เฉลยแบบฝึกหัดที่ 2 กาแล็กซีและทางช้างเผือก

เอกสารครู — ปล่อยให้นักเรียนหลังเก็บแบบฝึกหัดแล้ว · ว30105 วิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ · ม.5 · COSMOS LOG EP02 · ใช้คู่กับแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2

จุดวัดมโนทัศน์ของชุดนี้ — ข้อที่ติดป้าย MC1 MC2 MC3 คือข้อที่ออกแบบมาชนความเข้าใจคลาดเคลื่อนเป้าหมายของแผน 2 โดยตรง ควรดูสถิติทั้งห้องเป็นพิเศษ

MC1 "ทางช้างเผือกเป็นแค่เมฆบนท้องฟ้า" → ข้อ 0, 3, 6 · **MC2** "ระบบสุริยะอยู่ศูนย์กลางทางช้างเผือก" → ข้อ 1, 2, 5 · **MC3** "กาแล็กซีอยู่นิ่ง" → ข้อ Spot the Error, 15, 19, 22, 24

0. ตอบ ข้อ 2 MC1

> แถบฝ้าขาวคือ**จานของกาแล็กซีทางช้างเผือกเอง** — เราอยู่ในจาน เมื่อมองตามระนาบจาน สายตากวาดผ่านดาวนับแสนล้านดวงที่ซ้อนกันลึกเข้าไป แสงรวมกันเป็นแถบขาว ไม่ใช่เมฆในบรรยากาศ (คืนฟ้าใสไร้แสงเมืองจะยิ่งเห็นชัด — ตรงข้ามกับพฤติกรรมของเมฆ)

1. MC2

> **ก** ใจกลางกาแล็กซี / ดุมนูนกลาง (bulge — ภายในมีหลุมดำมวลยิ่งยวด Sgr A*) · **ข** ตำแหน่งดวงอาทิตย์ (ระบบสุริยะ) บนแขนโอไรออน-ซิกนัส · **ค** ระยะดวงอาทิตย์–ศูนย์กลาง ≈ **26,000 ปีแสง** · **ง** เส้นผ่านศูนย์กลางจาน ≈ **100,000 ปีแสง**

2. MC2

> ประเภท: **ก้นหอย (Spiral)** · เส้นผ่านศูนย์กลาง: **~100,000 ปีแสง** · จำนวนดาว: **~1–4 แสนล้านดวง** · แขนที่เราอยู่: **โอไรออน-ซิกนัส (Orion-Cygnus)** · ระยะถึงศูนย์กลาง: **~26,000 ปีแสง** (ไม่ได้อยู่ใจกลาง — อยู่ค่อนไปทางขอบ)

3. MC1

> เพราะดาวส่วนใหญ่ของกาแล็กซีอัดอยู่ใน**จานแบน** และ**เราอยู่ข้างในจานนั้น** เมื่อมองไปตามระนาบจาน สายตาผ่านดาวจำนวนมหาศาลซ้อนกัน แสงรวมกันเป็นแถบสว่าง แต่เมื่อมองตั้งฉากกับจาน มีดาวขวางสายตาน้อยกว่ามาก ฟ้าจึงโปร่ง — ดาวจึงไม่กระจายเท่ากันทั้งฟ้า แต่หนาแน่นเป็นแถบตามแนวจาน

4.

> กาแล็กซีประกอบด้วย **ดาวฤกษ์**, **ก๊าซ**, **ฝุ่น** และสสารมืด — ยึดเหนี่ยวรวมกันด้วยแรง**โน้มถ่วง**

5. ตอบ ข้อ 2 MC2

> ระบบสุริยะอยู่บนแขนโอไรออน-ซิกนัส ห่างศูนย์กลาง ~26,000 ปีแสง · ข้อ 1 คือ MC2 ตรง ๆ (เห็นแถบรอบทิศเพราะเราอยู่<u>ในจาน</u> ไม่จำเป็นต้องอยู่ศูนย์กลาง) · ข้อ 3 ผิด เราอยู่ในจาน ไม่ใช่ฮาโล · ข้อ 4 ผิด 100,000 ปีแสงคือเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งจาน

6. ตอบ ข้อ 2 MC1

> แถบทางช้างเผือกคือแสงรวมของดาวในจานกาแล็กซี ไม่ใช่เมฆ — จุดสังเกตที่ใช้โต้แย้ง: เมฆบังดาว/เคลื่อนตามลม/เห็นเฉพาะบางคืน แต่แถบทางช้างเผือกอยู่ตำแหน่งเดิมเทียบกับกลุ่มดาวเสมอ และคืนฟ้าใสไร้แสงรบกวนจะยิ่งชัด

7.

