

<b>ชื่อโครงการ</b>	การศึกษาค่าฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์ของวัสดุ Rhodamine 6G ร่วมกับอนุภาค โลหะนาโนทอง-แพลลาเดียม
<b>แหล่งเงิน</b>	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง งบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์
<b>ประจำปีงบประมาณ</b>	2560 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 150,000 บาท
<b>ระยะเวลาทำการวิจัย</b>	1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2559 ถึง 30 กันยายน 2560
<b>หัวหน้าโครงการ</b>	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภทรียา ดำรงค์ศักดิ์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
<b>ผู้ร่วมโครงการวิจัย</b>	ดร. วิฑูรย์ ยินดีสุข ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

อันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนโลหะและวัสดุฟลูออโรฟอร์ได้รับถูกศึกษาอย่างกว้างขวางเนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานในหลายด้าน เช่น เซนเซอร์ชีวภาพ การสร้างภาพตรวจวัดเซลล์ และด้านเซลล์แสงอาทิตย์ การศึกษาที่ผ่านมามีพบว่าเมื่อวัสดุฟลูออโรฟอร์ถูกแวดล้อมด้วยอนุภาคนาโนโลหะ ความเข้มแสงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ขึ้นกับระยะห่างระหว่างอนุภาคโลหะและวัสดุฟลูออโรฟอร์ ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติการดูดกลืนและการเปล่งแสงของวัสดุ Rhodamine 6G ในรูปของสารละลายเมื่อถูกแวดล้อมด้วยอนุภาคนาโนโลหะทอง-แพลลาเดียม นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทดลองวัดค่าฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์ของสารละลาย Rhodamine 6G ในกรณีที่มีและไม่มี การเจืออนุภาคนาโนโลหะทอง-แพลลาเดียมโดยใช้วิธีการเปรียบเทียบ ความเข้มชั้นของสาร Rhodamine 6G ที่ศึกษาอยู่ในช่วง  $3.53 \times 10^{-7}$  ถึง  $1.70 \times 10^{-6}$  โมลาร์ และค่าความเข้มชั้นของอนุภาคนาโนโลหะทอง-แพลลาเดียมมีค่าอยู่ในช่วง  $7.06 \times 10^{-6}$  ถึง  $1.36 \times 10^{-4}$  โมลาร์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์จะมีค่าขึ้นกับความเข้มชั้นของสารที่ผสมกัน ความสัมพันธ์ของค่าฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์และความเข้มชั้นของสารจะถูกวิเคราะห์ผ่านวิธีการพื้นผิวตอบสนอง ผลการทดลองและการคำนวณมีค่าแตกต่างกันน้อยกว่า 2 %

**คำสำคัญ :** ฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์ อนุภาคนาโนโลหะทอง-แพลลาเดียม วิธีการพื้นผิวตอบสนอง

**Research Title:** Determination of the fluorescence quantum yield of Rhodamine 6G with gold-palladium core-shell nanoparticles

**Researchers:** Asst.Prof. Pattareeya Damrongsak (Principle investigator)  
Dr. Witoon Yindeesuk (Co-investigator)  
Physics Department Faculty of Science  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

### ABSTRACT

Interactions between metal nanoparticles and fluorophores have been extensively studied because they offer the diverse applications for biosensors, cell imaging, and photovoltaics. It has been reported that when fluorophores are located near the metal nanoparticles, emission intensity can be enhanced or quenched depending on the distance between the metal nanoparticles and fluorophores. In this research, we studied how the absorption and emission behavior of Rhodamine 6G dye in solution form is tailored using AuPd core-shell nanorods. In addition, the fluorescent quantum yield of Rhodamine6G solution in the absence and presence of AuPd core-shell nanorods was measured using a comparative method. The fluorescent quantum yields were investigated when the concentrations of Rhodamine6G were varied from  $3.53 \times 10^{-7}$  to  $1.70 \times 10^{-6}$  Molar, whilst the concentrations of AuPd core-shell nanorods were varied from  $7.06 \times 10^{-6}$  to  $1.36 \times 10^{-4}$  Molar. Experimental results have been shown that the measured fluorescent quantum yield was dependent on the proportions between Rhodamine6G and AuPd core-shell nanorods. Relationship between these fluorescent quantum yields and concentrations of the samples were also analyzed by the response surface methodology. It was found that the deviation between experiment and calculation were less than 2%.

