

การสำรวจและทดสอบ ออโตคอลลิเมเตอร์และไมโครสเฟียโรมิเตอร์



นาย พัฒนา กุวัณชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย สุพิลาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2524

I16649102

THE CONSTRUCTION AND TESTING OF AN AUTO-COLLIMATOR
AND A MICRO-SPHEROMETER

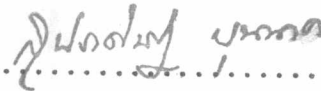
Mr. Patana Puwanich

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Department of Physics
Graduate School
Chulalongkorn University

1981

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสร้างและทดสอบ "ออคทอลสีเมเตอร์" และไมโครสเฟียโรมิเตอร์
โดย นาย พินนา ภู่วณิชย์
ภาควิชา ฟิสิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยค้ำส่งตราจารย์ ดร. ภิญโญ เจริญกุล


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองค้ำส่งตราจารย์ ดร. สู่ประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ค้ำส่งตราจารย์ ดร. ระวี ภาวิไล)


..... กรรมการ
(รองค้ำส่งตราจารย์ ดร. รัชณี รักวีระธรรม)


..... กรรมการ
(ดร. ประพนธ์ โข้วเจริญสุข)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยค้ำส่งตราจารย์ ดร. ภิญโญ เจริญกุล)

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสร้างและทดสอบ ออโตคอลลิเมเตอร์ และไมโครสเฟียโรมิเตอร์
 ชื่อผู้ศึกษา นายพัฒนา ภู่วชิชัย
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภิญโญ เจริญกุล
 ภาควิชา ฟิสิกส์
 ปีการศึกษา 2524



บทคัดย่อ

การทดสอบมุมของปริซึม และการตรวจสอบค่ารัศมีความโค้งของผิวแก้ว เป็นสิ่งสำคัญของงานประจำในโรงงานทัศน (optical workshop) การทดสอบวัดมุมอย่างละเอียดของปริซึม ถึง 0.5 ลิปดา นั้น ทำได้อย่างสะดวก โดยใช้เครื่องมือ ออโตคอลลิเมเตอร์ และสำหรับการตรวจสอบค่ารัศมีความโค้งของผิวโค้งขนาดเล็ก และรัศมีเส้น ในช่วง 0.5 - 2.5 เซนติเมตร ทำได้โดยใช้เครื่องมือ ไมโครสเฟียโรมิเตอร์ เครื่องมือดังกล่าวอาศัยหลักการทางด้านทัศนศาสตร์อย่างง่าย ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ไม่ซับซ้อน สะดวกในการจัดสร้าง และมีวิธีการใช้งานที่ไม่ยุ่งยากนัก

ได้ทำการศึกษาหลักการทางด้านทัศนศาสตร์เชิงเรขาคณิต พร้อมทั้งหลักการของเครื่องมือทั้งสอง เริ่มต้นด้วยการจัดสร้างอุปกรณ์ต่าง ๆ ของ ออโตคอลลิเมเตอร์ อาทิ เลนส์วัตถุ เลนส์ตา ปริซึม 45° ขนาดเล็ก และฐานตั้งเป็นต้น แล้วประกอบเป็นเครื่องมือที่สมบูรณ์ และทำการตัดแปลงสร้างไมโครสเฟียโรมิเตอร์ จากกล่องจุลทัศน์กำลังขยายต่ำ ได้ทำการทดสอบ ที่เครื่องมือที่จัดสร้าง พร้อมทั้งตรวจสอบการใช้งานของเครื่องมือทั้งสอง ภายหลังจากการจัดสร้าง

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ ด้วยความช่วยเหลือ, แนะนำให้ความรู้ และตรวจสอบ
บทความที่เขียนอย่างใกล้ชิด จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ เจริญกุล อาจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์
ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงในความเมตตาช่วย
เหลือ, ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ระวี ภาวิไล ที่ได้กรุณาให้ใช้เครื่องมือภายในโรงงานภาค
อุตสาหกรรม ฟิสิกส์ และขอขอบคุณต่อพี่และเพื่อนทุกคนที่ได้มีส่วนช่วยเหลือในงานด้านต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้

