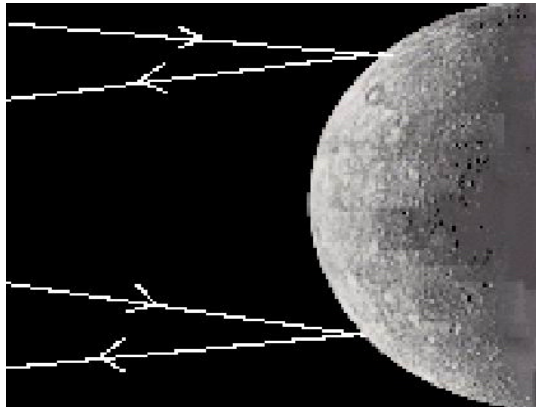


การวัดอัตราการหมุนรอบตัวเองของดาวพุธด้วยเรดาร์ (Radar Measurement of the Rotation Rate of Mercury)



เป้าหมาย

สามารถวัดสัญญาณจากการสะท้อนที่ขยายออกจากวัตถุที่กำลังหมุนเพื่อหาอัตราการหมุนรอบตัวเอง

วัตถุประสงค์

1. สามารถหาอัตราการหมุนรอบตัวเองของดาวได้โดยการวัดการขยายตัวของคลื่นที่สะท้อนกลับมาได้
2. ใช้กล้องโทรทรรศน์วิทยุจำลองส่งและรับคลื่นได้
3. หาค่าความถี่ที่เปลี่ยนไปของคลื่นได้
4. สามารถวัดดอปเปลอร์ชิฟท์เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นที่ส่งออกไปกับคลื่นที่สะท้อนกลับมาได้
5. หาคความเร็วในแนวรัศมีและคำนวณหาคาบของดาวพุธ
6. หาคาบการโคจรของดาวพุธรอบดวงอาทิตย์ได้

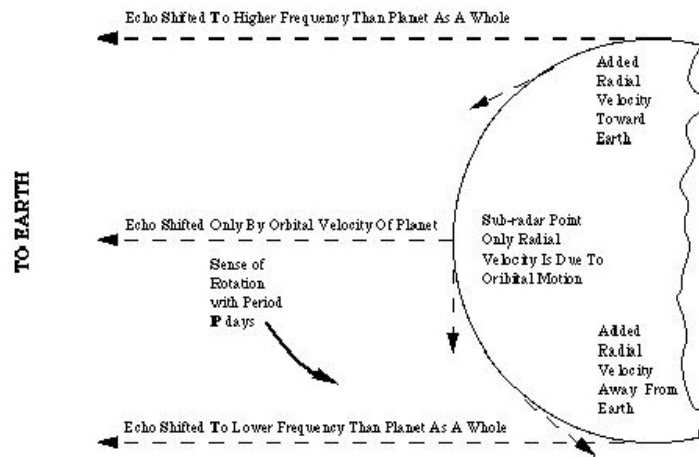
อุปกรณ์

คอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรม CLEA และเครื่องคิดเลข

ทฤษฎี

ดาวพุธ คือ ดาวเคราะห์ขนาดเล็ก อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด มองเห็นด้วยตาเปล่าตอนกลางคืนยากเพราะมันอยู่ใกล้กับดวงอาทิตย์มากและยังยากที่จะบอกได้ว่ามันหมุนด้วยความเร็วเท่าใด ในการหาการหมุนรอบตัวเองของดาวพุธ ได้ใช้เรดาร์ในการวัดความเร็วของการหมุน ซึ่งเรดาร์ใช้ในการศึกษาดาวเคราะห์ดาวอื่นๆ ไปจนถึงดาวเคราะห์น้อยได้อีกด้วย

