

# Astrobiology

## ศาสตร์แห่งการศึกษาสิ่งมีชีวิตด้านอวกาศ

การศึกษาสิ่งมีชีวิตด้านอวกาศ มีที่ไปก็มาจากการศึกษาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตในศาสตร์ที่มีพื้นฐานทางด้านชีววิทยา (Biology) และนำเอาความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ๆ เข้ามาช่วยในการศึกษา ความหมายโดยกว้าง ๆ ก็คือ ถ้าศึกษาทางด้านชีววิทยาทั่วไปก็จะทำการศึกษากับสิ่งมีชีวิตในโลกเท่านั้น แต่ขอบเขตความสนใจของนักวิทยาศาสตร์นั้นกว้างไปกว่าแค่การศึกษาสิ่งมีชีวิตในโลก ยังคงมีคำถามมากมายที่เกิดขึ้นในหัวของนักคิดนักวิจัยทั่วโลกในขณะที่ทำการศึกษากับสิ่งมีชีวิตบนโลก อาทิเช่น หลังจากการค้นพบปลาตาบอดในถ้ำ ก็จะมีคำถามอันเกิดจากการสังเกต ขึ้นมาว่า ปลาเหล่านั้นหากินได้อย่างไรในสภาพที่มืดมิดในถ้ำ และอาหารของปลาเหล่านั้นคืออะไร แล้วจะมีสิ่งมีชีวิตในรูปแบบอื่น ๆ อีกหรือไม่ ทั้งในถ้ำ ปล่องภูเขาไฟ ใต้ทะเล ภูเขาสูงเสียดฟ้า ยิ่งทำการสำรวจตรวจสอบมาก ๆ ก็ยิ่งทำให้นักวิทยาศาสตร์พบรูปแบบของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในสิ่งแวดล้อมที่แปลกและหลากหลายมากขึ้นไปจากองค์ความรู้เดิม ๆ ที่มีอยู่ ทำให้นิยามของชีวิต และจุดกำเนิดแห่งชีวิตเริ่มเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมที่เคยยึดถือและเข้าใจกันมา

**จาก**กรณีการค้นพบสิ่งมีชีวิตบริเวณปากปล่องภูเขาไฟใต้ทะเล ซึ่งใช้ซัลเฟอไรด์ออกไซด์ในการดำรงชีวิต ทำให้ความรู้เกี่ยวกับแบบจำลองของระบบนิเวศที่เคยมีอยู่ มีขอบเขตกว้างขวางออกไปอีก ไม่ใช่แค่ที่เคยรู้จากในชั้นเรียนเท่านั้น สิ่งมีชีวิตในรูปแบบที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตเป็นหลักเริ่มปรากฏให้เห็นเป็นภาพชัดเจนมากยิ่งขึ้น เช่น ในกรณีของการค้นพบแบคทีเรียที่ป้อน้ำพุร้อนในอุทยานแห่งชาติเยลโลสโตน (Yellowstone National Park) ในประเทศสหรัฐอเมริกา แบคทีเรียดังกล่าวพบอาศัยในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงมาก 43-52 องศาเซลเซียส (110-125 องศาฟาเรนไฮต์) และเป็นแบคทีเรียที่ใช้เพียงไฮโดรเจนซัลไฟด์ แสง และคาร์บอนไดออกไซด์ ในการดำรงชีวิต โดยนำไปใช้ในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ เพื่อสร้างพลังงานให้กับเซลล์ ประโยชน์ที่ได้จากการค้นพบนี้ ก็คือ การค้นหาคำตอบเรื่อง การกำเนิดของสิ่งมีชีวิตในโลกยุคแรกเริ่มที่มีอุณหภูมิสูง มีปริมาณออกซิเจนน้อย มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย มีเทน และไฮโดรเจนซัลไฟด์มาก องค์ความรู้ในเรื่อง

ปฏิกิริยาเคมีในสิ่งมีชีวิตดังกล่าวที่ไฮโดรเจนออกมาจากปฏิกิริยาเคมี ถูกนำมาเป็นต้นแบบในการศึกษาและพัฒนาขั้นตอนการสร้างแหล่งพลังงานไฮโดรเจนให้กับมนุษย์ในอนาคต และนอกจากนี้นักวิจัยยังสามารถนำแบคทีเรียชนิดนี้ มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่เป็นเอาน้ำมะถันหรือซัลเฟอไรด์อีกด้วย

