แบบฝึกหัดที่ 8 เทคโนโลยีอวกาศและบูรณาการ

รายวิชา ว30105 วิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ · ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 · COSMOS LOG · EP08 “Genesis Again · Season Finale” สอดคล้องผลการเรียนรู้ ว 7.2 ม.4-6/3 — อธิบายเทคโนโลยีอวกาศและการสำรวจอวกาศในอนาคต พร้อมประยุกต์ความรู้ดาราศาสตร์ · ใช้คู่กับแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 8 (คาบ 15–16)

ชื่อ-สกุล ..... ชั้น ..... เลขที่ .....

จุดประสงค์การเรียนรู้ — เมื่อทำแบบฝึกหัดชุดนี้จบ นักเรียนสามารถ

1) เชื่อมโยงความรู้จาก EP01–EP07 (บิกแบง · กาแล็กซี · ระยะดาว · วิวัฒนาการดาวฤกษ์ · ดวงอาทิตย์ · ระบบสุริยะ · คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) มาอธิบายภาพรวมของเอกภพได้

2) อธิบายเทคโนโลยีอวกาศปัจจุบันและอนาคต — ภารกิจสำรวจดาวอังคาร และการค้นหาดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ ได้

3) อธิบายความสำคัญและความคุ้มค่าของการสำรวจอวกาศได้

ความรู้ก่อนเรียน: เนื้อหา EP01–EP07 ทั้งหมด · อัตราเร็ว $v = s/t$ · อัตราเร็วแสง $c = 3 \times 10^8$ m/s · สัญกรณ์วิทยาศาสตร์

คำถามสำคัญ (ข้อ 0) — บันทึกคำตอบก่อนเรียน แล้วกลับมาตรวจอีกครั้งท้ายแบบฝึกหัด

องค์การอวกาศทั่วโลกใช้งบประมาณรวมกันปีละหลายหมื่นล้านดอลลาร์ ขณะที่โลกยังมีปัญหาความยากจน โรคระบาด และสิ่งแวดล้อม — ถ้านักเรียนเป็นรัฐบาล จะตัดงบสำรวจอวกาศไปทำอย่างอื่นหรือไม่ เพราะอะไร

1. ตัดทั้งหมด — อวกาศเป็นเรื่องไกลตัว ไม่เกี่ยวกับชีวิตประจำวันของคนบนโลก
2. ตัดเกือบหมด — เก็บไว้เฉพาะดาวเทียมสื่อสาร เพราะส่วนอื่นไม่มีอะไรย้อนกลับมาถึงเรา
3. คงไว้ — เทคโนโลยีที่พัฒนาเพื่ออวกาศย้อนกลับมาอยู่ในชีวิตประจำวันมากมาย และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงกว่าเงินที่ลงไป
4. เพิ่มขึ้นอีกเท่าตัวทันที — เพราะต้องรีบอพยพมนุษย์ทุกคนไปดาวอังคารก่อนโลกถูกทำลาย

คำตอบของฉัน (ก่อนเรียน) ข้อ .....

เหตุผล

.....

.....

หลังเรียนจบ คำตอบที่ถูกคือข้อ .....

เหตุผลที่ถูกต้อง

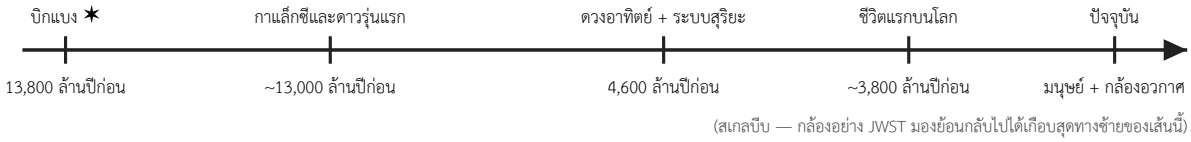
.....

.....