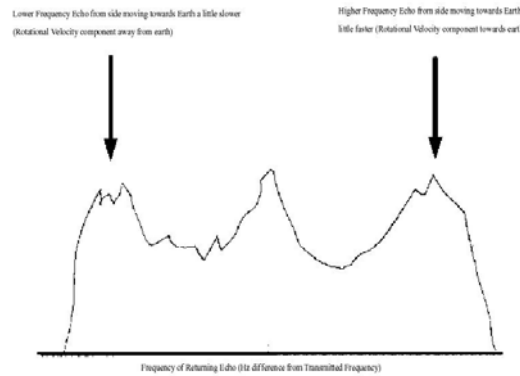
เทคนิคที่จะใช้นี้อาศัยกล้องวิทยุส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทราบค่าความถี่ไปยังดาวพุธ และทำการบันทึกสัญญาณที่สะท้อนกลับ เมื่อเทียบตำแหน่งของดวงอาทิตย์และดาวพุธแล้ว ในการเดินทางไปยังดาวพุธอาจใช้เวลา 10 นาทีถึงครึ่งชั่วโมงนับจากถูกส่งออกไปแล้วสะท้อนออกมา



รูปที่ 1 การเกิดคอปเปลอร์ชิฟท์

คลื่นที่ดาวพุธได้รับนั้นจะแผ่กระจายไปทั่วดวง เนื่องจากผิวของดาวเป็นทรงกลม คลื่นที่ตกแต่ละส่วนของดาวจะกินเวลาที่แตกต่างกัน แต่คลื่นแรกที่กระทบผิวดาว ณ จุดเชื่อมตรงระหว่างดาวพุธกับโลก (“sub-radar point”) จากนั้นอีกไม่กี่ไมโครวินาที (microseconds= 10^{-6} วินาที) คลื่นก็จะตกกระทบจุดที่ห่างออกไปจนถึงขอบของดาว เราจะทำการจับสัญญาณสะท้อนตัวแรกที่สะท้อนออกมาจาก sub-radar point แล้วเราจะ ได้ข้อมูลของพื้นผิวของดาวพุธได้จากคลื่นที่สะท้อนออกมาจากส่วนอื่นของพื้นผิวในอีกไม่กี่ไมโครวินาทีถัดมา ความถี่ที่สะท้อนออกมามีค่าแตกต่างไปจากที่ส่งไปยังดาวพุธเพราะสัญญาณที่กระทบกับส่วนผิวที่มีการเคลื่อนที่ของดาวพุธที่เวลาใดๆ คลื่นที่เคลื่อนในแนวรัศมี (เข้า/ออก จากผู้สังเกต) จะเกิดคอปเปลอร์ชิฟท์

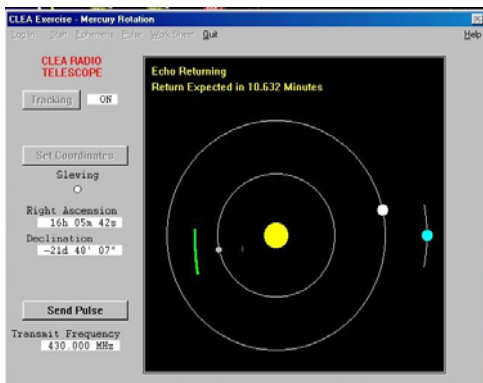
มีการเคลื่อนที่อยู่ 2 ลักษณะที่ทำให้เกิดการเลื่อนได้คือ อย่างแรกคือการเคลื่อนที่ในวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ และการหมุนรอบแกนหมุนของตัวเอง โดยที่ sub-radar point จะเลื่อนเนื่องจากการโคจรรอบดวงอาทิตย์เท่านั้น เราสามารถคำนวณได้ว่าความเคราะห์โคจรรอบดวงอาทิตย์ด้วยความเร็วเท่าไรได้ เมื่อเทียบจากโลก แต่เรายังบอกไม่ได้ว่ามันหมุนรอบตัวเองด้วยความเร็วเท่าใด เพราะความเร็วการหมุนรอบตัวเองของพื้นผิวดังกล่าวกับแนวสายตาที่ sub-radar point ดังนั้นจะไม่มีความเร็วส่วนไหนเกินหรือขาดจากสัญญาณ ส่วน sub-radar point เลย



