บทที่สาม
กำเนิดของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่

วิทยาศาสตร์ของกรีกโบราณ

วิทยาศาสตร์สมัยใหม่ที่เรารู้จักกันดีในปัจจุบัน เป็นผลผลิตทางปัญญาที่ค่อนข้างใหม่ในประวัติศาสตร์ของมนุษย์ มนุษย์เริ่มสงสัยในธรรมชาติรอบตัวมาตั้งแต่มนุษย์เริ่มรู้จักคิด แต่เพิ่งไม่นานมานี้เองที่มนุษย์คิดค้นและกำหนดวิธีการหาความรู้เกี่ยวกับธรรมชาติอย่างเป็นระบบ ดังที่ปรากฏในวิทยาศาสตร์ปัจจุบัน การศึกษาการก่อกำเนิดของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ จึงเป็นเรื่องน่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง เพราะเมื่อเราพยายามหาหนทางที่จะให้ประเทศไทย ซึ่งมิได้มีวัฒนธรรมวิทยาศาสตร์มาก่อน มีความกลมกลืนกับวิทยาศาสตร์มากขึ้นนั้น การรู้เรื่องราวเกี่ยวกับกำเนิดของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่น่าจะมีประโยชน์ในการที่เราจกำหนดหนทางดังกล่าว ในบทนี้เราจึงมุ่งความสนใจไปที่กำเนิดของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ ซึ่งก่อตัวขึ้นในทวีปยุโรป เมื่อประมาณสามถึงสี่ร้อยปีมาแล้ว โดยจะเปรียบเทียบกับกระบวนการหาความรู้เกี่ยวกับธรรมชาติ ก่อนที่วิทยาศาสตร์สมัยใหม่จะเกิดขึ้น

ในทวีปยุโรปยุคก่อนสมัยใหม่ การหาความรู้เกี่ยวกับธรรมชาติรอบตัว มักมีตัวบทของปรัชญามาเป็นตัวกลาง กล่าวคือการหาความรู้ดังกล่าวนี้ มีลักษณะเป็นการศึกษาจากตัวบทมากกว่าการใช้ประสบการณ์ในการศึกษา ที่กล่าวมานี้มิได้หมายความว่า ชาวยุโรปสมัยกลางไม่ให้ความสนใจแก่ประสบการณ์เลย อันที่จริงไม่มีอารยธรรมใดยั่งยืนอยู่ได้ ถ้าไม่สนใจความรู้ที่มาจากประสาทสัมผัส นอกจากนี้ ความสำเร็จทางเทคโนโลยีของยุโรปสมัยกลาง เช่นการสร้างวิหารใหญ่ๆสูงๆ การทำเบียร์ ฯลฯ ก็มิได้พึ่งพาอาศัยตัวบทที่บรรดาบาดหลวงเป็นผู้เก็บรักษา แต่มาจากประสบการณ์ที่สั่งสมกันมาในระบบช่างฝีมือ และเป็นความชำนาญที่สืบต่อกันจากคนรุ่นหนึ่งไปสู่อีกรุ่นหนึ่ง อย่างไรก็ตาม การศึกษาสองแบบนี้ในโลกยุคกลางไม่มีความสัมพันธ์กัน ทั้งนี้ก็สะท้อนมาจากระบบสังคมที่มีการแบ่งแยกชนชั้นค่อนข้างชัดเจน

ในกรณีของการศึกษาธรรมชาติจากตัวบท ซึ่งเป็นการศึกษาอย่างเป็นทางการนั้น ตัวบทที่อ้างอิงกันมากได้แก่ หนังสือของอริสโตเติล[25] ซึ่งถือเป็นแหล่งอ้างอิงขั้นสุดท้ายในการหาและการยืนยันความรู้ อันที่จริงอริสโตเติลก็ได้เสนอความรู้ และแนวทางการศึกษาที่มีประโยชน์อย่างมากในระดับหนึ่ง แต่การที่อริสโตเติลเชื่อว่า การใช้หลักตรรกวิทยาอ้างเหตุผลเป็นวิธีหาความรู้ที่ถูกต้อง

---

[25] หนังสือที่แสดงเนื้อหาความคิดของอริสโตเติลไว้อย่างกระชับแต่มีเนื้อหาสำคัญๆครบถ้วน ได้แก่ D. J. Allan, *The Philosophy of Aristotle* (Oxford: Oxford University Press, 1970).