จากข้อมูลการค้นพบสิ่งมีชีวิตในสภาวะแวดล้อมดังกล่าว ทำให้นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าในดวงดาวอื่นๆ ที่มีสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างไปจากโลก ก็น่าจะมีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่เช่นกัน แต่อาจจะอยู่ในรูปแบบที่แตกต่างกันไป จึงเป็นที่มาของการศึกษาสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในอวกาศ ในดวงดาวอื่นๆ ในศาสตร์ใหม่ที่มีชื่อว่า Astrobiology

เรามาดูรากศัพท์ของชื่อวิชาการศึกษาด้านชีววิทยา และชีววิทยาด้านอวกาศกัน ว่ามีความหมายแตกต่างกันอย่างไร วิชาชีววิทยาเป็นศัพท์ที่ได้มาจากการผสมกันของคำว่า Bios (มาจากภาษา Greek) ซึ่งมีความหมายเท่ากับคำว่า ชีวิต และคำว่า Logos (Greek) ซึ่งหมายถึง ศาสตร์หรือวิชาหรือการศึกษา พอย้อนกลับมาดูที่รากศัพท์วิชาชีววิทยา

ด้านอวกาศ หรือ Astrobiology ก็เพียงเติมคำว่า Astro- (Greek) ที่หมายถึงดวงดาวหรืออวกาศ แทนที่คำว่า Bios ลงไปเท่านั้นก็ได้ ความหมายของวิชาใหม่นี้ขึ้นมาทันที

### เขาศึกษาอะไรกันบ้างเกี่ยวกับชีววิทยาด้านอวกาศ

การศึกษาชีววิทยาที่เกี่ยวกับอวกาศ เริ่มต้นด้วยการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการสำรวจอวกาศมาตั้งแต่ช่วงทศวรรษที่ 1960 โดยจุดมุ่งหมายหลักๆ ก็เพื่อทำการค้นหาคำตอบเกี่ยวกับจุดกำเนิดของชีวิตและการเกิดขึ้นของสิ่งมีชีวิตบนโลกและดวงดาวอื่นๆ เนื่องจากการศึกษาทางด้านนี้เป็นวิทยาศาสตร์ประยุกต์ที่มีนักวิทยาศาสตร์จากหลายสาขาวิชาชีพเข้ามามีส่วนร่วมในการศึกษา วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีในด้านต่างๆ ทำให้มีการศึกษาและพัฒนาออกไปในวงกว้างอย่างรวดเร็ว

สำหรับเนื้อหาที่นำมาใช้ในการเรียนการสอนทางด้านนี้ สามารถแบ่งคร่าว ๆ ออกได้เป็น 3 กลุ่ม ก็คือ กลุ่มที่ 1 เป็นการศึกษาเกี่ยวกับประวัติและที่มาของการศึกษาในสาขาวิชานี้ กลุ่มที่ 2 เป็นการศึกษาเกี่ยวกับต้นกำเนิด



ของสิ่งมีชีวิต และกลุ่มที่ 3 ก็คือการศึกษา ค้นคว้าเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตในดวงดาวต่างๆ ที่ คาดว่าจะเคยมีสิ่งมีชีวิต โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