วิธีใช้แบบฝึกหัดชุดนี้ — หัวข้อ 1–3 ทำในคาบและเป็นการบ้าน · หัวข้อ 4 (⭐) เป็นระดับสอบแข่งขัน ท้าทายตัวเองเมื่อทำชุดหลักครบ · ทุกข้อคำนวณให้<u>เขียนวิธีทำ</u>ในที่ว่างใต้โจทย์ — แสดงสูตร แทนค่า และตอบพร้อมหน่วย

1. ปะติดปะต่อภาพใหญ่ — เจ็ดตอนที่ผ่านมาเล่าเรื่องเดียวกัน

ตลอด 7 ตอน เราเดินทางจากจุดเริ่มต้นของเอกภพมาจนถึงเครื่องมือที่ใช้มองมัน: บิกแบงให้กำเนิดอวกาศและเวลา (EP01) · ดาวฤกษ์รวมตัวเป็นกาแล็กซีนับแสนล้านแห่งรวมทั้งทางช้างเผือกบ้านเรา (EP02) · เราวัดระยะดาวด้วยพาแรลแลกซ์ (EP03) · ดาวฤกษ์เกิด แก่ และตายต่างกันตามมวล (EP04) · ดวงอาทิตย์คือเตาฟิวชันที่หล่อเลี้ยงเรา (EP05) · โลกโคจรอยู่ในระบบสุริยะที่มีระเบียบ (EP06) · และข้อมูลทั้งหมดเดินทางมาหาเราบนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EP07) — ก่อนออกเดินทางตอนสุดท้าย ลองเรียงเรื่องราวทั้งหมดบนเส้นเวลาเดียว แล้วทบทวนว่าแต่ละด่านเรายังแม่นอยู่หรือไม่



รูปที่ 1 เส้นเวลาของเอกภพจากบิกแบงถึงปัจจุบัน — เรื่องราวทั้ง 7 ตอนเรียงอยู่บนเส้นเดียวกัน

ค่าที่ใช้ทั้งชุด — $c = 3 \times 10^8$ m/s · 1 AU = 1.496×10^{11} m · 1 ปีแสง = 9.46×10^{12} km · 1 pc = 3.26 ปีแสง · H_0 = 70 km/s/Mpc · 1 ปี ≈ 3.15×10^7 s

แบบฝึกหัดชุดที่ 1 — ทบทวน 7 ด่านก่อนภารกิจสุดท้าย

1. **(EP01)** กฎฮับเบิล $v = H_0 d$ — กาแล็กซีแห่งหนึ่งอยู่ห่างจากเรา 200 Mpc จงหาอัตราเร็วที่มันถอยห่างจากเรา และค่านี้สนับสนุนข้อสรุปสำคัญข้อใดของ EP01

2. **(EP02)** ระบบสุริยะของเราอยู่ตรงไหนของกาแล็กซีทางช้างเผือก

   1. ที่ใจกลางกาแล็กซีพอดี
   2. บนแขนกังหัน ห่างใจกลาง ~26,000 ปีแสง
   3. ขอบนอกสุดของกาแล็กซี
   4. อยู่นอกกาแล็กซี มองเข้ามา

   ตอบ ข้อ .....

3. (EP03) ดาวฤกษ์ดวงหนึ่งมีมุมพาแรลแลกซ์ p = 0.1″ จงหาระยะของดาวเป็นพาร์เซก แล้วแปลงเป็นปีแสง

4. (EP04) ดาวฤกษ์มวลตั้งต้น 20 เท่าของดวงอาทิตย์ (20 $M_\odot$) จะจบชีวิตเป็นอะไร

1. ดาวแคระขาว
2. ดาวนิวตรอน
3. หลุมดำ
4. กลับไปเป็นดาวแคระแดง

ตอบ ข้อ ..... เพราะ.....

5. (EP05) ดวงอาทิตย์ผลิตพลังงานมหาศาลต่อเนื่องมา 4,600 ล้านปี ด้วยกระบวนการใด

1. การเผาไหม้เชื้อเพลิงเหมือนถ่านหิน
2. ฟิวชันหลอมไฮโดรเจนเป็นฮีเลียมที่แกนกลาง
3. ฟิชชันแตกตัวของยูเรเนียม
4. แรงโน้มถ่วงบีบอัดเพียงอย่างเดียว

ตอบ ข้อ .....

6. (EP06) ฤดูกาลบนโลกเกิดจากสาเหตุใด

1. โลกอยู่ใกล้-ไกลดวงอาทิตย์เป็นรอบ
2. แกนโลกเอียง 23.5° ขณะโคจรรอบดวงอาทิตย์
3. ดวงอาทิตย์ร้อนขึ้น-เย็นลงเป็นจังหวะ
4. เงาของดวงจันทร์บังโลกเป็นช่วง ๆ

ตอบ ข้อ ..... เพราะ.....

