

ผลของการวางฟังก์ชันฐานในการใช้วิธีเมทริกซ์ผลเฉลย
ของสมการเรอติงเงอร์แบบไม่เป็นเชิงเส้น

กนกพร ถิ่นพรวิภูต

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

มิถุนายน 2554

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ กนกพร ลิ้มพรวิกุล ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ดร.นพพันธ์ เจียวไม่งาม)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธาน
(ดร.ไฉปอง เกษมสุวรรณ)

.....กรรมการ
(ดร.นพพันธ์ เจียวไม่งาม)

.....กรรมการ
(ดร.ทรงวุฒิ ฉิมจินดา)

.....กรรมการ
(ดร.ชนะสิทธิ์ รัชตเรืองสิทธิ์)

คณะวิทยาศาสตร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ดันดีวานุรักษ์)
วันที่ 8 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2554

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลือจาก อาจารย์ ดร.นุพันธ์ เจียวไม่งาม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา แนะนำ แนวคิดและแนวทางที่ถูกต้องในการศึกษาค้นคว้า ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ ดร.ใจปอง เกษมสุวรรณ ดร.ทรงวุฒิ นิยมจินดา และ ดร.ธนสิทธิ์ รัชตเรืองสิทธิ์ ที่สละเวลาเข้าร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบ และคำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่ออุดม ลัมพรวิกุล คุณแม่วันทนีย์ กมลวัฒน์ นายสุภรักษ์ เกาเขม้น ผู้ช่วยศาสตราจารย์จินตนา แยมเจริญวงศ์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

ทั้งนี้ประโยชน์ทั้งหลายที่เกิดจากงานวิจัยนี้ย่อมเป็นผลมาจากความรู้ความกรุณาของทุกท่านที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

กนกพร ลัมพรวิกุล

49910751: สาขาวิชา: ฟิสิกส์; วท.ม. (ฟิสิกส์)

คำสำคัญ: สมการชเรอดิงเงอร์แบบไม่เป็นเชิงเส้น/ วิธีเมชเลส/ แคลคูลัสแปรผัน/

ฟังก์ชันฐานเกาส์เซียน

กนกพร ลิ้มพรวิกุล: ผลของการวางฟังก์ชันฐานในการใช้วิธีเมชเลสหาผลเฉลยของสมการชเรอดิงเงอร์แบบไม่เป็นเชิงเส้น (EFFECT OF BASIS FUNCTION PLACEMENT IN USING MESHLESS METHOD TO SOLVE NONLINEAR SCHRÖDINGER'S EQUATION)

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: นุพันธ์ เจียวไม้งาม, Ph.D., 156 หน้า. ปี พ.ศ. 2554.

ผู้วิจัยได้ศึกษาและสร้างสมการอินทิกรัลรูปทั่วไปเพื่อหาผลเฉลยโดยประมาณของสมการชเรอดิงเงอร์แบบไม่เป็นเชิงเส้นด้วยวิธีเมชเลสบนหลักการของแคลคูลัสแปรผันรูปแบบอ่อน และทำการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบผลของจำนวนฟังก์ชันฐานและค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน สำหรับค่าพารามิเตอร์กายภาพที่กำหนด ฟังก์ชันฐานที่ใช้คือฟังก์ชันฐานเกาส์เซียนซึ่งมีรูปแบบการวางของฟังก์ชันฐานสม่ำเสมอ จากผลที่ได้ พบว่าค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐานที่เหมาะสม สำหรับจำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 5$ และ 10 คือ $c = 150$ ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐานที่เหมาะสมสำหรับจำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 25$ และ 50 คือ $c = 350$ สำหรับจำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 75$ และ 100 การคำนวณทำได้เฉพาะในกรณีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 0$ เท่านั้น เวลาที่ใช้คำนวณจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนฟังก์ชันฐาน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการซ้อนทับของฟังก์ชันฐานเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลการคำนวณ และควรนำมาพิจารณาในการปรับปรุงวิธีการคำนวณต่อไป

49910751: MAJOR: PHYSICS; M.Sc. (PHYSICS)

KEYWORDS: NONLINEAR SCHRÖDINGER'S EQUATION/ MESHLESS METHOD/
CALCULUS OF VARIATIONS/ GAUSSIAN BASIS FUNCTION

KANOKPORN LIMPORNWIKUL: EFFECT OF BASIS FUNCTION PLACEMENT
IN USING MESHLESS METHOD TO SOLVE NONLINEAR SCHRÖDINGER'S EQUATION.
ADVISORY COMMITTEE: NUPAN KHEAOMANGAM, Ph.D., 156 P. 2011.

