

การสร้งแบบจำลองการเคลื่อนที่ของกุ่มแกสในทางซางเผือก  
เพื่อทำนายรูปแบบของเส้นสเปกตรัม

นางสาวรสตุคนธ      จาระพะพันธุ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974-633-976-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย      จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**MODELLING OF GAS CLOUD MOTION IN THE MILKY WAY  
FOR SPECTRAL LINE PROFILE PREDICTIONS**

Miss Rossukon Jarayapun

A Thesis is Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate School

Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-633-976-1

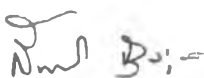
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของกลุ่มแก๊สในทางช้างเผือกเพื่อทำนายรูปแบบของเส้นสเปกตรัม

โดย นางสาวรสสุคนธ์ จารยะพันธุ์

ภาควิชา ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรชัย พัชรินทร์คณะกุล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

( รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ อุงสุวรรณ )


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ประธานกรรมการ

( อาจารย์ ดร. อภิสิทธิ์ อังกิจจานุกิจ )

 กรรมการ

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชิตน์ ศิริสมบูรณ์ถาวร )

 กรรมการ

( อาจารย์ ดร. เดวิด รูฟโฟโล )

 อาจารย์ที่ปรึกษา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรชัย พัชรินทร์คณะกุล )

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

รศ.สุคนธ์ จารยะพันธุ์ : การสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของกลุ่มแก๊สในทาง  
ช้างเผือกเพื่อทำนายรูปแบบของเส้นสเปกตรัม (MODELLING OF GAS CLOUD  
MOTION IN THE MILKY WAY FOR SPECTRAL LINE PROFILE PREDICTIONS)  
อ.ที่ปรึกษา: ผศ. ดร. พรชัย พัทธินทร์ตะนกุล, 149 หน้า. ISBN 974-633-976-1

การวิจัยนี้ได้สมมติแบบจำลองเส้นกราฟการหมุนของดาราจักรทางช้างเผือก เพื่อนำมาใช้ทำนายลักษณะของเส้นสเปกตรัมของคลื่น 21 เซนติเมตรจากแก๊สไฮโดรเจนที่ถูกกระตุ้น โดยพิจารณาให้ความหนาแน่นและอุณหภูมิของแก๊สมีค่าคงที่ โดยกำหนดให้แบบจำลองที่ 1 ความเร็วในวงโคจรคงที่เท่ากับ 250 กิโลเมตรต่อวินาที แบบจำลองที่ 2 เมื่อระยะทางจากจุดศูนย์กลางของดาราจักรน้อยกว่า 8 กิโลพาร์เซก ให้ความเร็วในวงโคจรแปรตามรัศมี และเมื่อระยะทางจากจุดศูนย์กลางดาราจักรมากกว่า 8 กิโลพาร์เซก มีความเร็วในวงโคจรเท่ากับ 250 กิโลเมตรต่อวินาที ในแบบจำลองที่ 3 เมื่อระยะทางจากจุดศูนย์กลางดาราจักรน้อยกว่า 8 กิโลพาร์เซก มีความเร็วในวงโคจรแปรตามรัศมี เมื่อระยะทางจากจุดศูนย์กลางดาราจักรมากกว่า 8 กิโลพาร์เซก มีความเร็วในวงโคจรแปรผกผันกับรากที่สองของรัศมีวงโคจร แบบจำลองทั้งสามนี้จะนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ 4 ซึ่งเส้นกราฟการหมุนมาจากค่าคงที่ของอูร์ท กราฟความเข้มของสเปกตรัมที่สร้างนี้จะสร้างในทุกลองจิจูดตั้งแต่ 4 , 9, 14 จนถึง 89 องศา โดยจะรวบรวมเป็นชุดของกราฟความเข้มสเปกตรัม เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบกับแบบจำลองอื่น ๆ ได้

ผลของการเปรียบเทียบในสามแบบจำลองกับแบบจำลองที่ 4 พบว่าเมื่อช่วงของความเร็วแนวเส้นสายตาเป็นบวก แบบจำลองที่ 1 มีความใกล้เคียงกับแบบจำลองที่ 4 มากที่สุด เมื่อช่วงของความเร็วแนวเส้นสายตาเป็นลบแบบจำลองที่ 3 มีความใกล้เคียงกับแบบจำลองที่ 4 มากที่สุด และขอบเขตบนของความเร็วแนวเส้นสายตาของแบบจำลองที่ 4 อยู่ระหว่างแบบจำลองที่ 1 กับแบบจำลองที่ 2 และ 3

ภาควิชา ..... ฟิสิกส์  
สาขาวิชา ..... ฟิสิกส์  
ปีการศึกษา ..... 2559

ลายมือชื่อนิสิต ..... สุคนธ์ จารยะพันธุ์  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... ผศ.ดร. พรชัย พัทธินทร์ตะนกุล  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