7. (EP07) กล้องโทรทรรศน์แต่ละตัวถูกออกแบบมารับคลื่นต่างช่วงกัน จงจับคู่กล้องกับช่วงคลื่นหลักที่ใช้ โดยเขียนตัวอักษร ก–ง ลงในช่องว่าง

ก. คลื่นวิทยุ ข. อินฟราเรด ค. แสงที่ตามองเห็น ง. รังสีเอกซ์

กล้องโทรทรรศน์	ช่วงคลื่น	งานเด่นของกล้องนี้
เจมส์ เว็บบ์ (JWST)		มองทะลุฝุ่น เห็นกาแล็กซียุคแรกและบรรยากาศดาวเคราะห์นอกระบบ
ฮับเบิล (Hubble)		ภาพคมชัดของเนบิวลาและกาแล็กซี เช่น Hubble Deep Field
จันทรา (Chandra)		สังเกตแก๊สร้อนจัดรอบหลุมดำและซากซูเปอร์โนวา
FAST (จานรับสัญญาณยักษ์)		ฟังพัลซาร์และสัญญาณจากห้วงอวกาศลึก

2. ภารกิจดาวอังคาร — และของแถมที่ตกถึงมือเรา

ก้าวต่อไปของมนุษยชาติกำลังเกิดขึ้นจริง: โครงการ **Artemis** ของ NASA พามนุษย์กลับดวงจันทร์ เพื่อใช้เป็นฐานทดสอบเทคโนโลยีก่อนเดินทางไกล ส่วน **Starship** ของ SpaceX เป็นยานใช้ซ้ำได้ขนาดยักษ์ ออกแบบมาขนคนและสัมภาระจำนวนมากสู่ดาวอังคาร โจทย์ใหญ่ของการอยู่อาศัยคือ**ระบบพยุงชีพ (Life Support)** — หมุนเวียนอากาศ น้ำ และอาหารในระบบปิด — และแนวคิดระยะไกลอย่าง **Terraforming** (ปรับสภาพดาวทั้งดวงให้อยู่ได้) ซึ่งยังเป็นแนวคิดเชิงทฤษฎีที่ต้องใช้เวลาอีกหลายศตวรรษ

แล้วคำถามคาใจจากข้อ 0 ล่ะ — “เอาเงินไปทำอย่างอื่นดีกว่าไหม” ข้อมูลจริงคือ เทคโนโลยีที่ถูกบีบให้เกิดขึ้นเพราะข้อจำกัดสุดขั้วของอวกาศ ได้ย้อนกลับมาเป็นของใช้ประจำวัน เรียกว่า **เทคโนโลยีตามรอย (spinoff)** เช่น GPS · เครื่อง MRI · เซลล์แสงอาทิตย์ · ที่นอนเมมโมรีโฟม · กล้องมือถือ และการประเมินทางเศรษฐศาสตร์หลายชิ้นชี้ว่า เงินลงทุนด้านอวกาศ 1 ส่วนให้ผลตอบแทนกลับคืนราว **7–14 เท่า** ผ่านอุตสาหกรรมใหม่ การจ้างงาน และเทคโนโลยีที่แตกแขนงออกมา

แบบฝึกหัดชุดที่ 2 — ภารกิจดาวอังคารและความคุ้มค่า

8. จับคู่เทคโนโลยีที่พัฒนาเพื่อภารกิจอวกาศ (ซ้าย) กับของใช้ประจำวัน (ตัวเลือก ก–จ) โดยเขียนตัวอักษรลงในช่องกลาง

ก. กล้องถ่ายรูปบนโทรศัพท์มือถือ ข. ที่นอนเมมโมรีโฟม ค. ระบบนำทาง GPS ง. เครื่องถ่ายภาพ MRI จ. โซลาร์เซลล์บนหลังคาบ้าน

เทคโนโลยีจากโครงการอวกาศ	จับคู่	เคยใช้ไหม (✓)
เซนเซอร์รับภาพ CMOS ขนาดจิ๋ว พัฒนาเพื่อกล้องบนยานสำรวจ		
โฟมซับแรงกระแทกของที่นั่งนักบินอวกาศ		
เครือข่ายดาวเทียมระบุตำแหน่งบนวงโคจร		
เทคนิคประมวลผลภาพถ่ายดวงจันทร์ของ NASA สู่การถ่ายภาพร่างกาย		
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาให้ดาวเทียมมีไฟฟ้าใช้เอง		