**Keywords :** fluorescent quantum yield, AuPd core-shell nanorods, response surface methodology.

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนงบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤษกร โล่เจริญรัตน์ อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล. ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำเกี่ยวกับวิธีการจัดเตรียมอนุภาคนาโนโลหะ และช่วยผลักดันให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงและสามารถตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติได้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทริยา ดำรงค์ศักดิ์  
ดร. วิฑูรย์ ยินดีสุข

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>5</b>
2.1 Fluorescence quantum yield	5
2.2 กลไกการเรืองแสง	7
2.3 ปรากฏการณ์เซอรัฟเฟอพลาสมอนเรโซแนนซ์	9
2.4 Plasmon resonance energy transfer	9
2.5 Fluorescence resonance energy transfer	10
2.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)	12
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย</b>	<b>14</b>
3.1 เครื่องมือและระบบการวัดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	14
3.2 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	14
3.3 ระบบวัด	16
3.3.1 ระบบวัดสมบัติการดูดกลืนแสงของสารละลายสารเรืองแสง	16
3.3.2 ระบบวัดสมบัติการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์	17
3.4 การเตรียมวัสดุและการวัดค่า $\phi_f$ ของสารละลาย	17
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล</b>	<b>20</b>

4.1 ผลการหาค่าฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์ของสารละลาย Rhodamine 6G	20
4.2 ผลการศึกษาสเปกตรัมแสงของสารละลาย Rhodamine 6G และสารละลาย Rhodamine 6G ที่ผสมกับอนุภาค AuPd	28
4.3 ผลการหาค่าฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์ของสารละลาย Rhodamine 6G ผสม AuPd โดยการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Design Expert 9.0.3	33
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	42
5.1 สรุปผลการวิจัย	42
5.2 ข้อเสนอแนะ	42
<b>บทที่ 6 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย</b>	43
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	44
<b>ภาคผนวก</b>	
ภาคผนวก ก	47
ภาคผนวก ข	56

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 รายละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน	3
1.2 ระยะเวลาและแผนในการดำเนินงาน	4
2.1 ค่าฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์ของสารละลาย Rhodamine 6G ในตัวทำละลายต่างๆ	6
3.1 สมบัติพื้นฐานของสารเรืองแสง Rh6G และ RhB	15
3.2 ค่าความเข้มข้นของสารละลาย Rh6G	18
3.3 การเตรียมสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาค AuPd	18
3.4 ความเข้มข้นของสารละลาย Rh6G และอนุภาค AuPd	19
4.1 ค่าฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์ของสารละลาย Rh6G จากการทดลองครั้งที่ 1	26
4.2 ค่าฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์ของสารละลาย Rh6G จากการทดลองครั้งที่ 2	27
4.3 ค่าฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์ของสารละลาย Rh6G จากการทดลองครั้งที่ 3	27
4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์ของสารละลาย	39
4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สำหรับแบบจำลอง	41
4.6 ค่าฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์ของสารละลาย Rh6G ผสมอนุภาค AuPd ที่ได้จากการทดลองกับการคำนวณด้วยสมการ	41

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แผนภาพแสดงระดับพลังงาน Jablonski	7
2.2 กลไกการเกิดกระบวนการ Plasmonic resonance energy transfer	9
2.3 แผนภาพแสดงระดับพลังงานอธิบายการเกิดปรากฏการณ์ FRET	10
2.4 แผนภาพ Jablonski พื้นฐานและแบบประยุกต์กรณีโมเลกุลถูก แวดล้อมด้วยอนุภาคโลหะ	12
2.5 กระบวนการออกแบบการทดลอง	13
3.1 โครงสร้างของสาร (ก) Rhodamine 6G และ (ข) Rhodamine B	15
3.2 โครงสร้างของ AuPd แบบแท่ง	16
3.3 ระบบวัดการดูดกลืนแสง	16
3.4 ระบบวัดการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์	17
4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย Rh6G และ RhB	20
4.2 สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย Rh6G และ RhB	24
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพีคการเปล่งแสงและความเข้มข้นของสารละลาย	25
4.4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาค AuPd	28
4.5 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย Rh6G	29
4.6 ค่าพีคสูงสุดของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย Rh6G	29
4.7 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย Rh6G กับสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน AuPd	30
4.8 สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd เทียบกับ สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย Rh6G	32
4.9 อัตราส่วนแสงฟลูออเรสเซนซ์ของ AuPd + Rh6G : Rh6G	33
4.10 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย Rh6G และสารละลาย Rh6G ที่ผสม กับอนุภาค AuPd	34
4.11 สเปกตรัมการเปล่งแสงของ Rh6G และสารละลาย Rh6G ที่ผสมกับอนุภาค AuPd	36

4.12 (ก) ค่าฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการ  
คำนวณ (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์ ค่าความเข้มข้น  
ของสาร Rh6G และ อนุภาค AuPd