### กลุ่มที่ 1 ประวัติความเป็นมาของการศึกษาชีววิทยาด้านอวกาศ

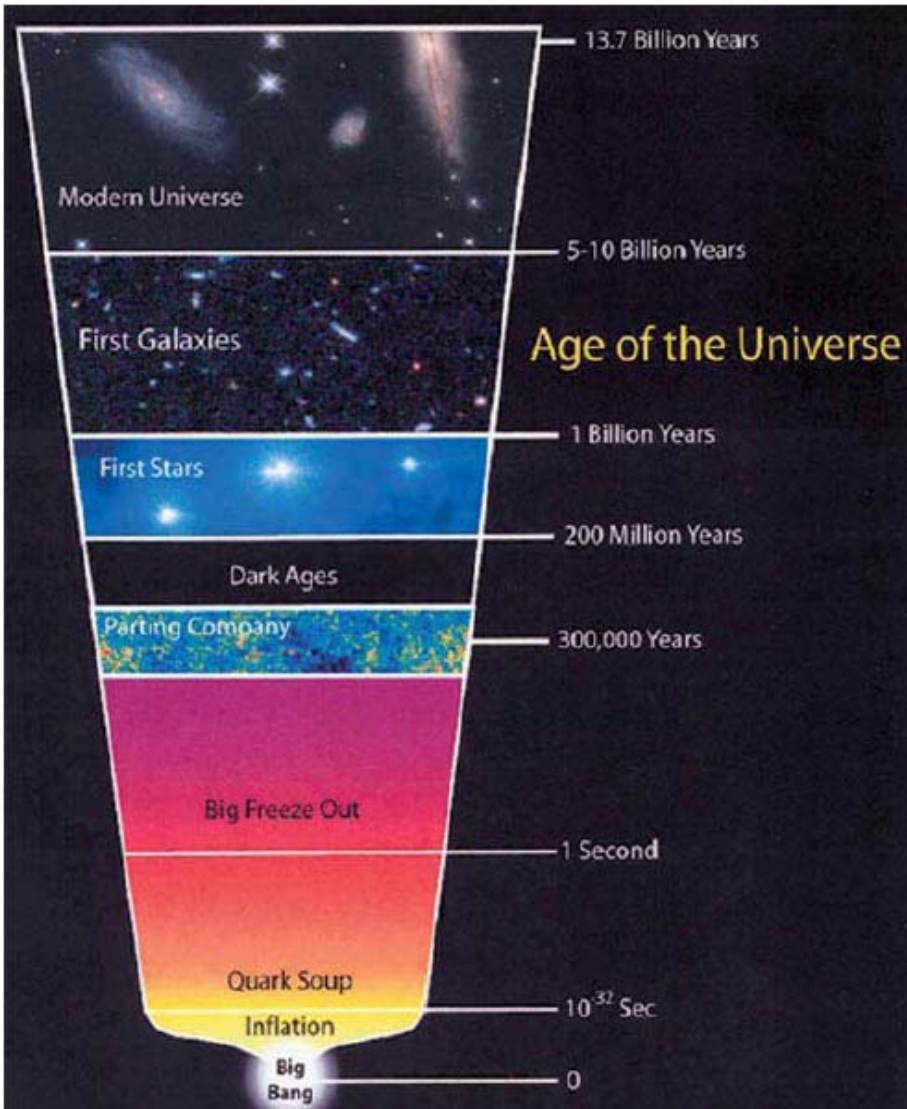
เนื้อหาที่นำมาศึกษาในกลุ่มนี้ จะเริ่มต้นจากคำถามง่ายๆ สั้นๆ ที่มีมนุษย์พยายามจะหาคำตอบมากกว่าหลายร้อยปี ก็คือ “สิ่งมีชีวิตเกิดขึ้นมาได้อย่างไร?” และเมื่อแห่งหน้าขึ้นมองท้องฟ้าก็จะมีคำถามเกิดขึ้นมาอีกว่า “บนดวงดาวอื่นๆ จะมีสิ่งมีชีวิตเหมือนเช่นมนุษย์หรือไม่?” จึงเป็นที่มาของการพัฒนาเทคโนโลยีทางอวกาศ และเป้าหมายที่ทำหยาที่สุดของมนุษย์ในยุคแรกๆ ของการเดินทางไปดวงดาวอื่น ก็คือ ดวงจันทร์ เพราะดวงจันทร์อยู่ใกล้ที่สุด สามารถมองเห็นจากโลกได้ ความตื่นเต้น ความท้าทาย ความกระหายใคร่รู้ดังกล่าว เป็นแรงผลักดันให้การศึกษาด้านอวกาศและชีววิทยาถูกพัฒนาเสมือนเป็นเส้นขนานควบคู่กันไป

ในระยะแรกๆ นักวิจัยในสาขาต่างๆ ก็ทำได้แค่พยายามค้นหาและศึกษาซากสิ่งมีชีวิตที่คาดว่าอาจจะมติดอกอยู่ในหินอุกกาบาตที่ตกมายังโลกบ้าง ศึกษาปฏิกิริยาเคมีของสิ่งมีชีวิตในห้องทดลองและพยายามที่จะสร้างบรรยากาศจำลองของโลกในยุคแรกเริ่ม ต่อมาเมื่อนุชนัยพัฒนาเทคโนโลยีด้านอวกาศขึ้นมาจนมีศักยภาพที่จะส่งยานอวกาศออกไปสำรวจนอกโลกได้ จึงมีแนวคิดและความพยายามจะนำเอาสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ไปทดลองในสภาวะไร้น้ำหนัก โดยทดลองทั้งในห้องปฏิบัติการบนโลก และห้องทดลองบนยานอวกาศ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นกับการอยู่อาศัยในสภาวะไร้น้ำหนัก