9. งบของ NASA คิดเป็นเพียงราว 0.5% ของงบประมาณรัฐบาลสหรัฐฯ และมีการประเมินว่าเงินลงทุน 1 ดอลลาร์ ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจกลับมา 7–14 ดอลลาร์ — จงอธิบายว่าผลตอบแทนนี้กลับมาทางใดบ้าง อย่างน้อย 2 ทาง

.....

.....

.....

10. ระยะโลก–ดาวอังคารเปลี่ยนตลอดเวลา: ใกล้สุดราว 0.52 AU และไกลสุดราว 2.5 AU จงหาเวลาที่สัญญาณวิทยุ (เดินทางด้วยอัตราเร็วแสง) ใช้เดินทางจากโลกถึงดาวอังคาร

(ก) ขณะอยู่ใกล้สุด (ข) ขณะอยู่ไกลสุด — แล้วตอบว่าทำไมศูนย์ควบคุมจึง “บังคับยานแบบเรียลไทม์” ไม่ได้

11. การส่งมนุษย์ไปดวงจันทร์ (ห่าง 384,400 km · เดินทาง ~3 วัน) ทำสำเร็จมาแล้วกว่า 50 ปี แต่การส่งมนุษย์ไปดาวอังคารยังไม่เคยเกิดขึ้น จงอธิบายว่าภารกิจดาวอังคารยากกว่าอย่างน้อย 2 ประเด็น (ใช้ตัวเลขจากข้อ 10 ประกอบได้)

.....

.....

.....

12. เหตุใดยานไปดาวอังคารจึงต้องรอ “หน้าต่างการปล่อยยาน (launch window)” ซึ่งเวียนมาราวทุก 26 เดือน

1. รอให้พายุฝุ่นบนดาวอังคารสงบก่อนทุกครั้ง
2. รอจังหวะที่ตำแหน่งโลกและดาวอังคารบนวงโคจรเหมาะสม ให้เส้นทางใช้เชื้อเพลิงน้อยที่สุด
3. รอฤดูหนาวบนโลก เพราะอากาศเย็นทำให้เครื่องยนต์แรงขึ้น
4. รอดวงจันทร์เต็มดวง เพื่อใช้แรงโน้มถ่วงของดวงจันทร์ผลักยาน

ตอบ ข้อ .....

13. ข้อใด<u>ไม่ใช่</u>ตัวอย่างเทคโนโลยีตามรอย (spinoff) จากโครงการอวกาศ

1. ระบบนำทาง GPS ในมือถือ
2. เครื่องถ่ายภาพ MRI ในโรงพยาบาล
3. ที่นอนเมมโมรีโฟม
4. เตาถ่านหุงต้มแบบดั้งเดิม

ตอบ ข้อ .....

จับผิดให้ได้ (Spot the Error)

เพื่อนคนหนึ่งวางแผนภารกิจว่า “ยานอวกาศจะออกเดินทางไปดาวอังคารวันไหนก็ได้ เพราะดาวอังคารอยู่ที่ตำแหน่งเดิมบนท้องฟ้าตลอดเวลา ระยะทางจึงเท่าเดิมเสมอ”