กว่าวิธีอื่นทั้งหมด ทำให้ระบบของอริสโตเติล ซึ่งแท้จริงแล้วมุ่งแสวงหาความรู้ในธรรมชาติ กลับมีลักษณะที่ห่างเหินจากธรรมชาติในหลายกรณี ตัวอย่างที่รู้จักกันดีเช่น การที่อริสโตเติลเสนอว่า โลกเป็นศูนย์กลางของจักรวาล และดาวเคราะห์และดาวฤกษ์หมุนรอบโลกเป็นวงกลม การที่อริสโตเติลคิดเช่นนี้ ไม่ได้เป็นเพียงเพราะว่า เขาใช้เหตุผลแต่เพียงอย่างเดียว แต่ก็ยังมาจากการใช้ประสบการณ์ที่สังเกตว่า ดาวเคราะห์และดาวฤกษ์ต่างๆ หมุนรอบโลก การสังเกตการหมุนนี้เกิดจากการใช้ประสบการณ์ตรงที่สังเกตท้องฟ้า นอกจากนี้การคิดว่า วงโคจรของดาวต่างๆหมุนเป็นวงกลมนั้น แม้จะสังเกตไม่ได้โดยตรง แต่ก็มาจากทฤษฎีของอริสโตเติลที่ว่า เทหวัตถุบนท้องฟ้านั้นมีความสมบูรณ์แบบ เนื่องจากมีความเชื่อว่าวัตถุดังกล่าวนี้ไม่ใช่วัตถุบนโลกที่ตกอยู่ภายใต้การเปลี่ยนแปลง ความคิดของคนกรีกโบราณที่แยกระหว่าง สิ่งบนโลกที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา กับสิ่งบนสวรรค์ที่เที่ยงแท้ไม่เปลี่ยนแปลง เป็นรากฐานของความเชื่อว่าวัตถุบนท้องฟ้า หรือ ‘สวรรค์’ นั้นต้องเคลื่อนที่ในรูปแบบที่สมบูรณ์ ได้แก่เป็นวงกลม

กล่าวอีกนัยหนึ่ง ความรู้เกี่ยวกับธรรมชาติของอริสโตเติล เริ่มจากการใช้ประสบการณ์แบบธรรมดาๆ ที่เรามีกันอยู่ทุกวัน แล้วก็ใช้การอ้างเหตุผล เพื่ออธิบายปรากฏการณ์เหล่านั้น และทำให้ปรากฏการณ์เป็นกรณีปลีกย่อยของเรื่องทั้งหมดที่อธิบายด้วยทฤษฎี ดังนั้น การที่อริสโตเติลบอกว่า ของเบาที่ธรรมชาติที่ลอยขึ้น ในขณะที่ของหนักมีธรรมชาติตกลงมานั้น ก็เนื่องจากเริ่มที่การสังเกตวัตถุเช่น ควันไฟที่ลอยสูงขึ้น กับน้ำที่มีคุณสมบัติตรงกันข้าม การสังเกตเช่นนี้สอดคล้องกับความเชื่อดั้งเดิมของคนกรีก ที่ถือว่าโลกประกอบด้วยธาตุสี่ธาตุ ได้แก่ ดิน น้ำ ลม และไฟ (ซึ่งตรงกันกับทฤษฎีของอินเดียที่คนไทยรับมา) โดยลมกับไฟมีคุณสมบัติที่เบาและจะลอยสูงขึ้น ส่วนอีกสองธาตุนั้นเป็นตรงกันข้าม ด้วยเหตุนี้ การที่อริสโตเติลถือว่า ของหนักย่อมตกถึงพื้นช้ากว่าของเบา จึงไม่ใช่เพียงแค่คำกล่าวลอยๆ แต่เป็นผลสะท้อนหรือผลสืบเนื่องโดยตรงของทฤษฎีดังกล่าว

