

คำแนะนำสำหรับการแข่งขันเป็นกลุ่ม

ก่อนที่นักเรียนจะไปที่กล้องโทรทัศน์ ของบรรจกระดาศสรุปคำตอบจะถูกส่งมอบให้นักเรียน โปรดเขียนรหัสกลุ่มของนักเรียนบนซอง

- มีคำถามแปดข้อในการสอบนี้คือ G01.1 ถึง G01.8 นักเรียนได้รับกระดาศคำแนะนำแล้ว และกระดาศคำถามก็ได้แนบมาพร้อมกันกับกระดาศคำแนะนำ
- ที่โต๊ะสังเกตการณ์ นักเรียนจะได้รับกล้องโทรทัศน์วิทยุและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง พร้อมด้วยไฟฉายคาดศีรษะและแผ่นสำหรับเขียน
- กระดาศสรุปคำตอบจะถูกเก็บไว้ในซองขนาดเล็ก [S] นักเรียนได้รับอนุญาตให้เปิดซองนี้ (S) เฉพาะเมื่อนักเรียนไปถึงโต๊ะสังเกตการณ์กล้องโทรทัศน์และการสอบเริ่มขึ้นอย่างเป็นทางการเท่านั้น
- จะมีการเป่านกหวีดเพื่อแจ้งเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดช่วงการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล
- เวลาสำหรับการเก็บข้อมูลที่โต๊ะสังเกตการณ์คือ 35 นาที
- สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล นักเรียนจะถูกย้ายไปที่ Powai Ball Room เวลาสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลคือ 30 นาที
- ลำดับขั้นตอนของการสอบมีดังนี้ :

เวลา (นาที:วินาที)	ระยะเวลา	งานที่ต้องทำ
00:00 – 35:00	35 นาที	การเก็บข้อมูลที่โต๊ะสังเกตการณ์
35:00 – 65:00	30 นาที	การวิเคราะห์ข้อมูลที่ Powai Ball Room

- นักเรียนควรใช้ปากกาในการบันทึกข้อมูลและคำตอบ ดินสอนั้นควรใช้ในการวาดกราฟ
- นักเรียนไม่ควรออกจากโต๊ะที่กำหนดให้ระหว่างช่วงการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล
- นักเรียนสามารถทำงานวิเคราะห์ข้อมูลได้ แม้ในขณะที่การเก็บข้อมูลกำลังดำเนินอยู่
- เมื่อสิ้นสุดการสอบ :
 - ตรวจสอบว่า นักเรียนได้เขียนรหัสกลุ่มและหมายเลขหน้าบนกระดาศทุกแผ่นที่ใช้อย่างถูกต้อง
 - จัดเรียงกระดาศของนักเรียนตามลำดับต่อไปนี้ :
กระดาศสรุปคำตอบของ (G01), กระดาศสำหรับแสดงวิธีทำที่ใช้สำหรับ (G01)
 - เก็บกระดาศข้างต้นใส่ไว้ในซองขนาดเล็ก [S] กระดาศสรุปคำตอบทุกแผ่นจะต้องถูกใส่ไว้ในซอง [S] ไม่ว่านักเรียนจะได้ใช้งานกระดาศสรุปคำตอบครบทุกแผ่นหรือไม่ก็ตาม
 - ใส่ซองขนาดเล็กไว้ในซองขนาดใหญ่ [B]
 - กระดาศอื่น ๆ ทั้งหมด ได้แก่ กระดาศคำแนะนำ, กระดาศคำอธิบาย, กระดาศคำถามทั้งหมด, และกระดาศสำหรับแสดงวิธีทำที่ไม่ได้ใช้ ควรถูกใส่ไว้ในซองขนาดใหญ่ [B] โดยตรง
 - เฉพาะเอกสารที่อยู่ในซองขนาดเล็ก [S] เท่านั้นที่จะได้รับการตรวจ กระดาศใด ๆ ที่ไม่ได้ใส่ไว้ในซองนี้จะไม่ถูกตรวจ
 - ผูกเชือกปิดผนึกบนซอง [B]

(G01) การค้นหาสสารมืดในกาแล็กซีโดยใช้กล้องโทรทรรศน์วิทยุ (Uncovering galactic Dark Matter Using a Radio Telescope) [150 คะแนน]