## C425339 :: MAJOR PHYSICS

KEY WORD: ROTATION CURVE/ SPECTRAL LINE PROFILE/ THE MILKY WAY

ROSSUKON JARAYAPUN :MODELLING OF GAS CLOUD MOTIION IN THE MILKY WAY  
FOR SPECTRAL LINE PROFILE PREDICTIONS.THESIS ADVISOR:

ASST.PROF. PORNCHAI PACHARIN-TANAKUN, Ph.D.149 pp.ISBN 974-633-976-1

In this research, the assumed rotation curves of the Milky Way are modeled to predict the spectral line profile of hydrogen 21 cm emission. The density and temperature of hydrogen atoms in the Milky Way are assumed to have constant values. In the first model, the orbital velocity is 250 km/sec. In the second models, when the distance of gas from the center of the galaxy  $r$  is less than 8 kpc, the velocity is proportional to  $r$ , and when  $r > 8$  kpc, the velocity is 250 km/sec. In the third model, when  $r \leq 8$  kpc, the orbital velocity is proportional to  $r$ , and when  $r > 8$  kpc, the orbital velocity is inversely proportional to the square root of  $r$ . These three models are compared with the fourth model, that is the rotation curve from Oort's constants. The set of spectral line profiles with longitudes of 4, 9, 14, . . . ., 89 degrees from 4 models can be a collection to compare with the other models of the galaxy.

The results from the comparision with the fourth model are that when the radial velocity is positive, the line profile of the first model is nearer than the others, but when the radial velocity is negative, the spectral line profile of third model is the nearest. The maximum value of the radial velocity for the fourth model is between the first model and second or third model.

ภาควิชา.....ฟิสิกส์.....

สาขาวิชา.....ฟิสิกส์.....

ปีการศึกษา.....๒๕๖๖.....

ลายมือชื่อนิติ.....สุกษณ์ จาญะพันธ์.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....ค.ค.ค......

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญตาราง .....	ง
สารบัญภาพ .....	จ
คำอธิบายสัญลักษณ์ .....	ช
บทที่ 1 บทนำ .....	1
บทที่ 2 ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการสร้างแบบจำลอง .....	7
2-1 การหาระยะทางจากจุดศูนย์กลางของดาราจักร และความเร็วในวงโคจรของดวงอาทิตย์ .....	7
2.1.1 สูตรของอูร์ท(Oort's Formula) .....	10
2.1.2 การสังเกตการณ์เทห์ของอูร์ท .....	14
2.1.3 รัศมีวงโคจรของดวงอาทิตย์ $R_0$ .....	16
2.1.4 ความเร็วในวงโคจรของดวงอาทิตย์ $\Theta_0$ .....	17
2-2 เสนกราฟการหมุนจากค่าคงที่ของอูร์ท .....	20
2-3 อุณหภูมิของแก๊สระหว่างดวงดาว .....	24
บทที่ 3 การสร้างแบบจำลองการหมุน .....	
3-1 การหากราฟความเข้มของสเปกตรัม .....	26
3-2 การสร้างแบบจำลอง .....	31
3.1.1 แบบจำลองที่ 1 .....	31
3.1.2 แบบจำลองที่ 2 .....	39
3.1.3 แบบจำลองที่ 3 .....	45
3.1.4 แบบจำลองที่ 4 .....	53

## สารบัญ

หน้า

บทที่ 4	สรุปผลและเปรียบเทียบ .....	61
รายการอ้างอิง .....		143
ภาคผนวก ก	Simpson's General Formula (Parabolic Rule) .....	145
ภาคผนวก ข	ระบบพิกัดดาราจักร (Galactic Coordinates).....	148
ประวัติผู้เขียน .....		149