การศึกษาของอริสโตเติลเกี่ยวกับธรรมชาติรอบตัว เป็นการปฏิบัติสืบเนื่องจากนักปรัชญาธรรมชาติของกรีกยุคก่อนโสกราตีส เช่นเธลีสหรืออนักซิแมนเดอร์ ซึ่งสนใจอยากรู้ว่าอะไรเป็นหลักการหรือสาระของธรรมชาติรอบตัว อันที่จริงเราอาจกล่าวได้ว่า วิทยาศาสตร์ปัจจุบันที่มุ่งหาหลักการพื้นฐานของสรรพสิ่ง เช่นในฟิสิกส์ที่กำลังมุ่งหาทฤษฎีสุดยอดที่จะใช้บรรยายปรากฏการณ์ธรรมชาติได้ทั้งหมด ก็มีรากเหง้ามาจากความพยายามของนักปรัชญายุคก่อนโสกราตีสเหล่านี้ คนแรกของนักปรัชญากลุ่มนี้ (ที่เรียกนักปรัชญากลุ่มนี้ว่ากลุ่ม ‘ก่อนโสกราตีส’ เป็นเพราะว่าแนวคิดของกลุ่มนี้มีลักษณะเหมือนกันมาก และเมื่อเทียบกับแนวคิดของโสกราตีส ก็จะเห็นรอยแยกชัดเจนระหว่างโสกราตีส กับนักคิดอื่นๆที่มาก่อนหน้า กล่าวคือโสกราตีสจะให้ความสนใจแก่ปัญหาทางจริยศาสตร์ หรือสังคมมากกว่าการพยายามเข้าใจหลักการพื้นฐานของธรรมชาติ แต่เราพบว่าในปรัชญาของอริสโตเติลแนวทางที่แยกกันทั้งคู่นี้ ก็กลับมารวมกันใหม่) ที่มีบันทึกในประวัติปรัชญาคือเธลีส ซึ่งเสนอว่าน้ำเป็น ‘ปฐมธาตุ’ ของสรรพสิ่ง ปฐมธาตุได้แก่ธาตุพื้นฐานที่เป็นแก่นรากของสรรพสิ่งทั้งหมด ดังนั้นการบอกว่าน้ำเป็นปฐมธาตุก็คือ บอกว่าทุกๆสิ่งก็คือน้ำนั่นเอง เหมือนกับในฟิสิกส์ปัจจุบันที่กำลังมีทฤษฎีว่า เส้นสายสิบเอ็ดมิติอาจเป็นปฐมธาตุอยู่ในปัจจุบัน ประเด็นก็คือว่า ข้อเสนอของเธลีสนั้นไม่น่าสนใจอะไร แต่ที่น่าสนใจก็คือว่า เหตุใดเขาจึงตั้งคำถามเรื่องปฐม

ธาตุขึ้นมา เราอาจกล่าวได้ว่าคำถามว่า ภายใต้สรรพสิ่งต่างๆในจักรวาลที่หลากหลายยิ่งนั้น มีอะไรเป็นแก่นร่วมกันหรือไม่ที่แสดงว่าสรรพสิ่งเหล่านี้แท้จริงแล้วเป็นสิ่งเดียวกัน คำถามนี้ถือได้ว่าเป็นหัวใจของวิทยาศาสตร์กายภาพ ซึ่งมุ่งหาหลักการพื้นฐานที่ใช้อธิบายสรรพสิ่ง สิ่งที่แตกต่างกันคือวิทยาศาสตร์สมัยใหม่มีกระบวนการในการหาความรู้ที่แตกต่างอย่างสิ้นเชิงจากศาสตร์โบราณของอริสโตเติล หรือนักปรัชญาธรรมชาติกรีกคนอื่นๆ แต่ถ้ามองถึงแรงจูงใจและธรรมชาติของปัญหาแล้วก็นับได้ว่านักวิทยาศาสตร์ปัจจุบัน เป็นศิษย์ของเธลีสทั้งสิ้น

