeling van enkele Ba^+ ionen is gaande.
- Een bundellijn voor laag-energetische geladen deeltjes werd geconstrueerd. Deze bundellijn bestaat uit een elektrostatische spiegel, een “drift tube”, verscheidene lenzen, verscheidene stuurplaten en een lineaire Paul val. Deze onderdelen werd met succes in gebruik genomen. De bundellijn is bedoeld voor het transporteren, vangen en laserkoelen van Ra^+ ionen. Verscheidene experimenten werden uitgevoerd om het apparaat te testen. Zulke metingen stellen ons in staat om conclusies te trekken over mogelijke toekomstige verbeteringen die kunnen worden aangebracht.
- Een onafhankelijk data-acquisitiesysteem werd opgezet voor dit experiment. Dit is een vereiste om het Ra^+ experiment te kunnen monitoren, en om de experimentele data achteraf te kunnen analyseren.

- Een keten van radiumisotopen met verschillende kernspin werd geproduceerd, waarbij gebruik werd gemaakt van de deeltjesversneller AGOR en de TRI μ P-faciliteit. Een roterend koolstof doelwit werd ontwikkeld om de levensduur van het productiedoelwit te verlengen. De geproduceerde isotopen werden gethermaliseerd en geïoniseerd tot Ra^+ gebruikmakende van een “thermal ionizer”. De deeltjes werden vervolgens geëxtraheerd als een bundel van enkelvoudig geladen Ra^+ ionen. Deze ionenbundel werd massa-gefilterd in een Wien filter. De productie van Ra^+ isotopen werd kwantitatief geanalyseerd met behulp van een gekalibreerde silicium detector. De resultaten van de radiumproductie zijn samengevat in Tabel 8.1. De hoeveelheid geproduceerde isotopen is voldoende om verdere metingen uit te kunnen voeren aan de vangst en spectroscopie van radiumionen.

Table 8.1: Een keten van radiumisotopen werd geproduceerd door een $^{204/206}\text{Pb}$ bundel op een ^{12}C doel te schieten.

Isotoop	I	$T_{1/2}$ (s)	Kernreactie	Bundelenergie (MeV/u)	Productietempo (ions/s)
$^{209}\text{Ra}^+$	5/2	4.6(1.5)	$^{204}\text{Pb}^{28+} + ^{12}\text{C}$	10.3	200
$^{210}\text{Ra}^+$	0	3.66(18)	$^{204}\text{Pb}^{28+} + ^{12}\text{C}$	10.3	500
$^{211}\text{Ra}^+$	5/2	12.61(5)	$^{204}\text{Pb}^{28+} + ^{12}\text{C}$	10.3	1000
$^{212}\text{Ra}^+$	0	12.5(1.0)	$^{206}\text{Pb}^{27+} + ^{12}\text{C}$	8.5	800
$^{213}\text{Ra}^+$	1/2	162.0(1.7)	$^{206}\text{Pb}^{27+} + ^{12}\text{C}$	8.5	2600
$^{214}\text{Ra}^+$	0	2.42(14)	$^{206}\text{Pb}^{27+} + ^{12}\text{C}$	8.5	1000

- De laag-energetische Ra^+ ionen-bundel werd geïnjecteerd in een gasgevulde radiofrequente quadrupool die werd gebruikt als ionenval. *Transversale vangst en koeling werd hier gerealiseerd.* Laserspectroscopie van de gevangen ionenwolk werd uitgevoerd hetgeen leidde tot data van hoge kwaliteit op het gebied van hyperfijnstructuur, isotoopverschuivingen en de levensduur van een meta-stabiele toestand. Deze resultaten leveren belangrijke gegevens op waaraan de nauwkeurigheid van de atoomtheorie, die onmisbaar is voor de geplande pariteitschendingsmeting, kan worden getoetst. De resultaten van deze precisiespectroscopie zijn samengevat in Tabel 8.2 en 8.3. De relevante energieniveaus van Ra^+ worden getoond in Fig. 8.1.
- Voor de laserkoeling van Ra^+ werd de ionenbundel van de “thermal ionizer”

getransporteerd naar een lineaire Paul val met behulp van de recentelijk in gebruik genomen lage-energie bundellijn. Het invangen van de deeltjes in een buffergasvrije omgeving werd getest.

- Concluderend, dit werk levert de onontbeerlijke bouwstenen voor een meting van atomaire pariteitschending in een enkel gevangen radiumion.