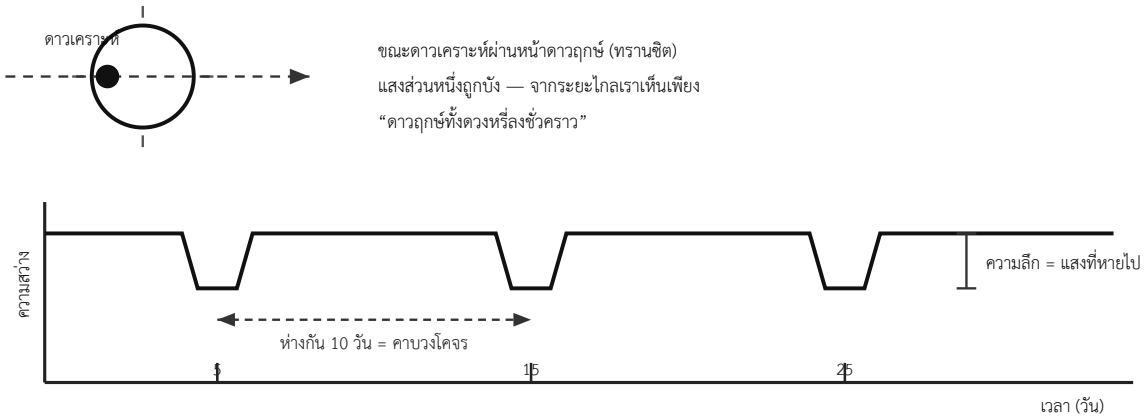
ข้อความนี้ผิดตรงไหน และความจริงเป็นอย่างไร (ใช้คำว่า “วงโคจร” และตัวเลขระยะใกล้สุด-ไกลสุดประกอบ)

.....

.....

3. ดาวเคราะห์นอกระบบ — ตามหาบ้านหลังที่สอง

นอกระบบสุริยะของเรา มีดาวเคราะห์โคจรรอบดาวฤกษ์ดวงอื่นหรือไม่ — คำถามนี้เพิ่งได้คำตอบในช่วงชีวิตของครู: กล้องอวกาศ **Kepler** (พ.ศ. 2552) บุกเบิกการค้นหา ตามด้วย **TESS** ที่สแกนทั้งท้องฟ้า และ **JWST** ที่ตรวจถึงองค์ประกอบบรรยากาศ ปัจจุบันยืนยัน**ดาวเคราะห์นอกระบบ (exoplanet) แล้วกว่า 5,000 ดวง** วิธีค้นหาหลักคือ**วิธีทรานซิต (transit)** — เราไม่เห็นดาวเคราะห์โดยตรงเพราะมืดและเล็กเกินไป แต่ถ้าวงโคจรของมันพาดผ่านหน้าดาวฤกษ์พอดี แสงดาวฤกษ์ที่วัดได้จะหรี่ลงเล็กน้อยเป็นจังหวะสม่ำเสมอ — กราฟแสงเส้นเดียวบอกได้ทั้งขนาดและคาบวงโคจรของดาวเคราะห์



รูปที่ 2 วิธีทรานซิต — กราฟความสว่างของดาวฤกษ์หรี่ลงเป็นจังหวะทุกครั้งที่ดาวเคราะห์ผ่านหน้า

$$\text{สัดส่วนแสงที่หายไป} = (R_{\text{ดาวเคราะห์}} / R_{\text{ดาวฤกษ์}})^2$$

ดาวเคราะห์บังพื้นที่วงกลมของตัวเองบนจานดาวฤกษ์ — พื้นที่แปรตามรัศมียกกำลังสอง

แบบฝึกหัดชุดที่ 3 — อ่านสัญญาณจากบ้านหลังที่สอง

14. จากกราฟในรูปที่ 2 จงตอบ

(ก) ถ้าแสงดาว “หรี่ลงลึกกว่าเดิม” แสดงว่าดาวเคราะห์ดวงนั้นมีสมบัติอย่างไร

(ข) แสงหรี่ซ้ำทุก 10 วัน บอกอะไรเกี่ยวกับวงโคจรของดาวเคราะห์

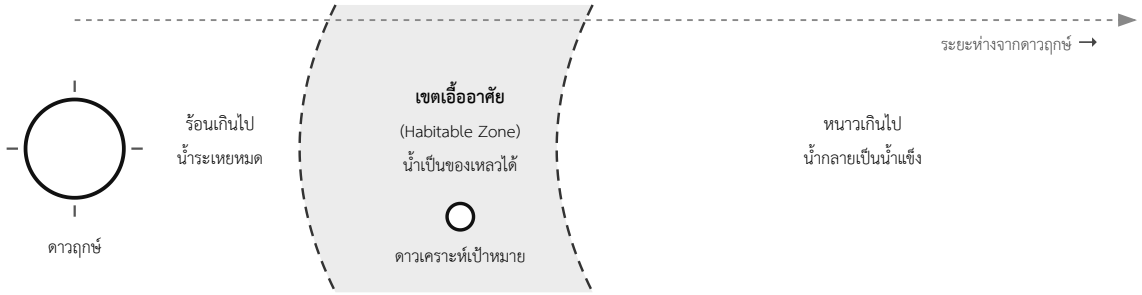
.....