รูปที่ 2 ความถี่ที่สะท้อนกลับมา

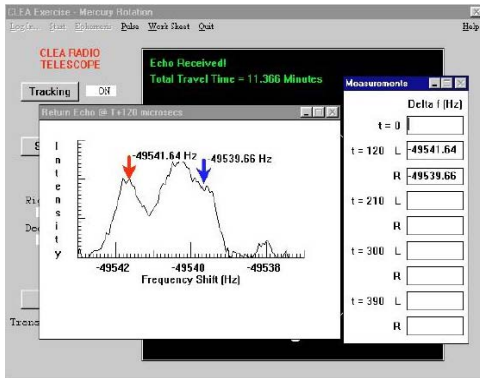
อย่างไรก็ดี ยังมีพื้นผิวส่วนหนึ่งที่ยังไม่ได้พิจารณาเลย เพราะการหมุนของดาวพุธจะมีขอบหนึ่งที่เกิดขึ้นที่เข้าหาเรา และมีอีกขอบที่เคลื่อนออกจากเรากำหนดจากผลของคอปเปอเรอร์สัญญาณที่สะท้อนออกมา (จากส่วนที่เคลื่อนที่เข้าหาเรา) จะมีความถี่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยและสัญญาณจากส่วนที่เคลื่อนออกจากเราจะมีความถี่ลดลงเล็กน้อย

วิธีการทดลอง



รูปที่ 3 คลื่นที่ส่งออกและย้อนกลับ

1. เปิดกล้องโทรทรรศน์วิทยุ
2. กำหนดหาตำแหน่งของดาวพุธและหมุนกล้องไปหาดาวพุธ
3. ส่งคลื่นออกไป
4. ระหว่างที่รอคลื่นสะท้อนกลับให้คำนวณหาตัวแปรตำแหน่งต่างๆของของดาวพุธสำหรับคลื่นที่จะสะท้อนกลับมา ที่เวลา 120 μ s , 210 μ s ,300 μ s และ 390 μ s

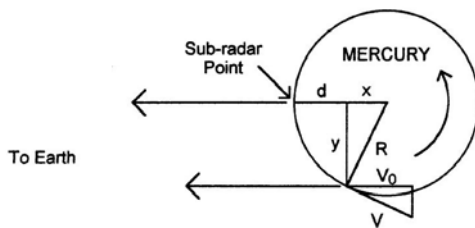


5. วัดตำแหน่งสูงสุดและต่ำสุดของคลื่นที่เลื่อนไปของคลื่นที่สะท้อนกลับมาทั้ง 4 คลื่น
6. บันทึกค่าที่ได้แล้วคำนวณหาความเร็วการหมุนรอบตัวเองในแนวศูนย์สูตรของดาวพุธ
7. คำนวณหาคาบการหมุนรอบตัวเองในหน่วยวันจากความเร็วในการหมุนรอบตัวเอง
8. ตรวจสอบคำตอบและข้อมูลทุกอย่าง

รูปที่ 4 การวัดความถี่คลื่นที่ย้อนกลับ

การคำนวณ

ความเร็วการหมุนรอบตัวเองของดาวพุธ v คำนวณจากความสัมพันธ์ทางเรขาคณิต โดยที่ R คือรัศมีของดาวเคราะห์ d คือ delay distance, v_0 ความเร็วที่วัดได้จากคอปเพลอร์เมื่ออยู่ในแนวสายตา



รูปที่ 5 รูปแบบการ โคจรของดาวพุธ

1 : หา d (เมตร) d เป็นระยะที่เดินทางพื้นจาก sub-radar point ดังรูปที่ 5

โดยที่ $d =$ อัตราเร็ว \times เวลา โดยที่เราวัดเวลาได้จากการสะท้อนของสัญญาณที่เดินทางไป – กลับ และหารด้วย 2

$$d = (c \Delta t) / 2$$

$$c = \text{light speed } (3 \times 10^8 \text{ m/s})$$

$$\Delta t = \text{time delay } (\mu\text{s})$$

2 : หา x โดย x เป็นระยะที่อยู่ในแนวสายตาจากใจกลางของดาวพุธ ซึ่งหาได้จาก รัศมีของดาวพุธลบด้วยระยะทาง d ที่หาได้จาก part 1 และ R ของดาวพุธ มีค่า $= 2.24 \times 10^6 \text{ m}$

$$x = R - d$$

3 : หา y โดยที่ y เป็นระยะที่ตั้งฉากกับแนวสายตา โดยนับจากปลายของดาวพุธจนถึง sub-radar point

$$y = \sqrt{(R^2 - x^2)}$$

4 : หา Δf_{total} โดย Δf_{total} เป็นความถี่ที่เลื่อนไปจากความถี่เดิม โดยที่การเลื่อนมี 2 ตำแหน่ง คือ ทางซ้ายและทางขวาของ sub-radar point

$$\Delta f_{\text{total}} = (\Delta f_{\text{right}} - \Delta f_{\text{left}}) / 2$$

