เฉลยแบบฝึกหัดที่ 8 เทคโนโลยีอวกาศและบูรณาการ

เอกสารครู — ปล่อยให้นักเรียนหลังเก็บแบบฝึกหัดแล้ว · ว30105 วิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ · ม.5 · COSMOS LOG EP08 (Season Finale) · ใช้คู่กับแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 8

จุดวัดมโนทัศน์ของชุดนี้ — ข้อที่ติดป้าย MC1 MC2 MC3 คือข้อที่ออกแบบมาชนความเข้าใจคลาดเคลื่อนเป้าหมายของแผน 8 โดยตรง ควรดูสถิติทั้งห้องเป็นพิเศษ

MC1 "เทคโนโลยีอวกาศเปลืองงบ ไม่คุ้ม" → ข้อ 0, 8, 9, 13 · **MC2** "ชีวิตนอกโลกเป็นแค่นิยาย" → ข้อ 17, 19, 22, 23 · **MC3** "การเดินทางสู่ดาวอื่นเป็นไปไม่ได้" → ข้อ 21, 24, 25, 27

0. ตอบ ข้อ 3 MC1

> เทคโนโลยีที่พัฒนาเพื่ออวกาศย้อนกลับมาเป็นของใช้ประจำวัน (spinoff) — GPS, MRI, เซลล์แสงอาทิตย์, เมมโมรีโฟม, กล้องมือถือ — และการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ชี้ว่าเงินลงทุน 1 ส่วนให้ผลตอบแทนราว 7–14 เท่า การ "ตัดทั้งหมด" จึงเท่ากับตัดเครื่องผลิตเทคโนโลยีของอนาคตทิ้ง (ข้อ 4 ก็ผิด — การสำรวจต้องสมดุลกับปัญหาเร่งด่วนบนโลก)

1. 14,000 km/s

> $v = H_0 d = 70 \times 200 =$ **14,000 km/s** (เกือบ 5% ของอัตราเร็วแสง)
>
> สนับสนุนข้อสรุปว่า**เอกภพกำลังขยายตัว** — กาแล็กซียิ่งไกล ยิ่งถอยห่างเร็ว ย้อนกลับไปคือทุกอย่างเคยอยู่รวมกัน (บิกแบง)

2. ตอบ ข้อ 2

> เราอยู่บนแขนกังหัน (แขนนายพราน) ห่างใจกลางทางช้างเผือกราว **26,000 ปีแสง** — ไม่ได้อยู่ใจกลาง และไม่ได้พิเศษอะไร

3. 10 pc = 32.6 ปีแสง

> $d = 1/p = 1/0.1 =$ **10 pc** → $10 \times 3.26 =$ **32.6 ปีแสง**

4. ตอบ ข้อ 3 (หลุมดำ)

> ดาวมวลมาก (20 $M_\odot$) จบด้วยซูเปอร์โนวา แกนกลางที่เหลือมีมวลมากกว่า ~3 $M_\odot$ แรงโน้มถ่วงชนะทุกแรงต้าน ยุบตัวเป็น**หลุมดำ** (ถ้าแกนเหลือ 1.4–3 $M_\odot$ จะเป็นดาวนิวตรอน)

5. ตอบ ข้อ 2

> ฟิวชันหลอมไฮโดรเจนเป็นฮีเลียมที่แกนกลาง — มวลส่วนที่หายไปกลายเป็นพลังงานตาม $E = mc^2$

6. ตอบ ข้อ 2

> แกนโลกเอียง 23.5° ทำให้แต่ละซีกโลกรับแสงตรง-เฉียงสลับกันระหว่างปี — ไม่ใช่ระยะใกล้-ไกล (โลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์สุดในเดือนมกราคม ซึ่งเป็นหน้าหนาวของซีกโลกเหนือ)

7.

> JWST → **ข. อินฟราเรด** · ฮับเบิล → **ค. แสงที่ตามองเห็น** · จันทรา → **ง. รังสีเอกซ์** · FAST → **ก. คลื่นวิทยุ**
> จุดเน้น: วัตถุต่างชนิดเปล่งคลื่นต่างช่วง — ต้องใช้ "ตา" หลายแบบจึงเห็นเอกภพครบ (แก่นของ EP07)