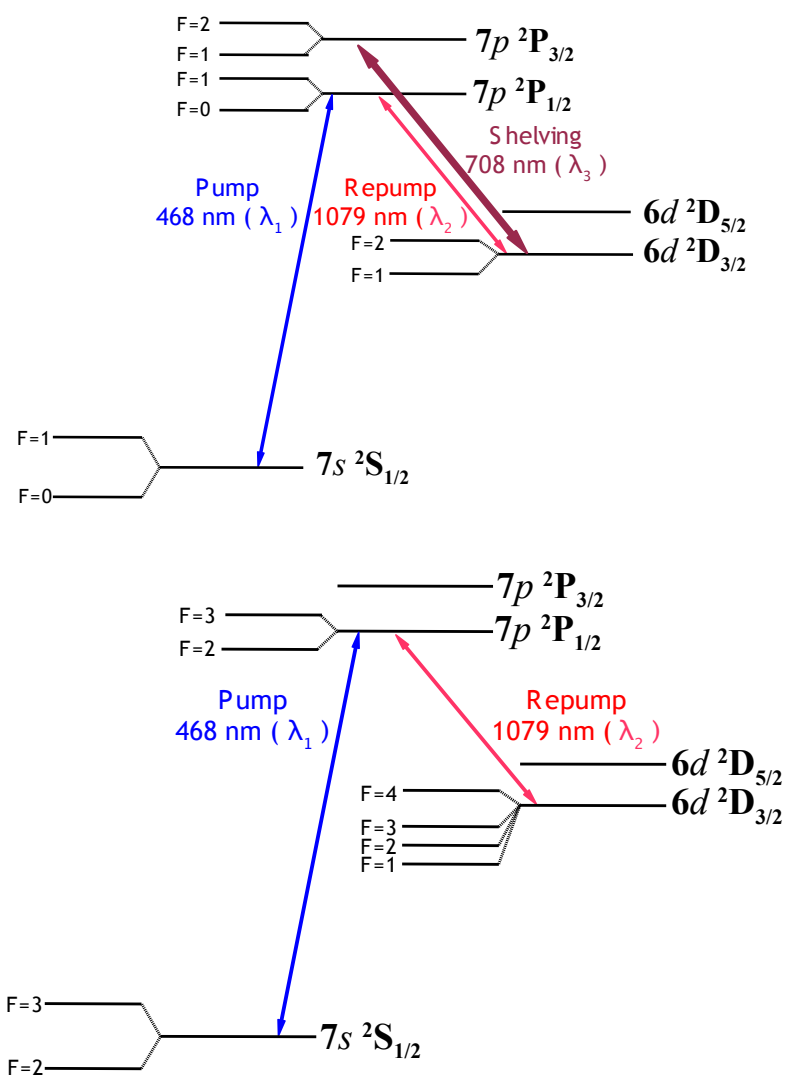


Fig. 8.1: Energieniveaus van oneven isotopen met hyperfijnstructuur. The bovenste figuur correspondeert met $^{213}\text{Ra}^+$ ($I=1/2$) en de onderste figuur correspondeert met $^{209,211}\text{Ra}^+$ ($I=5/2$).

Table 8.2: Nieuwe resultaten van de hyperfijnstructuur verkregen door middel van precisie laserspectroscopie van gevangen radiumionen. De hyperfijnstructuurconstanten A en B voor de oneven isotopen werden geëxtraheerd voor de $6d^2D_{3/2}$ toestanden. Het gemeten hyperfijnstructuurinterval van de $7p^2P_{1/2}$ toestand is in goede overeenkomst met een vorige meting [79].

Isotoop	Kernspin	Hyperfijnstructuurconstanten (MHz)			Hyperfijnstructuurinterval (MHz)			
		$A(6d^2D_{3/2})$	$B(6d^2D_{3/2})$	$A(7p^2P_{1/2})$	$6d^2D_{3/2}$			$7p^2P_{1/2}$
$^{209}\text{Ra}^+$	5/2	148(10)	104(38)	-	F=4-F=3	F=3-F=2	F=2-F=1	F=1-F=0
$^{211}\text{Ra}^+$	5/2	151(2)	103(6)	-	673(28)	396(49)	-	-
$^{213}\text{Ra}^+$	1/2	528(5)	-	4542(7)	687(9)	407(7)	-	-
					-	-	1055(10)	4542(7)

Table 8.3: Nieuwe resultaten van isotoopverschuivingen en levensduur verkregen door middel van laserspectroscopie van gevangen radiumionen. De isotoopverschuivingen van de $6d^2D_{3/2} - 7p^2P_{1/2}$ en $6d^2D_{3/2} - 7p^2P_{3/2}$ overgangen werden bepaald relatief ten opzichte van $^{214}\text{Ra}^+$. De levensduur van de $6d^2D_{5/2}$ toestand werd alleen gemeten voor $^{212}\text{Ra}^+$.

Isotoop	Isotoopverschuiving (MHz)		Absolute frequentie (MHz)		Levensduur (ms)
	$6d^2D_{3/2} - 7p^2P_{1/2}$	$6d^2D_{3/2} - 7p^2P_{3/2}$	$6d^2D_{3/2} - 7p^2P_{1/2}$	$6d^2D_{3/2} - 7p^2P_{3/2}$	
$^{209}\text{Ra}^+$	2645(56)	-	277,803,011(55)	-	-
$^{210}\text{Ra}^+$	1884(16)	-	277,803,772(11)	-	-
$^{211}\text{Ra}^+$	1755(14)	-	277,803,901(9)	-	-
$^{212}\text{Ra}^+$	1025(12)	707(50)	277,804,631(5)	423,434,288(44)	232
$^{213}\text{Ra}^+$	707(14)	453(34)	277,804,949(9)	423,434,536(25)	-
$^{214}\text{Ra}^+$	0	0	277,805,656(11)	423,434,989(23)	-