สิ่งที่เราสังเกตได้จากกระบวนการคิดและหาความรู้ตามแบบของอริสโตเติลก็คือว่า เมื่อเริ่มจากการสังเกตแล้ว (เช่นสังเกตว่าควันไฟลอยขึ้น ขนนกตกถึงพื้นช้ากว่าก้อนหิน ฯลฯ) ก็โยงสิ่งที่สังเกตได้เข้ากับทฤษฎี หรือแนวความคิดดั้งเดิมที่มีอยู่ และในท้ายที่สุดก็สรุปออกมาเป็นเนื้อหาความรู้เกี่ยวกับธรรมชาติ แนวคิดหลักของอริสโตเติลที่โลกตะวันตกรับกันมาเป็นเวลากว่าหนึ่งพันปี ก็ตั้งอยู่บนหลักการของการวิเคราะห์สาเหตุออกเป็นสี่ประการ ซึ่งก็เป็นข้อเสนอของอริสโตเติลว่าอะไรคือปฐมธาตุนั่นเอง สาเหตุทั้งสี่นี้ได้แก่

๑. สาเหตุวัตถุ
๒. สาเหตุรูปทรง
๓. สาเหตุประสิทธิภาพ
๔. สาเหตุสุดท้าย

สาเหตุวัตถุได้แก่เนื้อสารของวัตถุที่มาเป็นวัตถุหรือ ‘เนื้อ’ ของวัตถุนั้นๆ เช่นรูปหล่อของเฮราที่ทำด้วยทองเหลือง ทองเหลืองก็เป็นเนื้อสาร หรือรูปปั้นหินอ่อนของอพอลโล หินอ่อนก็เป็นสาเหตุวัตถุเป็นต้น ในความคิดของอริสโตเติล ซึ่งก็สะท้อนความคิดของชาวกรีกโบราณทั่วไป สาเหตุวัตถุเป็นสาเหตุที่ต่ำต้อยที่สุด เพราะเนื้อสารในความคิดของชาวกรีกนั้น ไม่มีสภาพใดในตัวเอง เป็นแต่เพียงสสารไร้รูป ที่อาจเป็นอะไรก็ได้ ตามแต่สาเหตุรูปทรง ในบทสนทนาเรื่องไทเมอัสของเพลโต ซึ่งเป็นอาจารย์ของอริสโตเติล มีกล่าวว่า โลกสร้างขึ้นมาจากเทพที่นำเอาเนื้อสาร หรือสสารที่มีมาแต่ดั้งเดิม แล้วเอาแม่พิมพ์ตีลงไปบนเนื้อสารนั้น เพื่อสร้างเป็นโลกและสิ่งต่างๆ แม่พิมพ์นี้ก็ได้แก่สาเหตุรูปทรง ซึ่งในตัวเองแล้วไม่มีสภาพที่เป็นรูปธรรม เนื่องจากความเป็นรูปธรรม คือการที่รับรู้ได้ด้วยประสาทสัมผัส เป็นคุณสมบัติของสาเหตุวัตถุ ส่วนสาเหตุรูปทรงนั้นเป็นนามธรรมล้วนๆ กล่าวคือไม่สามารถรับรู้โดยตรงด้วยประสาทสัมผัส แต่แน่ใจได้ว่ามีอยู่จริง เพราะเป็นรูปแบบ หรือแม่แบบของสิ่งของทั้งหลายในธรรมชาติที่แยกกันออกว่าอะไรเป็นอะไร ดังนั้น การที่ผึ้งแตกต่างจากตั๊กแตนนั้น ไม่ใช่การแตกต่างกันที่เนื้อสารที่มาเป็นผึ้งหรือตั๊กแตน แต่ต่างกันตรงที่แมลงสองชนิดนี้มีสาเหตุรูปทรงต่างกัน