The author studied and constructed a general integral form for approximated solution of the nonlinear Schrödinger's equation by using meshless method based on weak-formed calculus variational principle. Numerical calculations were performed to compare effects from the number of basis functions and their parameters for the case of given physical parameter. Uniformly placed Gaussian functions were used as basis functions. From results, the appropriated basis function parameter for the numbers of basis functions $N = 5$ and 10 were $c = 150$. The appropriated basis function parameter for the numbers of basis functions $N = 25$ and 50 were $c = 350$. For the numbers of basis functions $N = 75$ and 100, calculation could be performed for the physical parameter $\lambda = 0$ only. Calculation time increased as the number of basis functions increased. Our study suggested that the basis functions' overlaps were the major factor of the calculation, and should be considered for further calculation improvement.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
สมการเรอติงเงอร์แบบไม่เป็นเชิงเส้น.....	4
วิธีเมทาส.....	8
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	11
การแก้สมการเรอติงเงอร์แบบไม่เป็นเชิงเส้นให้เป็นสมการเชิงเส้น ด้วยวิธีเมทาส.....	11
การกำหนดค่าพารามิเตอร์และการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	18
4 ผลการวิจัย.....	20
ผลเฉลยโดยประมาณจากความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์กายภาพ (λ) จำนวนฟังก์ชันฐาน (N) และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน (c).....	27
เวลาที่ใช้ในการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	136
ผลเฉลยโดยประมาณจากการปรับช่วงเวลาให้มีค่าน้อยกว่า ϵ	139
5 อภิปรายและสรุปผล.....	152
บรรณานุกรม.....	154
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	156

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4-1 เวลาที่ใช้ในการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เมื่อจำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 5$ ของค่าพารามิเตอร์กายภาพและค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐานต่าง ๆ ในหน่วยวินาที.....	136
4-2 เวลาที่ใช้ในการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เมื่อจำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 10$ ของค่าพารามิเตอร์กายภาพและค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐานต่าง ๆ ในหน่วยวินาที.....	136
4-3 เวลาที่ใช้ในการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เมื่อจำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 25$ ของค่าพารามิเตอร์กายภาพและค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐานต่าง ๆ ในหน่วยวินาที.....	137
4-4 เวลาที่ใช้ในการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เมื่อจำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 50$ ของค่าพารามิเตอร์กายภาพและค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐานต่าง ๆ ในหน่วยวินาที.....	138
4-5 เวลาที่ใช้ในการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เมื่อจำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 75$ ของค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 0$ ที่ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน ต่าง ๆ ในหน่วยวินาที.....	139
4-6 เวลาที่ใช้ในการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เมื่อจำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 100$ ของค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 0$ ที่ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน ต่าง ๆ ในหน่วยวินาที.....	140

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3-1 ฟังก์ชันฐานเกาส์เซียน.....	15
3-2 การเปรียบเทียบผลเฉลย (เส้นทึบ) กับผลเฉลยโดยประมาณ (เส้นประ) ที่เวลาเริ่มต้น ของจำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 10$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25$	18
4-1 แสดงการวางฟังก์ชันฐาน เมื่อมีจำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 5$ และค่าพารามิเตอร์ของ ฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	21
4-2 แสดงการวางฟังก์ชันฐาน เมื่อมีจำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 10$ และค่าพารามิเตอร์ของ ฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	22
4-3 แสดงการวางฟังก์ชันฐาน เมื่อมีจำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 25$ และค่าพารามิเตอร์ของ ฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	23
4-4 แสดงการวางฟังก์ชันฐาน เมื่อมีจำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 50$ และค่าพารามิเตอร์ของ ฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	24
4-5 แสดงการวางฟังก์ชันฐาน เมื่อมีจำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 75$ และค่าพารามิเตอร์ของ ฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	25
4-6 แสดงการวางฟังก์ชันฐาน เมื่อมีจำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 100$ และค่าพารามิเตอร์ของ ฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	26
4-7 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -200$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 5$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	28
4-8 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -200$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 10$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	30
4-9 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -200$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 25$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	32
4-10 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -200$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 50$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	34