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 แสดงค่าคงที่การหมุนของอูร์ท $\Lambda$ (km/s/kpc) โดยเอกสารอ้างอิงตั้งแต่ปี ค.ศ.1956 -1963 .....	15
ตารางที่ 2-2 แสดงค่าคงที่ของอูร์ท $\Lambda, B$ รัศมีวงโคจรและความเร็วในวงโคจรของดวงอาทิตย์ .....	19
ตารางที่ 3-1 แสดงตัวอย่างผลการคำนวณหา ระยะทางของแก๊สจากจุดศูนย์กลางของดาราจักร ระยะทางระหว่างแก๊สกับดวงอาทิตย์ ความหนาแน่นของเส้นสเปกตรัม และความเข้มของสเปกตรัม ที่ความเร็วแนวเส้นสายตา ใดๆ ในแบบจำลองที่ 1 .....	36
ตารางที่ 3-2 แสดงตัวอย่างผลการคำนวณหา ระยะทางของแก๊สจากจุดศูนย์กลางของดาราจักร ระยะทางระหว่างแก๊สกับดวงอาทิตย์ ความหนาแน่นของเส้นสเปกตรัมและความเข้มของสเปกตรัม ที่ความเร็วแนวเส้นสายตา ใดๆ ในแบบจำลองที่ 2 .....	43
ตารางที่ 3-3 แสดงตัวอย่างผลการคำนวณหา ระยะทางของแก๊สจากจุดศูนย์กลางของดาราจักร ระยะทางระหว่างแก๊สกับดวงอาทิตย์ ความหนาแน่นของเส้นสเปกตรัมและความเข้มของสเปกตรัม ที่ความเร็วแนวเส้นสายตา ใดๆ ในแบบจำลองที่ 3 .....	51
ตารางที่ 3-4 แสดงตัวอย่างผลการคำนวณหา ระยะทางของแก๊สจากจุดศูนย์กลางของดาราจักร ระยะทางระหว่างแก๊สกับดวงอาทิตย์ ความหนาแน่นของเส้นสเปกตรัมและความเข้มของสเปกตรัม ที่ความเร็วแนวเส้นสายตา ใดๆ ในแบบจำลองที่ 4 .....	58
ตารางที่ 4-1 แสดงช่วงของความเร็วแนวเส้นสายตาของทุก' เบบจำลองตามลองจิจูดดาราจักร .....	61

## สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1-1	แสดงกราฟการหมุนของดาราจักรเมื่อยระยะทางจากจุดศูนย์กลางของทางช้างเผือกน้อยกว่า $R_0$ .....	1
รูปที่ 1-2	แสดงกราฟการหมุนในสองช่วง $R < R_0$ และ $R > R_0$ .....	1
รูปที่ 1-3	แสดงชุดของกราฟความเข้มของสเปกตรัม .....	3
รูปที่ 1-4	แสดงกราฟความเข้มของสเปกตรัมที่ได้จากการสังเกตเป็น Gaussian Components .....	3
รูปที่ 1-5	เส้นกราฟการหมุนต่างๆ ที่หาจากการวิเคราะห์ความเข้มของสเปกตรัมและ Gaussian Components .....	3
รูปที่ 1-6	แสดงการจำลองเส้นกราฟการหมุนและกราฟความเข้มของสเปกตรัมโดย Burton (1970) .....	4
รูปที่ 1-7	แสดงเส้นกราฟการหมุนและนำมาสร้างกราฟความเข้มของสเปกตรัม .....	5
รูปที่ 2-1	แสดงวงโคจรของแก๊สและดวงอาทิตย์ .....	7
รูปที่ 2-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในดาราจักร .....	8
รูปที่ 2-3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีวงโคจรของแก๊สกับของดวงอาทิตย์ในแนวเส้นสายดาวหนึ่ง .....	9
รูปที่ 2-4	แสดงการประมาณระยะทางของแก๊สจากตำแหน่งต่างๆ .....	10
รูปที่ 2-5	แสดงการโคจรของแก๊สที่รัศมีวงโคจรเท่ากับ $R_0$ .....	16
รูปที่ 2-6	แสดงองค์ประกอบของความเร็วในแกนทั้งสาม .....	18
รูปที่ 2-7	แสดงความเร็วหลุดพ้นของดาราจักร .....	18
รูปที่ 2-8	เส้นสเปกตรัมที่วัดได้และจากการคาดหมาย .....	25
รูปที่ 3-1	แก๊สที่มีความหนา $d(d)$ มีความเร็วแนวเส้นสายดาว $V_R$ .....	28
รูปที่ 3-2	กราฟความสัมพันธ์ที่ขึ้นกับการกระจายตัวของแก๊สเนื่องจากความเร็วรอบ .....	29
รูปที่ 3-3	แบบจำลองเส้นกราฟการหมุนของดาราจักรตามแบบจำลองที่ 1 .....	31
รูปที่ 3-4	แสดงการเคลื่อนที่ของอนุภาครอบจุดศูนย์กลางของดาราจักรตามแบบจำลองที่ 1....	32
รูปที่ 3-5	แสดงเส้นกราฟการหมุนของดาราจักรทางช้างเผือกในแบบจำลองที่ 2 .....	39
รูปที่ 3-6	แสดงการเคลื่อนที่ของอนุภาครอบจุดศูนย์กลางของดาราจักรตามแบบจำลองที่ 2... ..	40
รูปที่ 3-7	แสดงเส้นกราฟการหมุนของดาราจักรทางช้างเผือกในแบบจำลองที่ 3 .....	45
รูปที่ 3-8	แสดงการโคจรของอนุภาคที่เริ่มต้นเคลื่อนที่จากแกนของรัศมีเดียวกัน .....	46