- (G01.1) เราจะประมาณความละเอียด (resolution) ของกล้องโทรทรรศน์วิทยุและเปรียบเทียบกับความแม่นยำเชิงมุม (angular accuracy) ของอุปกรณ์ชี้ทิศทาง (pointing device)
- (G01.1a) วัดขนาดมิติช่องเปิด (aperture dimension) ของกล้องโทรทรรศน์วิทยุ (มิติความยาวด้านยาว a และมิติความยาวด้านสั้น b) โดยตอบในหน่วยเมตร จากนั้น ประมาณค่าความละเอียดเชิงมุมของกล้อง (resolution) ในแต่ละมิติ (θ_{res}^a และ θ_{res}^b ตามลำดับ) ในหน่วยองศา ทำเครื่องหมายถูก (✓) ที่มิติซึ่งให้ความละเอียดสูงกว่า [7]
- (G01.1b) เพื่อเปรียบเทียบกับความละเอียดข้างต้น ให้เขียนค่าความละเอียดเชิงมุมต่ำสุด $\theta_{\text{min}}^{\text{az}}$ และ $\theta_{\text{min}}^{\text{alt}}$ (ซึ่งก็คือขนาดมุมที่เล็กที่สุดที่วัดได้) ของตัววัดมุม (protector) และเครื่องวัดความเอียงดิจิทัล (digital inclinometer) ตามลำดับ [2]
- (G01.2) เปิดซอฟต์แวร์การทำงานของกล้องโทรทรรศน์และตรวจสอบโดยใช้แท็บ 1 (Tab 1) ว่าระบบทำงานอยู่ สำหรับแต่ละลองจิจูด [25]
- ใช้แท็บ 2 (Tab 2) เพื่อป้อนพิกัดกาแล็กซี (galactic coordinate) คือ ลองจิจูด l และละติจูด $b = 0$ โดยบันทึกเวลา, มุมเงย (altitude), มุมทิศ (azimuth), และ v_{corr} ที่สอดคล้องกันในตารางในแผ่นคำตอบสรุป
 - ชี้กล้องไปที่มุมเงยและมุมทิศนี้และใช้แท็บ 3 (Tab 3) เพื่อบันทึกข้อมูล 'l.csv' (เช่น ไฟล์ชื่อ '30.csv' อาจมีข้อมูลที่สอดคล้องกับลองจิจูด 30°)
- ทำซ้ำขั้นตอนนี้สำหรับลองจิจูดที่แตกต่างกันทั้งหมดจากตาราง
- (G01.3) ใช้แท็บ 3 เพื่อบันทึกข้อมูลการปรับระบบให้มีค่าถูกต้อง (calibration) 'sky.csv' และ 'ground.csv' โดยชี้กล้องโทรทรรศน์ไปยังบริเวณท้องฟ้าที่ห่างจากระนาบกาแล็กซี (galactic plane) และจากนั้นชี้ไปยังพื้นดิน ตามลำดับ กรอค่ามุมเงยและมุมทิศที่นักเรียนเลือกชี้กล้องไป และเวลาที่นักเรียนทำการวัดแต่ละครั้งในกระดาษสรุปคำตอบ [14]
- (G01.4) ทำ calibration สำหรับค่าการเพิ่มลดระดับสัญญาณ (gain) และอุณหภูมิ (temperature) โดยใช้ขั้นตอนที่สอดคล้องกับแท็บ 4 (Tab 4) [7]
- (G01.5) สำหรับการสังเกตแต่ละครั้งใน 'l.csv' ให้ใช้แท็บ 5 (Tab 5) เพื่อได้สเปกตรัมของอุณหภูมิที่ลองจิจูด l ที่แตกต่างกัน 5 ค่า
- (G01.5a) จงหาค่าความถี่ที่มีการเลื่อนทางแดง (redshift) มากที่สุด f_{obs} ของเส้น HI ซึ่งมีอุณหภูมิ 5 K สูงกว่าเส้นฐาน (baseline) ที่สอดคล้องกับกาแล็กติกลองจิจูด (galactic longitude, l) แต่ละค่า และบันทึกค่าดังกล่าวลงในตารางในกระดาษสรุปคำตอบ [19]
- (G01.5b) จงคำนวณค่า $v_{\text{Earth}}^{\text{obs}}(l)$ และ $v_{\text{LSR}}^{\text{max}}(l)$ และบันทึกลงในกระดาษสรุปคำตอบ [10]