5 : หา f_c ซึ่งความจริงความถี่ที่เราวัดเป็นคลื่นสะท้อนกลับ จึงต้องหารด้วย 2

$$\Delta f_c = \Delta f_{\text{total}} / 2$$

6 : หา v_0 เป็นความเร็วในการหมุนรอบตัวเองของดาวพุธในแนวสายตาดจากจุดที่คลื่นสะท้อนกลับมา

$$V_0 = c (\Delta f_c / f) \quad f = 430 \text{ MHz} ; (1\text{MHz} = 10^6 \text{ Hz})$$

7 : หา v เป็นความเร็วในการหมุนรอบตัวเองของดาวพุธในแนวเส้นศูนย์สูตร ซึ่ง v_0 ที่ได้ในข้อ 6 เป็นเพียงที่ตำแหน่งหนึ่งของดาวพุธเท่านั้น ต้องคูณด้วยอัตราส่วน R_{merc}/y

$$V = V_0 (R/y)$$

8 : หา P_{rot} สำหรับแต่ละคลื่นสามารถคำนวณหาคาบในการหมุนได้โดย หารเส้นรอบวงดาวด้วยความเร็ว แล้วหารด้วย จำนวนวินาทีใน 1 วันคือ 86,400 วินาที ก็จะได้คาบที่มีหน่วยเป็นวัน

$$P_{\text{rot}} (\text{second}) = 2\pi R_{\text{merc}} / V$$

ผลการทดลอง

เมื่อคำนวณหา P_{rot} ของแต่ละสัญญาณที่สะท้อนออกมาแล้ว ต่อไปคำนวณหาคาบเฉลี่ยการหมุนรอบตัวในหน่วยวันของดาวพุธ

โดยที่คาบการหมุนรอบตัวเองของดาวพุธ = _____ วัน

ค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ยอมรับได้คือ 59 วันมีค่าเท่ากับ

$$\frac{|P_{\text{rot}} - 59|}{59} \times 100\% =$$

ความเร็วในการโคจรรอบดวงอาทิตย์ของดาวพุธ

ใช้ความถี่ที่เลื่อนไปจาก sub-radar point เพื่อคำนวณหาความเร็วการโคจร โดยความถี่ที่เลื่อนไปต้องหารด้วย 2 ก่อนเนื่องจากเป็นคลื่นสะท้อน ใช้สูตรดอปเปลอร์ในการคำนวณ ถ้าความเร็วเป็นลบ คือดาวกำลังเคลื่อนที่ออกจากโลก ถ้าเป็นบวก คือกำลังเคลื่อนที่เข้าหาโลก หาความเร็วนี้ในหน่วยกม./วินาที

วาดรูปตำแหน่งของโลก, ดวงอาทิตย์และดาวพุธ ตามทิศทางการโคจรของดาวพุธ คำตอบที่ได้เหมือนกับรูปหรือไม่? อธิบาย

คำถาม

เราทราบขนาดของวงโคจรสัมพัทธ์ของดาวเคราะห์จากกฎของเคปเลอร์มานานแล้วก่อนที่จะรู้ขนาดในหน่วยกิโลเมตรของระยะทางระหว่างดวงอาทิตย์กับโลก(AU.) คลื่นที่สะท้อนกลับจากดาวพุธเหมาะที่จะนำมาหาระยะทางนี้ จากการคำนวณตำแหน่งของดาวพุธ เราทราบระยะห่างของดาวพุธในหน่วย AU. ใช้ค่านี้และเวลาที่คลื่นเดินทางไปกลับ คำนวณหาระยะทาง 1 AU ในหน่วยกิโลเมตร โดยใช้ $c = 2.998 \times 10^8$ กม./วินาที

ตารางบันทึกข้อมูล

delta t (μs)	120	210	300	390
d (m)				
x (m)				
y (m)				
Freq-left (Hz)				
Freq-right (Hz)				
Delte f_{total} (Hz)				
Delte f_c (Hz)				
V_0 (m/s)				
V (m/s)				
P_{rot} (วัน)				

Delta f ที่ T = 0 _____

$V_{orbital}$ _____

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุ(ไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