สาเหตุประสิทธิภาพได้แก่สาเหตุที่คนทั่วไปมักคิดกันว่าเป็นลักษณะของความเป็นสาเหตุและผล สาเหตุประสิทธภาพได้แก่กระบวนการทางกายภาพที่ก่อให้เกิดสิ่งนั้นสิ่งนี้ขึ้นมา ตัวอย่างเช่น รูปปั้นของเฮรา การที่รูปๆนี้เป็นรูปปั้นของเฮราได้ นอกจากต้องอาศัยวัตถุและรูปทรงแล้ว ยัง

ต้องอาศัยการที่ช่างปั้นลงมือปั้นวัตถุตามรูปแบบที่ได้วางไว้ การลงมือนี้เป็นตัวอย่างที่ดีของสาเหตุประสิทธิภาพ สาเหตุประสิทธิภาพต้องประกอบด้วยการเคลื่อนไหวในโลกเสมอ เพราะถ้าทุกอย่างอยู่นิ่งๆ ก็จะไม่มีอะไรมาผลักดันให้เหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งเกิดขึ้น หรือมาสร้างวัตถุชิ้นใดชิ้นหนึ่งขึ้นมา สาเหตุประเภทนี้แตกต่างมากจากสาเหตุประการสุดท้าย ซึ่งได้แก่สาเหตุสุดท้าย สาเหตุประเภทนี้หมายถึง จุดประสงค์หรือเป้าหมายของการเปลี่ยนแปลง หรือของวัตถุ ที่ต้องการหาคำอธิบาย ตัวอย่างเช่น ช่างกำลังปั้นรูปของเฮรา ซึ่งเป็นเทพีองค์สำคัญองค์หนึ่งในเทวตำนานของกรีก สาเหตุประสิทธิภาพของรูปที่กำลังหล่ออยู่ ได้แก่การที่ช่างลงมือปั้นรูปนี้ขึ้น ส่วนสาเหตุสุดท้ายก็ได้แก่ จุดประสงค์ของช่างในการปั้นรูปนี้ขึ้นมานั่นเอง ช่างอาจจะปั้นรูปนี้ขึ้นมาเพื่อไว้บูชา หรือเพื่อประดับในวิหาร ไม่ว่าอะไรการปั้นนี้ต้องมีจุดมุ่งหมาย และในความคิดของอริสโตเติล จุดมุ่งหมายนี้เป็นสาเหตุที่สำคัญที่สุด เพราะทำให้เราเข้าใจได้อย่างลึกซึ้งที่สุดว่า วัตถุหรือเหตุการณ์ที่เราต้องการคำอธิบายนั้น เป็นอย่างไรกันแน่