(G01.5c) โดยใช้ค่าของ $v_{\text{LSR}}^{\text{max}}$ ที่กาแล็กติกลองจิจูดแต่ละค่าที่สังเกต จงคำนวณ [10]
ความเร็วการหมุน (rotation velocity) $v_{\text{rot}}(R)$ และรัศมีกาแล็กติก
(galactic radius) สำหรับเส้นสเปกตรัมจากการเปล่งแสง (emission) ที่มีการ
เลื่อนทางแดงมากที่สุดสำหรับกาแล็กติกลองจิจูดทั้ง 5 ค่า บันทึกค่าทั้งหมด
เหล่านีลงในกระดาษสรุปคำตอบ

(G01.6) พล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการหมุน (rotation curve) เทียบกับรัศมีที่วัดจาก [6]
จุดศูนย์กลางกาแล็กซี (galacto-centric radius) บนกระดาษกราฟที่เป็นส่วนหนึ่งของกระดาษ
สรุปคำตอบ และวาดเส้นโค้งเรียบ (smooth curve) ผ่านจุดเหล่านี้

(G01.6a) โดยสมมติว่า การกระจายมวลในกาแล็กซีเป็นแบบสมมาตรเชิงทรงกลม (spherically [10]
symmetric) ให้ประมาณมวลที่อยู่ภายในรัศมีที่สอดคล้องกับการสังเกตการณ์ของ
นักเรียนโดยใช้สูตร :

$$M_{\text{encl}}(R) = \frac{v_{\text{rot}}^2 R}{G}$$

โดยที่ R คือ galacto-centric radius, v_{rot} คือความเร็วการหมุน, และ G คือค่าคงตัว
ความโน้มถ่วงสากล เขียนคำตอบของนักเรียนในหน่วยของมวลดวงอาทิตย์

(G01.6b) มวลในสสารแบรีออนปกติ (ordinary baryonic matter) ที่อยู่ภายใน galacto-centric [12]
radius R ต่าง ๆ ของทางช้างเผือกถูกพล็อตด้วยสัญลักษณ์ $\odot$ ในกราฟที่ให้มาใน
กระดาษสรุปคำตอบ จงพล็อตกราฟของ $M_{\text{encl}}(R)$ จากการวัดของนักเรียนใน
กระดาษกราฟเดียวกัน และวาดเส้นโค้งเรียบ (smooth curve) ที่ถูกต้องตามหลัก
ฟิสิกส์สองเส้น โดยแต่ละเส้นจะถูกวาดสำหรับแต่ละชุดการวัด

(G01.6c) จงคำนวณขนาดของมวลสสารมืด (dark matter) $M_{\text{dm}}(R)$ ที่อยู่ภายในรัศมีต่าง ๆ [10]
และบันทึกลงในตารางในกระดาษสรุปคำตอบ

(G01.7) จงประมาณค่าความไว (sensitivity) ของการสังเกตการณ์ของนักเรียนต่อช่องสเปกตรัมในหน่วย [9]
ของอุณหภูมิซึ่งคิดในหน่วย K โดยพิจารณาว่าสเปกตรัมมีช่องทั้งหมด 512 ช่อง และครอบคลุมช่วง
ความถี่ทั้งหมดเป็น 2.048 MHz

(G01.8) พารามิเตอร์ใดต่อไปนี้จะดีขึ้นหากการสังเกตการณ์ทำด้วยสายอากาศรูปปากแตร (horn [9]
antenna) ที่มีขนาดช่องเปิด (aperture) ใหญ่ขึ้น ทำเครื่องหมายหน้าตัวเลือกที่ถูกต้องในแผ่น
สรุปคำตอบ

- A. ความไว (sensitivity) σ_T สำหรับ $T_{\text{ant}}=5$ K
- B. ความละเอียดเชิงมุม (angular resolution)
- C. การประมาณค่า v_{rot}
- D. ความละเอียด (resolution) ในความถี่