.....

15. ดาวเคราะห์ดวงหนึ่งมีรัศมีเป็น 0.1 เท่าของรัศมีดาวฤกษ์แม่ ขณะทรานซิต แสงดาวฤกษ์จะหรี่ลงกี่เปอร์เซ็นต์

16. กล้อง TESS พบดาวฤกษ์ดวงหนึ่งหรี่ลง 4% เป็นจังหวะสม่ำเสมอ ดาวเคราะห์ที่บังอยู่มีรัศมีเป็นกี่เท่าของรัศมีดาวฤกษ์

การเจอดาวเคราะห์ "สักดวง" ไม่พอ — เราตามหาดวงที่อยู่อาศัยได้ นิยามเขตเป้าหมายว่า **เขตเอื้ออาศัย (Habitable Zone)** หรือเขต "Goldilocks": ช่วงระยะห่างจากดาวฤกษ์ที่อุณหภูมิพอเหมาะ ไม่ร้อนจนน้ำระเหย ไม่หนาวจนน้ำแข็งตัว — **น้ำของเหลว**คือเงื่อนไขสำคัญของชีวิตแบบที่เรารู้จัก ตัวอย่างเป้าหมายจริง: ระบบ **Trappist-1** ดาวแคระแดงที่มีดาวเคราะห์หินถึง 7 ดวง (ราว 3 ดวงอยู่ในเขตเอื้ออาศัย) และ **Proxima Centauri b** ดาวเคราะห์หินรอบดาวฤกษ์เพื่อนบ้านที่ใกล้เราที่สุด



รูปที่ 3 เขตเอื้ออาศัย — วงแหวนระยะ "พอดี" รอบดาวฤกษ์ ที่น้ำคงสภาพของเหลวบนผิวดาวเคราะห์ได้

17. ข้อใดคือความหมายที่ถูกต้องของ "เขตเอื้ออาศัย (Habitable Zone)"

1. เขตที่ไม่มีรังสีอันตรายใด ๆ เลย สิ่งมีชีวิตอยู่ได้ทันที
2. ช่วงระยะห่างจากดาวฤกษ์ที่อุณหภูมิพอเหมาะให้น้ำคงสภาพของเหลวบนผิวดาวเคราะห์ได้
3. เขตที่ยืนยันแล้วว่ามีออกซิเจนให้หายใจได้
4. เขตที่ยานอวกาศของมนุษย์เดินทางไปถึงแล้ว

ตอบ ข้อ .....

18. Proxima Centauri b อยู่ห่างจากเรา 4.24 ปีแสง — ดาวฤกษ์แม่ของมัน คือดาวดวงเดียวกับที่เราเคยวัดพาแรลแลกซ์ได้แม่นที่สุดใน EP03 จงแปลงระยะนี้เป็นพาร์เซก แล้วคำนวณมุมพาแรลแลกซ์ p ของมัน (สูตร $d = 1/p$)

19. Trappist-1 เป็นดาวแคระแดงที่เย็นและหรี่กว่าดวงอาทิตย์มาก เขตเอื้ออาศัยของมันจะอยู่ใกล้หรือไกลดาวฤกษ์กว่าเขตเอื้ออาศัยของดวงอาทิตย์ เพราะเหตุใด

.....

.....

ถ้าดาวเคราะห์มีมากขนาดนี้ “เราอยู่คนเดียวหรือเปล่า” — พ.ศ. 2504 แฟรงก์ เดรก เสนอวิธีคิดที่เปลี่ยนคำถามเชิงปรัชญาให้เป็นวิทยาศาสตร์: แตกคำถามใหญ่เป็นปัจจัยที่ประเมินได้ทีละตัว

$$N = R_{\star} \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$

สมการเดรก — N = จำนวนอารยธรรมที่สื่อสารได้ในกาแล็กซี: อัตราเกิดดาว × มีดาวเคราะห์ × อยู่อาศัยได้ × เกิดชีวิต × มีสติปัญญา × สื่อสารได้ × อายุขัยอารยธรรม

แต่ความเงียบของท้องฟ้าก็ชวนสงสัย — เอนรีโก แฟร์มี ถามสั้น ๆ ว่า **“Where is everybody?”** ถ้าโอกาสมีมากจริง ทำไมเรายังไม่พบหลักฐานใครเลย — ความขัดแย้งนี้เรียกว่า **Fermi Paradox**

20. ปัจจัยในสมการเดรกข้อใดที่ปัจจุบันวัดได้ค่อนข้างแม่นจากข้อมูล Kepler/TESS และปัจจัยใดที่ยังเป็นการคาดเดาล้วน ๆ — ยกอย่างละ 1 ปัจจัย พร้อมเหตุผลสั้น ๆ

.....