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 3-9 แสดงเส้นกราฟการหมุนของคาราจักรทางขวางเมื่ออยู่ในแบบจำลองที่ 4 .....	53
รูปที่ 3-10 แสดงการเคลื่อนที่ของอนุภาคในคาราจักรตามแบบจำลองที่ 4 .....	54
รูปที่ ผ2-1 รูปการแบ่งช่วงของการอินทิเกรต .....	147
รูปที่ ผ2-2 แสดงการแบ่งช่วงของการอินทิเกรต .....	147
รูปที่ ผ3-1 ระบบพิกัดคาราจักร .....	148

## คำอธิบายสัญลักษณ์

### อักษรพิมพ์ใหญ่

A	ค่าคงที่การหมุนของอูรท A
B	ค่าคงที่การหมุนของอูรท B
C	ค่าคงที่ในแบบจำลองที่ 3
$C_i$	ค่าคงที่ของการอินทิเกรตที่ i
I	ความเฉื่อยของสเปกตรัม
R	ระยะทางของแก๊สจากจุดศูนย์กลางของดาราจักร ขนาดเวกเตอร์ของระยะทางตามแนวรัศมี
$R_0$	รัศมีวงโคจรของดวงอาทิตย์
$R_{\min}$	ระยะทางระหว่างแก๊สกับจุดศูนย์กลางของดาราจักรที่น้อยที่สุดที่ทำให้ ความเร็วแนวเส้นสายดาสูงสุด
$V_{\text{esc}}$	ความเร็วหลุดพ้นจากดาราจักร
$V_{\max}$	ความเร็วแนวเส้นสายดาสูงสุดในแนวเส้นสายดาหนึ่ง
$V_R$	ความเร็วแนวเส้นสายดา (Radial Velocity)
$V_t$	ความเร็วแนวเส้นสัมผัส (Tangential Velocity)
$V_0$	ความเร็วแนวเส้นสายดาที่ต้องการหาความเฉื่อยของสเปกตรัม
T	อุณหภูมิเคลวิน

### ตัวอักษรพิมพ์เล็ก

c	ความเร็วแสง
b	ละติจูดดาราจักรในที่นี้หมายถึงระนาบใหม่
d	ระยะทางระหว่างแก๊สกับดวงอาทิตย์
l	ลองจิจูดดาราจักรในที่นี้หมายถึงระนาบใหม่
k	ค่าคงที่ของโบลทซ์มานน
z	ขนาดเวกเตอร์ของระยะทางตามแกน z
$(l'', b'')$	ระบบพิกัดดาราจักรระบบใหม่
$(l', b')$	ระบบพิกัดดาราจักรระบบเก่า

## คำอธิบายสัญลักษณ์

$f(R,z,H,0,Z)$	ฟังก์ชันของการกระจายที่จุดๆหนึ่งบนดาราจักรในระบบพิกัดทรงกระบอกขึ้นกับความเร็วและระยะทาง
$k_1$	$4.166 \times 10^3$ km/s/kpc
$k_2$	66.66 kpc <sup>2</sup>
$m$	มวลอะตอมของไฮโดรเจน
$(u,v,w)$	องค์ประกอบความเร็วในทิศทางทั้งสาม

## อักษรอื่นๆ

$\Theta_0$	ความเร็วในวงโคจรของดวงอาทิตย์
$\Theta$	ความเร็วในวงโคจรของแกส
$\Theta_m, \Omega_m$	ความเร็วในวงโคจรเฉลี่ย
$\Phi$	ศักย์โน้มถ่วง
$\omega$	อัตราเร็วเชิงมุม
$\omega_0$	อัตราเร็วเชิงมุมของดวงอาทิตย์
$(H, \theta, Z)$	องค์ประกอบความเร็วในทิศทางรัศมี ทิศทางเส้นสัมผัสและแนวตั้งฉากกับระนาบ
$\mathcal{V}_{esc}$	ความเร็วหลุดพ้นของดาราจักรในทิศทางเส้นสัมผัสหรือในทิศของการหมุน
$\mathcal{V}$	ความเร็วในทิศทางของการหมุนของดาวสัมพันธ์กับความเร็วในวงโคจรของดวงอาทิตย์
$\mu$	การเคลื่อนที่ พรอเพอร์ตามลองจิจูดดาราจักร
$(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$	การกระจายของความเร็วในทิศทั้งสาม
$m, n, p$	สัมประสิทธิ์ค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับมุมของการเปลี่ยนทิศทางของความเร็วและการกระจายของความเร็ว
$h, k, l$	พารามิเตอร์ซึ่งขึ้นกับการกระจายของความเร็ว
$v(R, z)$	ความหนาแน่นสเปซของดาว
$\Delta\lambda$	ความยาวคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไป
$K_z$	องค์ประกอบของแรงตามแกน $z$
$K_R$	องค์ประกอบของแรงตามแกนรัศมี