> ก้นหอย (S): ก๊าซฝุ่น**มาก** (สะสมในแขนกังหัน) → ดาวเกิดใหม่**มาก**
> รี (E): รูปร่าง**ทรงกลมถึงรี เรียบ ไม่มีแขนกังหัน** · ก๊าซฝุ่นน้อยมาก → **แทบไม่มีดาวเกิดใหม่ ดาวส่วนใหญ่อายุมาก**
> ไร้รูปแบบ (Irr): ก๊าซฝุ่น**ไม่แน่นอน (หลายดวงมีมาก)** → ดาวเกิดใหม่**ไม่แน่นอนแล้วแต่ดวง (มักพบได้)**

8.

> M31 → **S** · M87 → **E** · เมฆแมเจลแลนใหญ่ → **Irr** · กาแล็กซีบิดเบี้ยวจากการชน → **Irr** · ทางช้างเผือก → **S**

9.

> ดาวฤกษ์เกิดจากการยุบตัวของ**ก๊าซและฝุ่น**ด้วยแรงโน้มถ่วง แต่กาแล็กซีรีเหลือก๊าซและฝุ่น**น้อยมาก** (ใช้สร้างดาวไปหมดแล้วตั้งแต่อดีต และไม่มีแขนกังหันคอยสะสมวัตถุดิบใหม่) เมื่อขาดวัตถุดิบ ดาวใหม่จึงแทบไม่เกิด เหลือแต่ดาวรุ่นเก่าที่อายุมากขึ้นเรื่อย ๆ

10. ตอบ ข้อ 2

> ก้นหอย — แขนกังหันคือบริเวณที่ก๊าซและฝุ่นหนาแน่น เป็น “เรือนเพาะชำดาวฤกษ์” (ข้อ 1/3 ผิด: ความหนาแน่นดาวหรืออายุมากไม่ได้สร้างดาวใหม่ ถ้าไม่มีก๊าซ)

11. ตอบ ข้อ 2

> กระจุกดาวทรงกลม = ดาวอายุมากนับแสนดวงอัดแน่นเป็นทรงกลม โคจรอยู่ใน**ฮาโล**รอบกาแล็กซี — ไม่ใช่ดาวเกิดใหม่ในแขน (ข้อ 1) และไม่ใช่กาแล็กซี (ข้อ 3)

12. (ก) 100,000 ปี (ข) 9.46×10^{20} m

> (ก) นิยามของปีแสง: แสงเดินทาง 1 ปีแสงใช้เวลา 1 ปี → ระยะ 100,000 ปีแสง ใช้เวลา **100,000 ปี**
> (ข) $100{,}000 \times (9.46 \times 10^{15}\ \text{m}) = 10^5 \times 9.46 \times 10^{15} = \mathbf{9.46 \times 10^{20}\ m}$

13. (ก) 26,000 ปีก่อน (ข) สมเหตุสมผล

> (ก) ระยะ 26,000 ปีแสง → แสงใช้เวลา 26,000 ปี → ภาพที่บันทึกได้คืนนี้คือเหตุการณ์เมื่อ **26,000 ปีก่อน**
> (ข) **สมเหตุสมผล** — 26,000 ปีก่อนคือช่วงยุคน้ำแข็งครั้งล่าสุด (Last Glacial Maximum) มนุษย์ยุคหินยังล่าสัตว์และวาดภาพผนังถ้ำ แสงที่กล้องรับคืนนี้ออกเดินทางตั้งแต่ยุคนั้นจริง ๆ — การมองอวกาศคือการมองย้อนอดีต (แนวคิดนี้จะใช้เต็มที่ใน EP03)