.....

21. จงเสนอคำอธิบายที่เป็นไปได้ของ Fermi Paradox มา 2 แนวทาง (เช่น มองจากระยะทาง · เวลา · หรืออายุขัยของอารยธรรม L)

.....

.....

22. ข้อใดสะท้อนสถานะทางวิทยาศาสตร์ของเรื่อง “สิ่งมีชีวิตนอกโลก” ได้ถูกต้องที่สุด

1. เป็นเรื่องแต่งของภาพยนตร์ ไม่มีหลักวิทยาศาสตร์รองรับ
2. นักวิทยาศาสตร์ยืนยันแล้วว่าพบสิ่งมีชีวิตนอกโลก
3. ยังไม่พบหลักฐาน แต่การค้นหาตั้งอยู่บนข้อมูลจริงและหลักคำนวณอย่างสมการเดรก
4. พิสูจน์ไม่ได้ตลอดกาล จึงไม่ถือเป็นคำถามวิทยาศาสตร์

ตอบ ข้อ .....

23. JWST วิเคราะห์แสงดาวฤกษ์ที่ส่องผ่านบรรยากาศดาวเคราะห์นอกระบบขณะทรานซิต — (ก) JWST ใช้คลื่นช่วงใดเป็นหลัก (ทบทวน EP07) (ข) ถ้าพบไอน้ำ ออกซิเจน และมีเทนพร้อมกัน นักดาราศาสตร์จะตื่นเต้นมากเพราะอะไร

.....

.....

⭐ 4. ระดับสอบแข่งขัน — ไกลแค่ไหนคือ “ไกล” และทำไมยังคุ้มที่จะไป

ยาน **Voyager 1** ออกเดินทางตั้งแต่ พ.ศ. 2520 ด้วยอัตราเร็วราว 17 km/s ปัจจุบันเป็นวัตถุฝีมือมนุษย์ที่ไกลที่สุด และออกพ้นขอบเขตลมสุริยะ (heliosphere) ไปแล้วตั้งแต่ พ.ศ. 2555 — การเดินทางระหว่างดาว “เริ่มขึ้นแล้วจริง” แต่สเกลของระยะดาวฤกษ์มหาศาลเกินสามัญสำนึก ลองคำนวณเองแล้วจะเข้าใจว่าทำไมวิศวกรต้องคิดถึง **ยานหลายชั่วอายุคน (Generation Ship)** และวาร์ปไดรฟ์ (ยังเป็นทฤษฎี)

> **ค่าที่ใช้ในชุดนี้** — 1 ปีแสง = 9.46×10^{12} km · 1 ปี ≈ 3.15×10^{7} s · $c = 3 \times 10^{5}$ km/s

แบบฝึกหัดชุดที่ 4 — โจทย์ท้าทาย

24. โจทย์เรือธง — สมมุติให้ Voyager 1 (อัตราเร็ว 17 km/s) มุ่งหน้าตรงไปยัง Proxima b ซึ่งห่าง 4.24 ปีแสง

(ก) ระยะทางคิดเป็นกี่กิโลเมตร (ข) ใช้เวลากี่วินาที และคิดเป็นกี่ปี

(ค) จากคำตอบ (ข) อธิบายว่าทำไมวิศวกรจึงเสนอแนวคิด Generation Ship สำหรับการเดินทางระหว่างดาว

25. ถ้ามนุษย์สร้างยานอนาคตที่เร็ว 0.1*c* (ร้อยละ 10 ของอัตราเร็วแสง) ได้สำเร็จ การเดินทางไป Proxima b จะใช้เวลากี่ปี และผลลัพธ์นี้เปลี่ยนข้อสรุปจากข้อ 24 อย่างไร