ขั้นตอนการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ด้านต่างๆ ยังมีอีกมากมาย และจะถูกหยิบยกขึ้นมาเป็นต้นแบบของการคิด วิเคราะห์ เพื่อทำให้ผู้เรียนได้เรียนรู้วิธีการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา และทำความเข้าใจว่านักวิทยาศาสตร์มีวิธีการคิด ทดลอง และแก้ปัญหาต่างๆ ได้อย่างไร นอกจากนี้ผู้เรียนก็จะเกิดความเข้าใจและเห็นภาพรวมได้ว่าวิชานี้เกิดขึ้นมาได้อย่างไร

### กลุ่มที่ 2 การศึกษาเกี่ยวกับต้นกำเนิดของชีวิต

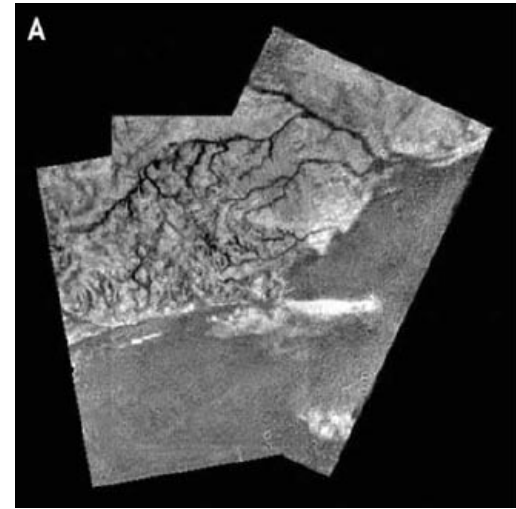
และอีกเช่นกัน องค์ความรู้ที่สะสมมาทั้งหมดเกิดขึ้นมาจากคำถามหลักๆ เพียงไม่กี่คำถามที่นักวิจัยอยากรู้มานานก็คือ “มนุษย์เริ่มแรกมีกำเนิดมาจากไหน? และมีวิวัฒนาการมาได้อย่างไร” จนถึงทุกวันนี้ เรายังหาคำตอบให้กับคำถามดังกล่าวไม่ได้ ดังนั้น การศึกษาเรื่องการกำเนิดของสิ่งมีชีวิตบนโลกเริ่มแรกจึงยังคงดำเนินต่อไป ข้อมูลทางชีววิทยาด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลเกี่ยวกับซากดึกดำบรรพ์ของสิ่งมีชีวิต ข้อมูลทางด้านธรณีวิทยา ธรณีฟิสิกส์ (เป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก) ข้อมูลเกี่ยวกับชั้นบรรยากาศโลกในอดีต (ซึ่งศึกษาจากข้อมูลของอากาศที่อยู่ในชั้นน้ำแข็งขั้วโลกที่ระดับความลึกต่างๆ) ข้อมูลเกี่ยวกับระดับน้ำทะเล และอื่นๆ จะถูกนำมาใช้ในการอธิบายและทำความเข้าใจว่าสิ่งมีชีวิตในอดีตมีกำเนิดขึ้นมาได้อย่างไร และดำรงชีวิตอย่างไรในสมัยที่ยังไม่มีมนุษย์และสิ่งมีชีวิตเกิดขึ้นมากมายเหมือนในปัจจุบัน รวมถึงทฤษฎีและสมมุติฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิด



ภาพแสดงวิวัฒนาการของจักรวาล จาก Horneck, G. & Rettberg, P. (2007) หน้า 26

สิ่งมีชีวิตที่ถูกหีบยกขึ้นมาศึกษาในชั้นเรียน อาทิ เช่น สิ่งมีชีวิตคืออะไร ลักษณะสำคัญของสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต อะไรคือความแตกต่างระหว่างสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต ข้อจำกัดที่ทำให้สิ่งมีชีวิตไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้คืออะไร ปฏิริยาเคมีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดขึ้นของสิ่งมีชีวิต สารเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดขึ้นของสิ่งมีชีวิต หน้าทีของน้ำในปฏิริยาการเกิดสิ่งมีชีวิต (จากการที่มีความพยายามจะสร้างสิ่งมีชีวิตจากปฏิริยาทางเคมีในหลอดทดลอง โดยทำการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า และปฏิริยาเคมีของกรดและเบส โดยจำลองสภาวะของโลกในระยะเวลาที่ไม่มีสิ่งมีชีวิตบนโลกเลยให้มาอยู่ในหลอดทดลอง) การเกิดขึ้นของ RNA ในโลกเกิดขึ้นมาได้อย่างไร ที่ไหน สภาวะแวดล้อมควรเป็นอย่างไร การรวมตัวของ RNA เป็นโพลิเมอร์เกิดขึ้นได้อย่างไร และยังรวมไปถึงความพยายามที่