14. (ก) 2.5 ล้านปีก่อน (ข) ยังไม่มี

> (ก) ระยะ 2.5 ล้านปีแสง → ภาพเมื่อ **2.5 ล้านปีก่อน**
> (ข) **ยังไม่มี** — *Homo sapiens* เพิ่งถือกำเนิดราว 3 แสนปีก่อน แสงที่เห็นคืนนี้ออกเดินทางก่อนหน้านั้นกว่า 2 ล้านปี (ยุคของมนุษย์วงศ์เก่าอย่าง *Homo habilis*) — ตาเปล่าของเรามองย้อนอดีตได้ลึกกว่าอายุสปีชีส์ตัวเอง

15. ตอบ ข้อ 2 MC3

> กาแล็กซีเคลื่อนที่ตลอดเวลา: ทางช้างเผือกหมุนรอบตัวเอง และแอนดรอเมดาเคลื่อนเข้าหาเรา ~110 km/s · ข้อ 1 คือ MC3 ตรง ๆ · ข้อ 4 ผิด — กาแล็กซีไกลส่วนใหญ่ถอยห่าง (เอกภพขยายตัว) แต่แอนดรอเมดาอยู่ใกล้จนแรงโน้มถ่วงของกลุ่มท้องถิ่นชนะ จึงเคลื่อนเข้าหาเรา

Spot the Error MC3

> ผิดที่สรุปว่า “มองไม่เห็นการเปลี่ยนแปลง = อยู่นิ่ง” — จริง ๆ กาแล็กซีหมุนรอบตัวเอง (ดวงอาทิตย์โคจร ~230 ล้านปี/รอบ) และเคลื่อนที่ในกลุ่มท้องถิ่น (แอนดรอเมดาเข้าหาเรา ~110 km/s)
> เหตุที่ตาเปล่าไม่เห็น: ระยะทางไกลมหาศาลทำให้การขยับเชิงมุมต่อปีเล็กจิ๋วมาก และช่วงชีวิตมนุษย์ (~80 ปี) สั้นเกินไปเทียบกับมาตราเวลาของกาแล็กซี (ล้านถึงร้อยล้านปี) — ต้องใช้เครื่องมือวัดความละเอียดสูงจึงจับการเคลื่อนที่ได้

16.

> กาแล็กซีใหญ่ 3 ดวงหลัก: **ทางช้างเผือก (Milky Way) · แอนดรอเมดา (M31) · สามเหลี่ยม (M33)** (ที่เหลือคือกาแล็กซีแคระบริวารกว่า 50 ดวง เช่น LMC, SMC)
> แรงที่ยึดทั้งกลุ่ม: **แรงโน้มถ่วง**

17.

> แสดงว่ามวลจริงของกาแล็กซี**มากกว่ามวลส่วนที่มองเห็นมาก** และมวลส่วนเกินนั้นต้องกระจายออกไปถึงขอบนอก (ห่อหุ้มเป็นฮาโลรอบกาแล็กซี) จึงทำให้ดาวขอบนอกยังถูกดึงด้วยแรงโน้มถ่วงมากพอที่จะโคจรเร็วเท่าเดิม
> มวลส่วนเกินนี้ไม่ปล่อยและไม่สะท้อนแสง จึงเรียกว่า**สสารมืด (dark matter)** — รู้ว่ามีจากแรงโน้มถ่วงที่มันส่งออกมาเท่านั้น

18. ตอบ ข้อ 2

> หลักฐานหลักคือ**เส้นโค้งการหมุนแบนราบ** — ดาวขอบนอกโคจรเร็วกว่าที่มวลมองเห็นอธิบายได้ · ข้อ 1/3 ผิด: สสารมืดถ่ายภาพโดยตรงไม่ได้ และใจกลางกาแล็กซีสว่างมาก (ดาวหนาแน่น) · ข้อ 4 ผิดทิศ: ปัญหาคือโคจรเร็วเกินคาด ไม่ใช่ช้าเกินคาด

19. ≈ 20 รอบ MC3

> จำนวนรอบ = อายุระบบสุริยะ ÷ คาบโคจร = $(4.6 \times 10^9)/(2.3 \times 10^8)$ = **20 รอบ**
> นับแต่กำเนิด ดวงอาทิตย์พาโลกวนรอบกาแล็กซีมาแล้ว ~20 “ปีจักรวาล” — หลักฐานเชิงตัวเลขว่ากาแล็กซีหมุนอยู่ตลอด ไม่ได้อยู่นิ่ง

20. 8×10^{36} kg

> $M = 4 \times 10^6 \times M_\odot = 4 \times 10^6 \times 2 \times 10^{30} =$ **8×10^{36} kg**

21.