อนึ่ง ในระหว่างการศึกษา ผู้เขียนได้รับทุนการศึกษาจากโครงการพัฒนามหาวิทยาลัย
ของทบวงมหาวิทยาลัยแห่งรัฐ จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ. ที่นี้ด้วย



สารบัญ

	หน้า
บทศัดย่อภาษาไทย	ข
บทศัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
รายการตารางประกอบ	จ-ฉ
รายการภาพประกอบ	ช-ฎ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ระบบพีคินี่	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 วัตถุประสงค์ดำเนินงาน	2
1.4 ออโตคอลลิโมเตอร์	2
1.5 ไมโครสเฟียโรมิเตอร์	3
2. ทฤษฎี	5
2.1 ทฤษฎีการสะท้อนและการหักเหของทางเดินแสง	5
2.2 ทฤษฎีความคลาด	14
2.2.1 ความคลาดหน้าคลื่น	15
2.2.2 ความคลาดรังสี	16
2.2.3 ผลของการเปลี่ยนทรงกลมอ้างอิง ต่อความคลาดหน้าคลื่น	17
2.2.4 ความคลาดเอกรงค์	21
2.2.5 ความคลาดตรงคี่	44
2.3 การแกะรอยรังสีใกล้เคียง	53



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 เลขชี้และการออกแบบ	57
2.5 ทฤษฎีของออตคอลลีเมเตอร์	66
2.6 ทฤษฎีของไมโครสเฟียโรมิเตอร์	69
3. การสร้างอุปกรณ์และเครื่องมือ	71
3.1 การสร้างอุปกรณ์และเครื่องมือออตคอลลีเมเตอร์	71
3.2 การสร้างไมโครสเฟียโรมิเตอร์	92
4. การทดสอบอุปกรณ์และเครื่องมือที่สร้างขึ้น	94
4.1 การทดสอบเลนซ์วัตถุ	94
4.2 การทดสอบเลนซ์ตา	144
4.3 การทดสอบการใช้งานของออตคอลลีเมเตอร์	148
4.4 การทดสอบการใช้งานของไมโครสเฟียโรมิเตอร์	160
5. สรุปผล และ ข้อเสนอแนะ	163
เอกสารอ้างอิง	166
ประวัติผู้เขียน	167

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
๒.1	แสดงค่าครุชนิหัทเทของตัวกลางสำหรับแล่งลิต่าง ๆ	45
3.1	แสดงค่าความโค้ง และรัศมีความโค้งของทูลเหล็กขนาดต่าง ๆ	74
3.2	แสดงค่าที่คำนวณของการแกะรอยรังสี	80
3.3	แสดงข้อมูลของการแกะรอยสำหรับเลขชี้ตัวที่ออกแบบ	88
4.1	แสดงข้อมูลของการวัดหาค่า เส้นผ่าศูนย์กลางของวงแหวนนิวตันสำหรับผิวโค้งที่หนึ่ง ของเลขชี้มุม	99
4.2	ข้อมูลในการทดสอบหารัศมีความโค้งของผิวที่หนึ่ง	102
4.3	ข้อมูลในการทดสอบหารัศมีความโค้งของผิวที่สอง	103
4.4	ข้อมูลในการหารัศมีความโค้งของผิวเว้า	103
4.5	แสดงค่าความโค้ง รัศมีความโค้ง และความหนาของเลขชี้ที่สร้างขึ้น	106
4.6	แสดงค่าทางยาวโฟกัสและกำลังของเลขชี้จากลุ่มการของเลขชี้บาง	107
4.7	แสดงการแกะรอยรังสี เพื่อหาตำแหน่งโฟกัส	109-110
4.8	แสดงข้อมูลของการแกะรอยรังสีของเลขชี้วัตถุที่สร้างขึ้น	119
4.9	แสดงข้อมูลของการทดสอบหาโฟกัสของเลขชี้มุมโดยวิธีทดสอบกำลังขยาย	123
4.10	แสดงข้อมูลในการหาทางยาวโฟกัสของเลขชี้เว้าโดยวิธีทดสอบกำลังขยาย	126
4.11	แสดงข้อมูลการหาค่าทางยาวโฟกัสของเลขชี้ประกบโดยวิธีทดสอบกำลังขยาย	128
4.12	แสดงข้อมูลการหาตำแหน่งโฟกัสของแต่ละโซนโดยวิธีของฮาร์ทแมน	136
4.13	แสดงค่าทางยาวโฟกัสของโซนต่าง ๆ ที่ได้จากรีซของฟูโคลท์และฮาร์ทแมน	143
4.14	แสดงข้อมูลการแกะรอยรังสีสำหรับระบบเลขชี้ตัวที่สร้างขึ้น	146
4.15	แสดงข้อมูลการวัดมุมเบี่ยงเบนโดยกล้องที่โอดูไลท์	151
4.16	แสดงผลการทดสอบวัดค่ามุมของปริซึมมุมฉากโดยใช้ลึเปคโตรมิเตอร์	158
4.17	แสดงผลการทดสอบวัดค่ามุมของปริซึมด้านเท่าโดยใช้ลึเปคโตรมิเตอร์	158