8. MC1

> เรียงจากบนลงล่าง: **ก** (เซนเซอร์ CMOS → กล้องมือถือ) · **ข** (โฟมที่นั่ง → เมมโมรีโฟม) · **ค** (ดาวเทียมระบุตำแหน่ง → GPS) · **ง** (ประมวลภาพ → MRI) · **จ** (เซลล์แสงอาทิตย์ดาวเทียม → โซลาร์เซลล์)
> ชวนคุยต่อ: ช่อง "เคยใช้ไหม" ส่วนใหญ่จะติด ✓ เกือบทุกแถว — spinoff อยู่ในมือนักเรียนอยู่แล้ว

9. MC1

> แนวคำตอบ (เอา 2 จาก): (1) เทคโนโลยี spinoff กลายเป็นสินค้า/อุตสาหกรรมใหม่ เช่น GPS กล้องมือถือ MRI โซลาร์เซลล์ (2) การจ้างงานทักษะสูงและบริษัทอวกาศเอกชนที่เกิดตามมา (3) ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา-สื่อสาร-สำรวจทรัพยากร ช่วยพยากรณ์ภัยพิบัติ ลดความเสียหายมหาศาลต่อปี (4) แรงบันดาลใจ-กำลังคนด้านวิทยาศาสตร์ที่ป้อนทุกอุตสาหกรรม

10. (ก) ≈ 4.3 นาที (ข) ≈ 21 นาที

> (ก) $s = 0.52 \times 1.496 \times 10^{11} = 7.78 \times 10^{10}$ m → $t = s/c = 7.78 \times 10^{10}/(3 \times 10^{8}) \approx 259$ s ≈ **4.3 นาที**
> (ข) $s = 2.5 \times 1.496 \times 10^{11} = 3.74 \times 10^{11}$ m → $t \approx 1{,}247$ s ≈ **20.8 นาที**
> คำสั่งเดินทางอย่างน้อย 4–21 นาที (ไป-กลับคูณสอง) — บังคับเรียลไทม์ไม่ได้ ยานและหุ่นยนต์ต้องตัดสินใจเองได้ระดับหนึ่ง

11.

> แนวคำตอบ (เอา 2 จาก): (1) **ระยะทาง** — ดวงจันทร์ 384,400 km เดินทาง ~3 วัน แต่ดาวอังคารไกลกว่าเป็นร้อยเท่า (ใกล้สุด ~78 ล้าน km) ใช้เวลา ~7–9 เดือน (2) **การสื่อสารดีเลย์** 4–21 นาที ขอความช่วยเหลือทันทีไม่ได้ (3) ต้องขน**เสบียง อากาศ น้ำ เชื้อเพลิง**สำหรับภารกิจปีกว่า — ระบบพยุงชีพต้องหมุนเวียนแบบปิด (4) ขากลับต้องรอ launch window บนดาวอังคารอีกราว 26 เดือน

12. ตอบ ข้อ 2

> โลก (คาบ 1 ปี) และดาวอังคาร (คาบ 1.88 ปี) โคจรไม่พร้อมกัน ตำแหน่งที่เส้นทางถ่ายโอนประหยัดเชื้อเพลิงที่สุดจึงเวียนมาเป็นรอบราว **26 เดือน**

13. ตอบ ข้อ 4 MC1

> เตาถ่านมีมาก่อนยุคอวกาศนานมาก — อีกสามข้อคือ spinoff ตัวจริง (GPS · MRI · เมมโมรีโฟม)

Spot the Error

> ผิดตรงคิดว่าดาวอังคาร "อยู่ที่เดิม" — ความจริงทั้งโลกและดาวอังคารต่างโคจรรอบดวงอาทิตย์ด้วยคาบต่างกัน (1 ปี กับ 1.88 ปี) ระยะห่างระหว่างกันจึงแกว่งตั้งแต่ **0.52 AU ถึง 2.5 AU** (ต่างกันเกือบ 5 เท่า) ต้องปล่อยยานในจังหวะตำแหน่งเหมาะสมซึ่งเวียนมาราวทุก 26 เดือน — ออกเดินทาง "วันไหนก็ได้" ไม่ได้

14.