26. พ.ศ. 2538 กล้องฮับเบิลจ้องท้องฟ้าบริเวณที่ “ดูว่างเปล่า” ขนาดเล็กเท่าเม็ดทรายที่ถือเหยียดสุดแขน ต่อเนื่องนาน 10 วัน ได้ภาพ **Hubble Deep Field** ซึ่งพบกาแล็กซีราว 3,000 แห่งอัดแน่นอยู่ในกรอบเล็ก ๆ นั้น — ภาพนี้ให้ข้อสรุปสำคัญอะไรได้บ้าง (อย่างน้อย 2 ข้อ)

27. ยานวอยเอเจอร์ทั้งสองลำติด**แผ่นเสียงทองคำ (Golden Record)** บรรจุคำทักทาย 55 ภาษา เสียงธรรมชาติ ดนตรี และภาพชีวิตบนโลก

(ก) ในเมื่อโอกาสที่ “ใครสักคน” จะพบยานแทบเป็นศูนย์ แผ่นเสียงนี้มีไว้เพื่ออะไร

(ข) ถ้านักเรียนเลือกสิ่งหนึ่งแทนมนุษยชาติใส่ลงไปได้ จะเลือกอะไร เพราะอะไร

สรุปท้ายแบบฝึกหัด — ปิดบันทึก COSMOS LOG เล่มที่ 1

กลับไปที่คำถามสำคัญ (ข้อ 0)

ตอนนี้นักเรียนรู้จักทั้ง spinoff ผลตอบแทน 7–14 เท่า ภารกิจดาวอังคาร และการตามหาบ้านหลังที่สองแล้ว — กลับไปหน้า 1 ตรวจคำตอบข้อ 0 แล้วเติมช่อง “หลังเรียนจบ” ให้สมบูรณ์ ถ้าคำตอบเปลี่ยน เขียนสั้น ๆ ว่าความเข้าใจเปลี่ยนไปตรงไหน

.....

แผนที่หลักการ — เติมคำในช่องว่างให้ครบวงจร

① เอกภพเริ่มจาก_____ เมื่อราว _____ ล้านปีก่อน → เกิดกาแล็กซีและดาวฤกษ์ → ดวงอาทิตย์และระบบสุริยะเกิดเมื่อ _____ ล้านปีก่อน

② เทคโนโลยีที่พัฒนาเพื่ออวกาศแล้วย้อนกลับมาในชีวิตประจำวัน เรียกว่า _____ เช่น _____ · เงินลงทุน 1 ส่วนให้ผลตอบแทนราว _____ เท่า

③ ค้นหาดาวเคราะห์นอกระบบด้วยวิธี_____ — สังเกตแสงดาวฤกษ์_____เป็นจังหวะ · เขตระยะพอเหมาะที่น้ำเป็นของเหลวได้เรียกว่า _____

④ ยาน Voyager 1 (17 km/s) ต้องใช้เวลาราว _____ ปีจึงถึงดาวฤกษ์เพื่อนบ้าน → จึงเกิดแนวคิดยาน _____ ที่ให้ลูกหลานบนยานเดินทางต่อจนถึง

ประเมินตนเอง

ฉันทำสิ่งนี้ได้แล้วหรือยัง	ได้	เกือบ	ยัง	ข้อที่จะกลับไปฝึกซ้ำ
เชื่อมโยงความรู้ EP01–EP07 เป็นภาพเดียวบนเส้นเวลาเอกภพได้	☐	☐	☐	
อธิบายความคุ้มค่าของงบอวกาศด้วยตัวอย่าง spinoff ได้	☐	☐	☐	
อ่านกราฟทรานซิต และคำนวณสัดส่วนแสงที่หายไปได้	☐	☐	☐	
อธิบายเขตเอื้ออาศัย และยกตัวอย่างดาวเคราะห์เป้าหมายจริงได้	☐	☐	☐	
คำนวณเวลาเดินทางระหว่างดาว และอธิบายแนวคิด Generation Ship ได้	☐	☐	☐	

ปิดบันทึก — การเดินทางของ T.H.E.O.S.-IX จบลงแล้ว แต่การเดินทางของนักเรียนเพิ่งเริ่มต้น — ฟ้าคืนนี้ยังมีอะไรให้สงสัยอีกมาก · แล้วพบกันใน Season 2: **กาแล็กซีแอนดรอเมดา**