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.18	แสดงการเปรียบเทียบค่ามุมของปริซึมมุมฉาก จากการตรวจสอบทั้งสองวิธี	159
4.19	แสดงการเปรียบเทียบค่ามุมของปริซึมด้านเท่าจากการตรวจสอบทั้งสองวิธี	159
4.20	แสดงผลของการตรวจสอบหาค่ารัศมีของลูกปืนเหล็ก	161

รายการภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1-1	แสดงส่วนประกอบของออตโตคอลลิเมเตอร์ และออตโตคอลลิเมเตอร์พร้อมฐานตั้ง	3
1-2	สเฟียโรมิเตอร์ แบบสามขา	4
1-3	ส่วนประกอบของไมโครสเฟียโรมิเตอร์	4
2-1	แสดงทางเดินแสงในตัวกลาง 2 ชนิด	6
2-2	แสดงการสะท้อนของรังสีที่ผิวโค้งนูน และผิวโค้งเว้า	7
2-3	แสดงการหักเหที่ผิวโค้งเดี่ยว	9
2-4	แสดงการหักเหทางเดินแสงที่ผิวโค้ง 2 ผิว	11
2-5	แสดงหน้าคลื่น และรังสีหักเหเมื่อหักเหผ่านระบบ	14
2-6	ดวงกลมแอรี และการกระจายความเข้มบนดวงกลม	15
2-7	แสดงความคลาดหน้าคลื่น และความคลาดรังสี	16
2-8	แสดงการเปลี่ยนรัศมีของทรงกลมอ้างอิง	17
2-9	แสดงการเปลี่ยนจุดศูนย์กลางตามแนวแกน	17
2-10	แสดงการเปลี่ยนไปของจุดศูนย์กลางทรงกลมอ้างอิงตามแนวขวาง	19
2-11	แสดงระนาบแทนเจนเชียลและระนาบซีกิตตัล	21
2-12	ทรงกลมอ้างอิงในลวด้านภาพ	22
2-13	แสดงผิวโค้ง และเส้นตั้งฉากของผิวโค้ง	25
2-15	แสดงความคลาดรังสีของความคลาดทรงกลม	30
2-16	แสดงความคลาดรังสีและหน้าคลื่นของความคลาดทรงกลม	32
2-17	แสดงผลของความคลาดทรงกลมที่เกิดขึ้น	32
2-18	แสดงความคลาดรังสีตามขวางจากหน้าคลื่นที่มีขนาดของรับแสงค่าหนึ่ง	35
2-19	แสดงความคลาดหน้าคลื่น กับความคลาดตามขวางบนระนาบภาพ และความคลาดตามขวาง เมื่อรัศมีของช่องรับแสงมีค่าต่าง ๆ กัน	36