> (ก) หรี่ลึก = ดาวเคราะห์**บังพื้นที่จานดาวฤกษ์มาก** → ดาวเคราะห์**มีขนาดใหญ่**
>
> (ข) หรี่ซ้ำทุก 10 วัน = ดาวเคราะห์กลับมาผ่านหน้าดาวฤกษ์ทุก 10 วัน → **คาบวงโคจร = 10 วัน**

15. 1%

> สัดส่วนแสงที่หายไป = $(0.1)^2$ = 0.01 = **1%** — การหรี่เพียง 1% นี่แหละที่ Kepler ตรวจจับได้ จึงต้องวัดจากอวกาศที่ไร้การกวนของบรรยากาศ

16. 0.2 เท่า

> $(R_p/R_\star)^2 = 0.04 \rightarrow R_p/R_\star = \sqrt{0.04}$ = **0.2 เท่า** — หรี่ลึกขนาดนี้คือดาวเคราะห์ยักษ์ระดับดาวพฤหัสบดีรอบดาวฤกษ์เล็ก

17. ตอบ ข้อ 2 MC2

> เขตเอื้ออาศัย = ช่วงระยะที่**น้ำคงสภาพของเหลว**บนผิวดาวเคราะห์ได้ — ไม่ได้แปลว่า “มีชีวิตแน่” หรือ “หายใจได้” (ข้อ 1, 3) เป็นเพียง**เงื่อนไขจำเป็นเบื้องต้น**ที่ใช้คัดเป้าหมายค้นหา

18. 1.30 pc · p ≈ 0.77″

> d = 4.24/3.26 ≈ **1.30 pc** → $p = 1/d$ = 1/1.30 ≈ **0.77″**
>
> คือ Proxima Centauri ดาวฤกษ์ที่มุมพาแรลแลกซ์ใหญ่ที่สุดบนฟ้า (เพราะใกล้ที่สุด) — โยงกลับ EP03 ครบวง

19. ใกล้กว่า MC2

> ดาวแคระแดงปลดปล่อยพลังงานน้อยกว่าดวงอาทิตย์มาก ดาวเคราะห์ต้องโคจร**ใกล้ดาวฤกษ์มากกว่า** จึงได้รับความอบอุ่นพอให้น้ำเป็นของเหลว — เขตเอื้ออาศัยของ Trappist-1 อยู่ใกล้กว่าวงโคจรดาวพุธเสียอีก แต่ก็ยังมีดาวเคราะห์หินถึง ~3 ดวงอยู่ในเขตนั้นจริง

20.

> **วัดได้ค่อนข้างแม่น:** $R_\star$ (อัตราเกิดดาวฤกษ์) และ f_p — ข้อมูล Kepler/TESS ชี้ว่าดาวฤกษ์เกือบทุกดวงมีดาวเคราะห์ ($f_p \approx 1$) รวมถึง n_e เริ่มประเมินได้จากสถิติดาวเคราะห์ในเขตเอื้ออาศัย
>
> **คาดเดาล้วน ๆ:** f_l, f_i, f_c, L — เรามีตัวอย่างชีวิต/อารยธรรมเพียง 1 กรณี (โลก) จึงประมาณความน่าจะเป็นไม่ได้

21. MC3

> แนวคำตอบ (เอา 2 จาก): (1) **ระยะทาง** — ดาวฤกษ์ห่างกันหลายปีแสง สัญญาณ/ยานใช้เวลามหาศาล อารยธรรมอาจมีจริงแต่ “ไกลเกินพบ” (2) **เวลาไม่ซ้อนทับ** — อารยธรรมอาจรุ่งเรืองแล้วดับไปก่อนเราเกิด (L สั้น) (3) เราเพิ่ง “เริ่มฟัง” ได้ราวร้อยปี และฟังเพียงเสี้ยวเล็ก ๆ ของฟ้า (4) อารยธรรมอื่นอาจสื่อสารด้วยวิธีที่เราไม่รู้จัก — ทุกแนวทางเป็นสมมติฐานที่ถกเถียงได้ ไม่มีคำตอบสุดท้าย

22. ตอบ ข้อ 3 MC2

> สถานะที่ถูกต้อง: **ยังไม่พบหลักฐาน แต่การค้นหาเป็นวิทยาศาสตร์เต็มรูปแบบ** — ดาวเคราะห์ในเขตเอื้ออาศัย (Trappist-1, Proxima b) เป็นข้อมูลจริงที่วัดได้ และสมการเดรกให้กรอบคำนวณเชิงปริมาณ ข้อ 1 ชน MC2 ตรง ๆ · ข้อ 2 เกินจริง · ข้อ 4 ผิด เพราะคำถามนี้ทดสอบได้ด้วยการสังเกต (เช่น biosignature)