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-11 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -200$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 75$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	36
4-12 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -200$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 100$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	38
4-13 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -150$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 5$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	40
4-14 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -150$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 10$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	42
4-15 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -150$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 25$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	44
4-16 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -150$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 50$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	46
4-17 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -150$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 75$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	48
4-18 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -150$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 100$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	50
4-19 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -100$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 5$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-20 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -100$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 10$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	54
4-21 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -100$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 25$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	56
4-22 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -100$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 50$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	58
4-23 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -100$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 75$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	60
4-24 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -100$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 100$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	62
4-25 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -50$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 5$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	64
4-26 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -50$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 10$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	66
4-27 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -50$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 25$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	68
4-28 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -50$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 50$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-29 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -50$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 75$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	72
4-30 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -50$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 100$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	74
4-31 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 0$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 5$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	76
4-32 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 0$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 10$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	78
4-33 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 0$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 25$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	80
4-34 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 0$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 50$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	82
4-35 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 0$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 75$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	84
4-36 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 0$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 100$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	86
4-37 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 50$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 5$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	88

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-38 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 50$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 10$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350.....	90
4-39 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 50$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 25$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350.....	92
4-40 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 50$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 50$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350.....	94
4-41 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 50$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 75$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350.....	96
4-42 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 50$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 100$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350.....	98
4-43 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 100$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 5$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350.....	100
4-44 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 100$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 10$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350.....	102
4-45 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 100$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 25$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350.....	104
4-46 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 100$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 50$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350.....	106

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-47 แสดงผลเฉลี่ยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 100$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 75$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	108
4-48 แสดงผลเฉลี่ยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 100$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 100$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	110
4-49 แสดงผลเฉลี่ยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 150$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 5$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	112
4-50 แสดงผลเฉลี่ยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 150$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 10$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	114
4-51 แสดงผลเฉลี่ยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 150$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 25$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	116
4-52 แสดงผลเฉลี่ยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 150$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 50$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	118
4-53 แสดงผลเฉลี่ยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 150$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 75$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	120
4-54 แสดงผลเฉลี่ยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 150$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 100$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	122
4-55 แสดงผลเฉลี่ยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 200$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 5$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	124

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-56 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 200$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 10$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	126
4-57 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 200$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 25$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	128
4-58 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 200$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 50$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	130
4-59 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 200$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 75$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	132
4-60 แสดงผลเฉลยโดยประมาณ เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 200$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 100$ และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300$ และ 350	134
4-61 แสดงผลเฉลยโดยประมาณในช่วงเวลาน้อยกว่า 1 เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -200$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 25$ ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25$ และ 50	140
4-62 แสดงผลเฉลยโดยประมาณในช่วงเวลาน้อยกว่า 1 เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -150$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 25$ ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25$ และ 50	141
4-63 แสดงผลเฉลยโดยประมาณในช่วงเวลาน้อยกว่า 1 เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -100$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 25$ ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25, 50$ และ 75	142
4-64 แสดงผลเฉลยโดยประมาณในช่วงเวลาน้อยกว่า 1 เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -50$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 25$ ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25$ และ 50	143

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-65 แสดงผลเฉลยโดยประมาณในช่วงเวลาน้อยกว่า 1 เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 50$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 25$ ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25$ และ 50.....	144
4-66 แสดงผลเฉลยโดยประมาณในช่วงเวลาน้อยกว่า 1 เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 100$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 25$ ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25$ และ 50.....	145
4-67 แสดงผลเฉลยโดยประมาณในช่วงเวลาน้อยกว่า 1 เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 150$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 25$ ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25$ และ 50.....	146
4-68 แสดงผลเฉลยโดยประมาณในช่วงเวลาน้อยกว่า 1 เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 200$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 25$ ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 25$ และ 50.....	147
4-69 แสดงผลเฉลยโดยประมาณในช่วงเวลาน้อยกว่า 1 เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -200$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 50$ ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 200$	148
4-70 แสดงผลเฉลยโดยประมาณในช่วงเวลาน้อยกว่า 1 เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -150$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 50$ ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 200$	148
4-71 แสดงผลเฉลยโดยประมาณในช่วงเวลาน้อยกว่า 1 เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -100$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 50$ ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 200$	149
4-72 แสดงผลเฉลยโดยประมาณในช่วงเวลาน้อยกว่า 1 เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = -50$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 50$ ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 200$	149
4-73 แสดงผลเฉลยโดยประมาณในช่วงเวลาน้อยกว่า 1 เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 50$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 50$ ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 200$	150

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-74 แสดงผลเฉลยโดยประมาณในช่วงเวลาน้อยกว่า 1 เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 100$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 50$ ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 200$	150
4-75 แสดงผลเฉลยโดยประมาณในช่วงเวลาน้อยกว่า 1 เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 150$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 50$ ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 200$	151
4-76 แสดงผลเฉลยโดยประมาณในช่วงเวลาน้อยกว่า 1 เมื่อมีค่าพารามิเตอร์กายภาพ $\lambda = 200$ จำนวนฟังก์ชันฐาน $N = 50$ ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฐาน $c = 200$	151