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
2-20	แสดงความคลาดรังสี เมื่อระบบมีความคลาดเพียงอย่างเดียว	37
2-21	แสดงผลของความคลาดเชิง เมื่อมีความคลาดโค้งอยู่ควบคู่กัน	39
2-22	แสดงเส้นโฟกัสแทนเจนเชียล และเส้นโฟกัสฮาพิตัส	39
2-23	แสดงเส้นโฟกัสจากความคลาดเชิง เมื่อความคลาดมีขนาด 1λ และ 2.5λ	40
2-24	แสดงผลของความคลาดโค้ง	41
2-25	แสดงผลของความคลาดโค้งและความคลาดเชิง	42
2-26	แสดงความบิดเบี้ยวเมื่อวัตถุเป็นเส้นตรง	43
2-27	แสดงความบิดเบี้ยวเมื่อวัตถุเป็นรูปสี่เหลี่ยม	43
2-28	แสดงการกระจายของแสงสีขาวเมื่อหักเหผ่านปริซึม	44
2-29	แสดงทางเดินของแสงสีต่าง ๆ เมื่อหักเหผ่านเลนซ์บาง	45
2-30	แสดงทรงกลมอ้างอิง หน้าคลื่นของแสงความยาวคลื่น λ และ $\lambda + \delta\lambda$	47
2-31	แสดงความคลาดตรงคี่หน้าคลื่น หลังจากผ่านระบบทัศน	48
2-32	แสดงทางเดินของแสงจากวัตถุบนแนวแกน	49
2-33	แสดงลักษณะของผิวโค้ง	50
2-34	แสดงทางเดินของแสงจากวัตถุที่อยู่นอกแกน	52
2-35	แสดงเลนซ์เดี่ยวรูปร่างต่าง ๆ	57
2-36	แสดงเลนซ์ประกอบแบบต่าง ๆ	61
2-37	แสดงภาพเลนซ์ตา	63
2-38	แสดงเลนซ์แบบคุก	64
2-39	แสดงเลนซ์เชิงซ้อนแบบต่าง ๆ	66
2-40	แสดงทางเดินแสงผ่านเลนซ์กรณีแสงตกกระทบขนานกับแนวแกนและแสงเดินทางจากจุดโฟกัส	67

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
2-41	แสดงทางเดินแสงกรณีที่มี ผิวสะท้อนแสงวางตั้งฉากกับออตคอลลิเมเตอร์	67
2-42	แสดงทางเดินแสงในกรณีที่รังสีสะท้อนเบนไปจากแนวรังสีขนาน	68
2-43	แสดงอุปกรณ์และการจัดวางของออตคอลลิเมเตอร์	69
2-44	แสดงทางเดินแสงตามหลักการของไมโครสโคปเฟรียมิตเตอร์	70
3-1	แสดงรูปร่างเลนส์วัตถุที่ออกแบบ	71
3-2	ทูลเหล็กสำหรับการฝนเลนส์	75
3-3	แสดงการแกะรอยรังสีใกล้แกน	76
3-4	แสดงทางเดินของรังสีमुखยสำคัญที่มีมุมของลำนามด้วยค่า n	78
3-5	แสดงการตัดแก้วให้เป็นแผ่นกลม	81
3-6	แสดงทางเดินแสงภายในระบบของออตคอลลิเมเตอร์	84
3-7	แสดงทางเดินรังสีในการแกะรอยเพื่อหาตำแหน่งจุดโฟกัส	85
3-8	แสดงทางเดินรังสีเพื่อตรวจสอบคุณภาพของ เลนส์ตัดที่ออกแบบไว้	87
3-9	ฐานตั้งสำหรับออตคอลลิเมเตอร์	90
3-10	ส่วนประกอบของแขนยึดของออตคอลลิเมเตอร์	90
3-11	ฐานตั้งพร้อมแขนยึด	91
3-12	ส่วนประกอบแขนยึด	92
4-1	แสดงทางเดินของแสงในฟิล์มบางที่มีผิวขนานกัน	95
4-2	แสดงฟิล์มอากาศระหว่างผิวโค้งรัศมี R_1 และ R_2	96
4-3	แสดงการวัดเครื่องมือสำหรับหาค่ารัศมีความโค้งโดยวิธีวงแหวนของนิวตัน	98
4-4	แสดงการตรวจสอบสำหรับผิวที่มีรัศมีความโค้งยาวโดยใช้แผ่นราบทดสอบ	104
4-5	แสดงทางเดินรังสีที่หักเหผ่านผิวโค้ง	107
4-6	แสดงทางเดินรังสีแสงเพื่อหาจุดโฟกัส	109
4-7	แสดงทางเดินของแสง เมื่อมี การหักเหผ่านเลนส์นูนหนา	111