จะศึกษาและทำความเข้าใจว่าการกำเนิดของ RNA และ DNA เกี่ยวข้องกันหรือไม่อย่างไร กำเนิดโปรตีนและสารเคมีอื่นๆ ที่ประกอบกันเป็นสิ่งมีชีวิต รวมถึงการเกิดขึ้นของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวในระยะที่โลกเป็นดาวเคราะห์ใหม่ๆ เกิดขึ้นมาได้อย่างไร มีการศึกษาการจำลองการเกิดเยื่อหุ้มเซลล์ในหลอดทดลอง และดูความเป็นไปได้ของปฏิริยาเคมีที่น่าจะเกิดขึ้นเพื่อการสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ของสิ่งมีชีวิตบนโลกในอดีต ในส่วนนี้ผู้เรียนจะได้เรียนรู้ว่าการกำเนิดขึ้นของสิ่งมีชีวิตไม่ได้อาศัยแค่กลไกทางชีววิทยาและปฏิริยาทางชีวเคมีพื้นๆ เท่านั้น มันยังเกี่ยวข้องกับพลังงานทางฟิสิกส์ ไม่ว่าจะเป็พลังงานความร้อน ไฟฟ้า และพลังงานทางเคมีจากสภาวะความเป็นกรดเบสของน้ำในโลกยุคดึกดำบรรพ์อีกด้วย

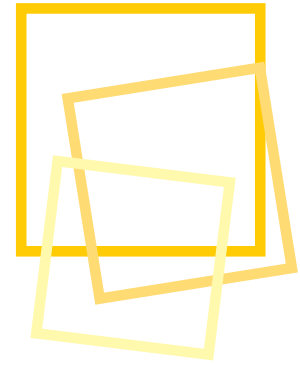
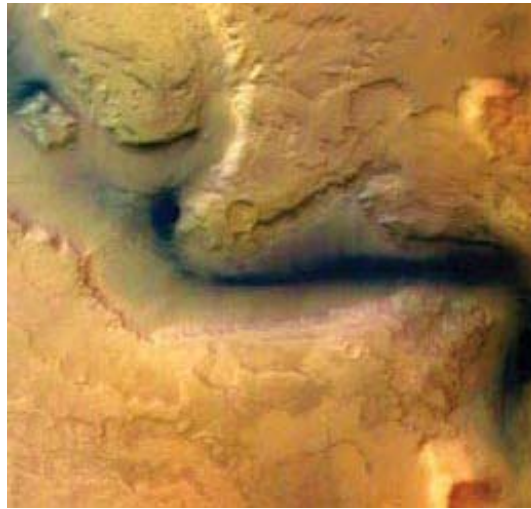


ภาพถ่ายเปรียบเทียบ  
A ร่องรอยของกรีนแมตต์ที่ดวงจันทร์ไททัน  
B ร่องรอยของเม่นน้ำบริเวณทะเลทรายในประเทศเยเมนบนผิวโลก  
จาก Horneck, G. & Rettberg, P. (2007) หน้า 240