23. (ก) อินฟราเรด MC2

> (ก) JWST ทำงานช่วง**อินฟราเรด** — โมเลกุลแก๊สในบรรยากาศดูดกลืนแสงอินฟราเรดเป็นลายเฉพาะตัว (โยง EP07)
> (ข) ไอน้ำ + ออกซิเจน + มีเทน อยู่ร่วมกันได้ยากตามสมดุลเคมี — ออกซิเจนกับมีเทนทำปฏิกิริยากันจนหมดในเวลาไม่นาน การที่ยังมีครบทั้งชุด แปลว่า**ต้องมีกระบวนการบางอย่างเติมต่อเนื่อง** ซึ่งบนโลกคือสิ่งมีชีวิต — จึงเป็นว่าที่ **biosignature** (แต่ยังต้องตัดคำอธิบายอื่นที่ไม่ใช่ชีวิตออกก่อนสรุป)

24. (ก) 4.01×10^{13} km (ข) 2.36×10^{12} s ≈ 75,000 ปี MC3

> (ก) $d = 4.24 \times 9.46 \times 10^{12} =$ **4.01×10^{13} km**
> (ข) $t = d/v = 4.01 \times 10^{13}/17 =$ **2.36×10^{12} s** → $2.36 \times 10^{12}/(3.15 \times 10^{7}) \approx$ **75,000 ปี**
> (ค) 75,000 ปี ≈ หลายพันชั่วอายุคน — ไม่มีลูกเรือคนใดมีชีวิตถึงปลายทาง จึงเกิดแนวคิด **Generation Ship**: ยานขนาดเมืองที่ปิดวงจรชีวิตสมบูรณ์ ให้ลูกหลานบนยานเดินทางต่อจนถึง (หรือ cryo-sleep — ทั้งคู่เป็นแนวทางที่ศึกษาจริงในเชิงวิศวกรรม)

25. 42.4 ปี MC3

> คิดลัด: t = 4.24 ปีแสง / 0.1c = **42.4 ปี** (หรือคิดเต็ม: $v = 3 \times 10^4$ km/s → $t = 4.01 \times 10^{13}/(3 \times 10^4) = 1.34 \times 10^9$ s ≈ 42.4 ปี)
> เปลี่ยนข้อสรุป: จาก "หลายพันชั่วอายุคน" เหลือ**ภายในชีวิตการทำงานของคนหนึ่งคน** — การเดินทางระหว่างดาวจึงไม่ใช่ "เป็นไปไม่ได้" แต่เป็นโจทย์ทางวิศวกรรม (จะเร่งยานถึง 0.1c ได้อย่างไร)

26.

> แนวคำตอบ (เอา 2 จาก): (1) ฟ้าที่ "ดูว่างเปล่า" แท้จริง**เต็มไปด้วยกาแล็กซี** — สเกลขึ้นว่าทั้งท้องฟ้ามีกาแล็กซีระดับ**แสนล้านถึงล้านล้านแห่ง** แต่ละแห่งมีดาวนับแสนล้านดวง (2) ภาพนี้คือ**การมองย้อนอดีต** — แสงจากกาแล็กซีไกลใช้เวลาเดินทางหลายพันล้านปี เราเห็นเอกภพวัยเยาว์ (โยง EP01/EP03) (3) โอกาสของดาวเคราะห์และชีวิตมีเวทีมหาศาลเกินจินตนาการ — ตัวเลขนี้คือเหตุผลที่สมการเดรกให้ค่า N ที่ไม่น่าเป็นศูนย์

27. MC3

> (ก) เป็น**สารถึงผู้ที่อาจพบในอนาคตอันไกล** (มีแผนที่ตำแหน่งโลกเทียบพัลซาร์ เสียงและภาพของชีวิตบนโลก) และในเวลาเดียวกันเป็น**สารถึงมนุษย์เอง** — บังคับให้เราตอบว่า "ถ้าแนะนำตัวต่อเอกภพได้ครั้งเดียว จะบอกอะไร" เป็นสัญลักษณ์ว่าการสำรวจอวกาศคือการมองกลับมาเข้าใจตัวเองด้วย
> (ข) คำตอบเปิด — ให้คะแนนที่**เหตุผล**: ของที่เลือกสื่อความเป็นมนุษย์/โลกอย่างไร และคนต่างวัฒนธรรม (หรือต่างดาว) จะตีความได้หรือไม่

เฉลยแผนที่หลักการ (หน้า 10) — ① **บิกแบง** · **13,800** ล้านปีก่อน · **4,600** ล้านปีก่อน · ② **spinoff (เทคโนโลยีตามรอย)** · เช่น GPS / MRI / กล้องมือถือ / เมมโมรีโฟม / โซลาร์เซลล์ · **7–14** เท่า · ③ **ทรานซิต** · **หรี่ลง** · **เขตเอื้ออาศัย (Habitable Zone)** · ④ ~**75,000** ปี · ยาน**หลายชั่วอายุคน (Generation Ship)**