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-8	แสดงระนาบมุขยล้าคัญของ เลขชี้คู	114
4-9	แสดงตำแหน่งระนาบมุขยล้าคัญของ เลขชี้มุมที่สร้างขึ้น	115
4-10	แสดงตำแหน่งระนาบมุขยล้าคัญของ เลขชี้เว้าที่สร้างขึ้น	116
4-11	แสดงภาพของ เลขชี้ประกบ และระนาบมุขยล้าคัญของ เลขชี้ประกบ	117
4-12	แสดงทางเดินแสง เมื่อผ่านระบบ	120
4-13	แสดงการสกัดเครื่องมือเพื่อทำการทดสอบโดยวิธีกำลังขยาย	121
4-14	การสกัดเครื่องมือสำหรับหาทางยาวโฟกัสของ เลขชี้เว้าโดยวิธีทดสอบกำลังขยาย ..	125
4-15	แสดงภาพจุดแสงที่ตำแหน่งโฟกัส และการกระจายความเข้มของแสงบนภาพ	130
4-16	แสดงทางเดินแสง และลักษณะของจุดภาพที่ได้จากการทดสอบด้วยดาว	131
4-17	แสดงการสกัดสร้างดาวสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ	133
4-18	แสดงภาพถ่ายที่ได้จากการทดสอบด้วยดาว	134
4-19	แสดงหลักการทดสอบหาตำแหน่งโฟกัสโดยวิธีของอาร์ทแมน และแผ่นกระดาษที่ใช้ในการเสกโกซัน	135
4-20	แสดงการทดสอบโดยคมมีดของฟูโคลท์สำหรับ เลขชี้ที่ไม่มี ความคลาด	137
4-21	แสดงการทดสอบโดยคมมีดของฟูโคลท์สำหรับ เลขชี้ที่มี ความคลาดทรงกลมแบบแก๊ซาด	138
4-22	แสดงตำแหน่งที่ใช้คมมีดตัดทางเดินแสงในช่วง 31.8-34.5 เซนติเมตร จากหลัง เลขชี้เป็นจำนวน 6 ครั้ง	139
4-23	แสดงภาพที่บันทึกด้วยกล้องถ่ายภาพ ในการทดสอบโดยวิธีคมมีดตัดลำแสงในช่วง บริเวณโฟกัสของ เลขชี้วัตถุ	140-141
4-24	แสดงภาพดวงสว่าง เมื่อทำการลดขนาดช่องรับแสงเหลือกว้าง 1.5 เซนติเมตร..	142
4-25	แสดงทางเดินแสงในการแกะรอยรังสีเพื่อหาความคลาดของ เลขชี้ตาที่สร้างขึ้น	145
4-26	แสดงลักษณะของจุดภาพที่สังเกตได้จากการทดสอบด้วยดาวสำหรับ เลขชี้ตาที่สร้างขึ้น	148
4-27	แสดงการสกัดวางอุปกรณ์เพื่อตรวจสอบค่ากำลังขยายของ เลขชี้ตาโดยการวัดโดยตรง	149

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-28	แสดงการล้างเครื่องมือ เพื่อทำการวัดมุมเพียงเบน	150
4-29	แสดงทางเดินแสง เมื่อใช้อัตคอลลิเมเตอร์ วัดค่ามุมฉากของปริซึม	152
4-30	แสดงการตรวจสอบค่าที่แน่นอนสำหรับมุมฉากของปริซึม	153
4-31	แสดงการใช้อัตคอลลิเมเตอร์ เปรียบเทียบมุม A กับมุม B ของปริซึม	153
4-32	แสดงการใช้อัตคอลลิเมเตอร์ ในการเปรียบเทียบค่ามุมทั้งสามของปริซึมด้านเท่า	154
4-33	แสดงทางเดินแสงเมื่อใช้อัตคอลลิเมเตอร์ตรวจสอบความขนาน	155
4-34	แสดงการวัดมุมยอดของปริซึมโดยใช้ไลเปคโตรมิเตอร์	157