### กลุ่มที่ 3 การศึกษาเกี่ยวกับกำเนิดชีวิตในดวงดาวต่างๆ

เนื้อหาการศึกษาในกลุ่มนี้ จะเริ่มตั้งแต่การกำเนิดของจักรวาล ทฤษฎีทางฟิสิกส์หลายๆ ทฤษฎีจะถูกนำมาใช้ในการอธิบายและศึกษาในด้านนี้ค่อนข้างมาก ตั้งแต่การระเบิดครั้งใหญ่ของจักรวาลหรือที่เรียกว่า "Big Bang" เรื่อยมาจนถึงการเกิดขึ้นของอนุภาคต่างๆ หลังการระเบิด การเกิดและการสลายตัวของดวงดาว การเกิดกาแล็กซี่ (ดังภาพประกอบ) การสร้างยานอวกาศเพื่อการเดินทางในอวกาศซึ่งต้องอาศัยความรู้ทางด้านวิศวกรรมในการผลิตอากาศยาน การเดินทางเพื่อเอาชนะแรงโน้มถ่วงของโลก ทฤษฎีพลังงานและการพัฒนาหาแหล่งพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อการเดินทางในอวกาศเทคโนโลยีทางด้านการผลิตวัสดุเพื่อใช้ในอวกาศถูกพัฒนาขึ้นมาได้อย่างไร และยังรวมไปถึงกรณีที่ต้องส่งมนุษย์ออกไปสำรวจอวกาศด้วย บัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตที่ได้ศึกษากันในวิชาชีววิทยา จะต้องถูกนำมาศึกษาใหม่ทั้งหมด แต่เป็นการศึกษาในสภาวะไร้น้ำหนัก อาทิเช่น การกินอาหารของสิ่งมีชีวิตในสภาวะไร้น้ำหนัก อัตราการเต้นของหัวใจและการไหลเวียนของโลหิตในสภาวะไร้น้ำหนัก เป็นต้น

การศึกษาสิ่งมีชีวิตนอกโลก และกำเนิดของสิ่งมีชีวิตนอกโลก จะยึดเอาทฤษฎีที่ว่าสิ่งมีชีวิตมีต้นกำเนิดมาจากน้ำเป็นหลัก



ร่องรอยของการมีน้ำบนดาวอังคาร บริเวณที่เรียกว่า Reull Vallis ถ่ายจากระยะความสูง 273 กิโลเมตร มาจาก : Horneck, G. & Rettberg, P. (2007) หน้า 210

ดังนั้น ดวงดาวเป้าหมายที่ทำการศึกษาก็เป็น ดวงดาวที่ต้องมีน้ำอยู่ด้วย อาทิ เช่น ดาวอังคาร (Mars) ดวงจันทร์ไททัน (Titan) ซึ่งเป็นดาวบริวารของดาวเสาร์ (Saturn) ดวงจันทร์ยูโรปา (Europa) ที่เป็นดาวบริวารของดาวพฤหัสบดี (Jupiter) และยิ่งรวมไปถึงอุกกาบาตจากดาวอังคารที่ตกมายังโลกด้วย (ดังภาพประกอบร่องรอยการมีน้ำบนดาวอังคาร และดวงจันทร์ไททัน)

มีข้อมูลที่น่าสนใจในเรื่องที่ว่า นักวิทยาศาสตร์ทราบได้อย่างไรว่าอุกกาบาตที่ตกมายังโลกเป็นของดาวอังคาร คำอธิบายที่ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์พื้นฐานมากมาย มาอธิบายในเรื่องนี้ก็คือ ดาวที่อยู่ถัดจากโลกไปทางดวงอาทิตย์ ก็คือ ดาวศุกร์ (Venus) และ ดาวพุธ (Mercury) มีลักษณะและตำแหน่งเฉพาะที่สามารถอธิบายได้ว่า เมื่ออุกกาบาตพุ่งชนแล้ว จะเกิดอะไรขึ้น

ดาวพุธ พื้นผิวปกคลุมด้วยหินแข็ง มีชั้นบรรยากาศเบาบางและอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด มีร่องรอยของการถูกอุกกาบาตชนพื้นผิวของดาวพุธมากมาย และมีชิ้นส่วนของอุกกาบาตกระเด็นออกมาจากดาวพุธเนื่องจากดาวพุธมีแรงดึงดูดน้อย แต่ชิ้นส่วนอุกกาบาตเหล่านั้นโดยปกติจะถูกแรงดึงดูดของดวงอาทิตย์ซึ่งมีมากกว่าดึงเข้าหาดวงอาทิตย์มากกว่าที่จะกระเด็นย้อนกลับเข้าสู่ผิวโลก แต่ก็มีบ้างที่หลุดมายังโลก นักวิทยาศาสตร์ยังใช้ข้อมูลเกี่ยวกับค่าไอโซโทปของออกซิเจน ในการจัดจำแนกชิ้นส่วนอุกกาบาตมาประกอบด้วย