> นักดาราศาสตร์ติดตาม**วงโคจรของดาว S2** ต่อเนื่องหลายสิบปี พบว่ามันโคจรรอบ "จุดที่ไม่มีแสง" ด้วยคาบเพียง ~16 ปี และอัตราเร็วสูงหลายพัน km/s
> เมื่อใช้กฎแรงโน้มถ่วง (แบบเดียวกับที่ใช้หามวลดวงอาทิตย์จากวงโคจรดาวเคราะห์) คำนวณย้อนกลับจากขนาดวงโคจรและคาบ จะได้มวลศูนย์กลาง ~4 ล้าน $M_\odot$ อัดอยู่ในบริเวณเล็กกว่าระบบสุริยะ — วัตถุเดียวที่มีมวลมากขนาดนั้นในที่แคบขนาดนั้นได้คือ **หลุมดำมวลยิ่งยวด** (งานนี้ได้รางวัลโนเบลฟิสิกส์ พ.ศ. 2563)

22. (ก) ≈ 2.37×10^{19} km (ข) ≈ 6.8 พันล้านปี MC3

> (ก) $d = 2.5 \times 10^6$ ly $\times 9.46 \times 10^{12}$ km/ly $= 23.65 \times 10^{18} \approx$ **2.37×10^{19} km**
> (ข) $t = d/v = (2.37 \times 10^{19})/110 \approx 2.15 \times 10^{17}$ s
> แปลงเป็นปี: $(2.15 \times 10^{17})/(3.15 \times 10^7) \approx 6.8 \times 10^9$ ปี = **~6.8 พันล้านปี**

23. (ก) แรงโน้มถ่วงเร่งให้เร็วขึ้น (ข) ดาวยักษ์แดง

> (ก) เมื่อกาแล็กซีทั้งสองเข้าใกล้กัน **แรงโน้มถ่วงระหว่างกันยิ่งแรงขึ้น** อัตราเร็วเข้าหากันจึงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ไม่ได้คงที่ 110 km/s อย่างที่สมมุติ เวลาเดินทางจริงจึงสั้นกว่าค่าคำนวณ — นักดาราศาสตร์ (รวมแบบจำลองของ NASA) พยากรณ์ไว้ราว **4.5 พันล้านปี** แล้วทั้งสองจะรวมเป็นกาแล็กซีเดียว ("Milkomeda")
> (ข) ถึงตอนนั้นดวงอาทิตย์อายุ ~9 พันล้านปี กำลังพองตัวเป็น**ดาวยักษ์แดง (red giant)** — เรื่องราวของ EP04 "วันสุดท้ายของยักษ์แดง"

24. ตอบ ข้อ 3 MC3

> แสงจากใจกลางต้องเดินทางข้ามระยะ 26,000 ปีแสง → เห็นในอีก **~26,000 ปี** · ข้อ 1 ผิด — อยู่กาแล็กซีเดียวกันก็ไม่ทำให้แสงถึงทันที · ข้อ 4 ผิด — หลุมดำดูดเฉพาะสิ่งที่ข้ามขอบฟ้าเหตุการณ์ การลุกจ้าเกิดรอบนอกหลุมดำ (จานสะสมมวล) จึงสว่างและส่งแสงออกมาได้

เฉลยแผนที่หลักการ (หน้า 12) — ① **สสารมืด** · แรง**โน้มถ่วง** · ② แบบ**ก้นหอย** · **100,000** ปีแสง · แขน**โอไรออน-ซิกนัส** · **26,000** ปีแสง · มองจาก**ด้านใน** · ③ **ก้นหอย (S)** · **รี (E)** · **ไร้รูปแบบ (Irr)** · ดาวเกิดใหม่มากในแบบ**ก้นหอย** · ④ กลุ่ม**ท้องถิ่น (Local Group)** · เคลื่อน**เข้าหา**เรา · หลักฐานของ**สสารมืด**