



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Imperfect Fabry-Perot resonators

Klaassen, T.

Citation

Klaassen, T. (2006, November 23). *Imperfect Fabry-Perot resonators*. *Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/4988>

Version: Corrected Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/4988>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Imperfect Fabry-Perot resonators

Thijs Klaassen

The photograph on the cover shows a magnified image of the bifocal mirror used in this thesis. On the front, the large circle, filled with a black and white shading, is the concave part of the bifocal mirror, whereas the smaller inner circle, filled with the inverse shading, is its convex counterpart. The gold-like color of the ring around the actual mirror is caused by Bragg-reflection on the coating. On the back, a typical mode pattern is shown as observed in a cavity comprising such a bifocal mirror.

Cover photography by Nikolay Kuzmin
Cover design by Job Beerthuisen

Imperfect Fabry-Perot resonators

PROEFSCHRIFT

ter verkrijging van
de graad van Doctor aan de Universiteit Leiden,
op gezag van de Rector Magnificus Dr. D. D. Breimer,
hoogleraar in de faculteit der Wiskunde en
Natuurwetenschappen en die der Geneeskunde,
volgens besluit van het College voor Promoties
te verdedigen op donderdag 23 november 2006
klokke 16.15 uur

door

Thijs Klaassen

geboren te Grave
op 3 mei 1978

Promotiecommissie:

Promotor: Prof. dr. J. P. Woerdman
Copromotor: Dr. M. P. van Exter
Referent: Prof. dr. ir. J.J.M. Braat (TU Delft/Philips Research)
Leden: Prof. dr. G. Nienhuis
Prof. dr. G. W. 't Hooft (Universiteit Leiden/Philips Research)
Prof. dr. P. H. Kes
Prof. dr. W. M. G. Ubachs (Vrije Universiteit Amsterdam)
Prof. dr. H. P. Urbach (TU Delft/Philips Research)
Dr. E. R. Eliel

The poem 'Vers twee' is used with kind permission of K. Michel.

The work reported in this thesis is part of a research programme of the 'Stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie' (FOM).

Casimir PhD Series, Delft-Leiden, 2006-11

ISBN-10: 90-8593-018-9

ISBN-13: 978-90-8593-018-1

Aan mijn ouders en broer(tje)

Vers twee

Bij herlezing klinkt het als
een postcoïtaal gevoel van droefenis
tohoe wa bohoe, tohoe wa bohoe

Als je het hardop herhaalt
zie je landschappen zich ontvouwen
een novemberse zandplaat in de Waddenzee
de desolate vlaktes ten zuidoosten van Glen Coe
en ga je turf ruiken, leisteen
twee adelende hazen in de schuur

Vijf loeizware lettergrepen
met meer gewicht dan alle elementen tezamen
tohoe wa bohoe, de aarde woest en ledig
in de Hebreeuwse tekst van Genesis een vers twee

Wat ze moeten aanduiden is onvoorstelbaar
het begin voor het begin, een toestand zo oer
dat mijn buitenwijkverbeelding slechts
tekortschietende vergelijkingen voorhanden heeft

Ook Hollywoodiaanse aardbevingen
vloedgolven, orkanen en vulkaanuitbarstingen
moeten peanuts zijn vergeleken met de horror van toen

Misschien is de plotse stuiptrekking die
vlak voor je in slaap valt door je lichaam schrikt
een verre naschok van dat oorspronkelijke geweld

Een stuip die zegt:
er is slaap, er zijn dromen
loom drijvende, onder water wiegende
maar gedragen worden wij door geen grond

K. Michel
uit: *Waterstudies*
uitgeverij Augustus, 2003

Contents

1	Introduction	1
2	Characterization of scattering in an optical resonator	5
2.1	Introduction	6
2.2	Single-mirror scattering	7
2.3	Resonator losses	10
2.3.1	Spectrally incoherent input beam	10
2.3.2	Spectrally coherent input beam	12
2.4	Connection between cavity finesse and cavity ring-down	12
2.5	Concluding discussion	15
3	Transverse mode coupling in an optical resonator	17
3.1	Introduction	18
3.2	The experiment	18
3.3	Simulations	20
3.A	Shape of the eigenmodes	23
3.B	The number of modes involved	23
3.B.1	Spatial domain	24
3.B.2	Spectral domain	25
3.C	Cavity ring-down and mode beating	25
4	Resonant trapping of scattered light in a degenerate resonator	29
4.1	Introduction	30
4.2	Experimental setup and fringe formation	30
4.3	Calculation of “average round-trip path length”	34
4.4	Aberrations	36
4.5	Applications	40
4.6	Concluding remarks	40

Contents

4.A	Calculation of the total path length	41
4.B	Evolution of fringes around frequency-degeneracy	43
5	Gouy phase of nonparaxial eigenmodes in a folded resonator	45
5.1	Introduction	46
5.2	Gouy phase theory	46
5.3	Experiment	48
5.4	Experimental results	49
5.5	Comparison with ray tracing	52
5.6	Comparison with aberration theory	54
5.7	Conclusions	55
5.8	Acknowledgement	56
6	Connection between wave and ray approach of cavity aberrations	57
6.1	Introduction	58
6.2	Ray description of spherical aberration	58
6.3	Wave description of spherical aberration	60
6.3.1	Effect of mirror shape (x^4 -term)	61
6.3.2	Effect of slope in rays (p^4 -term)	61
6.4	Comparison of wave and ray description	62
6.5	Concluding discussion	63
7	Characterization of diamond-machined mirrors	65
7.1	Introduction	66
7.2	Production of the mirrors	66
7.3	The mirror surface and scatter	67
7.4	Spectra and imperfections	68
7.5	Polarization and scattering	70
7.6	Conclusion	71
8	Laguerre-Gaussian modes in a bifocal resonator	73
8.1	Introduction	74
8.2	Setup	74
8.3	Experimental results	75
8.4	Analytic LG-modes and comparison with experiment	77
8.5	Numerical calculation of modes in a bifocal resonator	77
8.6	Concluding discussion	80
9	Combining a stable and an unstable resonator	81
9.1	Introduction	82
9.2	Substrates, mirrors and cavity configurations	84
9.3	Ray-tracing the bifocal resonator	86
9.3.1	Configuration I	86
9.3.2	Configuration II	87
9.4	The experimental setup	89
9.5	Fabry-Perot spectra	89

9.5.1	Coupling the inner and outer cavity	89
9.5.2	Cavity finesse, average throughput and the number of hit points	90
9.5.3	Position of the injection beam	92
9.6	Transmission patterns	95
9.6.1	Speckle patterns	95
9.7	Discussion and recommendations	97
9.8	Acknowledgement	98
	Bibliography	99
	Samenvatting	105
	List of Publications	115
	Curriculum Vitae	117
	Nawoord	119