ส่วนดาวศุกร์ ซึ่งอยู่ถัดจากโลกไปทางดวงอาทิตย์ และมีขนาดใกล้เคียงกับโลก

จะมีชั้นบรรยากาศค่อนข้างหนา (มากกว่าโลก 90 เท่า) ทำให้เป็นเรื่องยากมากที่จะดึงเอาวัตถุใดๆ ออกจากดาวศุกร์ได้ เมื่ออุกกาบาตวิ่งชนดาวศุกร์อาจจะมีพลังงานมากพอที่จะแหวกชั้นบรรยากาศเข้าไปที่พื้นผิวดาวศุกร์ได้ (ให้นึกถึงเวลาเอาวัตถุหย่อนลงในน้ำ กับน้ำมัน หรือกลีเซอรินที่หนืดๆ) แต่โอกาสที่จะกระเด็นย้อนกลับออกมาจากชั้นบรรยากาศของดาวศุกร์เกิดขึ้นได้น้อยเต็มที

ที่นี้ก็เหลือดาวที่อยู่ถัดจากโลกออกไปในฝั่งตรงข้ามกับดวงอาทิตย์ หลังจากที่มีมนุษย์ได้เดินทางไปสำรวจดวงจันทร์และเก็บข้อมูลเกี่ยวกับชั้นบรรยากาศ ดิน หิน บนดวงจันทร์ และยังมีนำตัวอย่างกลับมาศึกษาในโลก การส่งยานอวกาศไปลงดาวอังคาร ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวต่างๆ ในระบบสุริยะจากยานสำรวจอวกาศหลายๆ รุ่น ข้อมูลต่างๆ เหล่านี้ถูกนำมาศึกษาโดยนักวิทยาศาสตร์หลากหลายสาขาอาชีพ และเก็บรวบรวมเป็นฐานข้อมูลด้านวิทยาศาสตร์ในหลากหลายรูปแบบและสาขาวิชา ที่ทำให้เราสามารถแยกแยะและจำแนกได้ว่า อุกกาบาตที่ตกมาสู่โลกนั้นมาจากที่ใด

### การนำ Astrobiology เข้าไปสอนในชั้นเรียนมัธยม และให้ควมรับรู้ผู้คนในสังคม

มีความพยายามที่จะนำเอาความรู้เกี่ยวกับการศึกษาชีววิทยาที่เกี่ยวกับอวกาศเข้ามาอยู่ในหลักสูตรวิทยาศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษา โดยมีการออกแบบหลักสูตร และตั้งเป้าไว้ว่านักเรียนควรได้ทำการทดลองศึกษาค้นคว้า และทำความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนต่างๆ ของการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ (ซึ่งมีความหมาย

รวมถึงการได้ฝึกทักษะและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปด้วย) นอกจากนี้ยังรวมถึงการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงความคิดเห็น ตั้งคำถาม และออกแบบสร้างชิ้นงานเพื่อเป็นตัวสะท้อนให้เห็นว่านักเรียนได้เรียนรู้อะไรไปบ้างอีกด้วย

การนำเนื้อหาทางด้านนี้เข้ามาในชั้นเรียนทำให้นักเรียนได้เรียนวิทยาศาสตร์แบบผสมผสาน เกิดแนวคิดแบบองค์รวม และทำให้ไม่มองวิทยาศาสตร์เป็นวิชาๆ แยกส่วนจากกัน เนื้อหาทางด้านวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องและสามารถนำมาสอนร่วมได้เลย ก็คือ ชีววิทยา ธรณีวิทยา เคมี ฟิสิกส์ และดาราศาสตร์ และยังรวมถึงการนำทักษะทางด้านคณิตศาสตร์มาใช้ได้อีกด้วยขึ้นกับการออกแบบกิจกรรมและเนื้อหาที่นำมาใช้ นักเรียนยังจะได้เห็นและเข้าใจได้อย่างชัดเจนว่า วิทยาศาสตร์เป็นวิชาที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ความรู้ใหม่เกิดขึ้นตลอดเวลา ความรู้เก่าที่คลาดเคลื่อนก็จะถูกลบทิ้งออกไป และที่สำคัญนักเรียนจะได้ตระหนักและเข้าใจได้ว่าองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสังคมจะมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกันเสมอ

แนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน (Hands-on activities) และคำแนะนำสำหรับการนำกิจกรรมมาใช้ในชั้นเรียนสำหรับระดับชั้น พร้อมใบกิจกรรมสำหรับนักเรียน ประถมศึกษาปีที่ 5 - ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ ของ NASA ซึ่งเป็นเอกสารฉบับภาษาอังกฤษ มีทั้งหมด 60 หน้า ดาวน์โหลดได้ที่ <http://nai.arc.nasa.gov/library/downloads/erg.pdf>