ในกรณีของการเปลี่ยนแปลงในธรรมชาติ อริสโตเติลถือว่า จะต้องมีสาเหตุสุดท้ายเช่นเดียวกัน ดังนั้น อริสโตเติลจึงเชื่อว่าทุกสิ่งทุกอย่างในธรรมชาติ เป็นไปอย่างมีจุดมุ่งหมายเสมอ แนวคิดนี้เมื่อมารวมกับแนวคิดว่าด้วยธรรมชาติเบื้องต้นของสรรพสิ่ง ที่แบ่งออกเป็นธาตุทั้งสี่ดังได้กล่าวมาข้างต้น ก็ออกมาเป็นแนวคิดพื้นฐานของระบบความรู้กายภาพของอริสโตเติล ในระบบเช่นนี้จะอธิบายการที่ควันไฟลอยสูงขึ้นว่า เป็นเพราะ “ธรรมชาติ” ของควันไฟเองเป็นเช่นนั้น จุดมุ่งหมายของการที่ควันไฟเป็นควันไฟ ก็คือต้องลอยขึ้น เช่นเดียวกับจุดมุ่งหมายของการที่ต้นไม้ออกดอกออกผล ก็คือต้นไม้ “ต้องการ” บรรลุธรรมชาติสูงสุดของตนเอง หรือเข้าถึงความเป็นตนเองอย่างสมบูรณ์ แนวคิดนี้หมายความว่า สิ่งต่างๆที่เป็นอยู่หรือที่เปลี่ยนแปลงไปนั้น ดำเนินไปเพื่อให้บรรลุเป้าหมายหรือจุดประสงค์สูงสุดที่ทำให้สิ่งๆหนึ่งเป็นสิ่งนั้นเองไม่ใช่สิ่งอื่น ดังนั้น การที่น้ำไหลลงสู่ที่ต่ำ ก็เป็นเพราะว่า น้ำมีแนวโน้มที่จะบรรลุธรรมชาติดั้งเดิมของตนเอง ได้แก่การอยู่ที่ต่ำ หรือพูดอีกอย่างได้ว่า น้ำไหลสู่ที่ต่ำเพราะ “ต้องการ” จะบรรลุสภาวะแท้จริงของตนเอง

ดังนั้น เอกภพของอริสโตเติลจึงมีระเบียบแบบแผนที่เคร่งครัด ทุกสิ่งทุกอย่างมีที่อยู่ประจำในระบบของสรรพสิ่ง และเป็นธรรมชาติและจุดมุ่งหมายของแต่ละสิ่งเองที่จะมีที่อยู่เช่นนั้น เอกภพของอริสโตเติลกำลังมุ่งไปสู่สภาพที่สมบูรณ์แบบ ซึ่งเป็นสภาพที่ทุกสิ่งทุกอย่างบรรลุความเป็นตัวของตัวเอง อริสโตเติลเรียกสภาวะเช่นนี้ว่า “การทำให้สภาวะแฝงกลายเป็นสภาวะจริง” สภาวะแฝงได้แก่สภาวะของวัตถุที่ไม่ใช่สภาพที่แท้จริงของวัตถุนั้นๆ ซึ่งทำให้วัตถุนั้นมีพลวัตที่จะเคลื่อนไหวไปสู่การที่สภาวะแฝงหายไปหมดกลายเป็นสภาวะจริง สภาวะจริงนี้ก็ได้แก่สภาวะของวัตถุที่บรรลุความเป็นตัวเองอย่างสมบูรณ์ ตัวอย่างเช่น สภาวะจริงของมีดได้แก่ ความคม หรือการเป็นมีดที่คม เพราะลักษณะที่บ่งบอกว่าวัตถุชิ้นนี้เป็นมีด ไม่ใช่อย่างอื่นเช่นท่อนเหล็ก ก็ได้แก่การที่มีดมีความคม ส่วนสภาวะแฝงก็ได้แก่ความคมที่ยังไม่ปรากฏขึ้น แต่ยังอยู่ในความคิดของช่างตีเหล็ก ถ้าช่างตั้งใจจะทำมีดให้คม มีดที่ยังทำไม่เสร็จก็เรียกได้ว่า มีความคมเป็นสภาวะแฝงนั่นเอง

ในทำนองเดียวกัน ชีวิตของพืชและสัตว์ก็ตกอยู่ภายใต้กฎเกณฑ์เดียวกัน ในระบบของอริสโตเติล การเป็นสัตว์ประเภทใดประเภทหนึ่ง หรือการที่สัตว์ประเภทหนึ่งทำพฤติกรรมอย่างใด

อย่างหนึ่ง ก็อธิบายได้ว่า เป็นเพราะสัตว์มี “ธรรมชาติ” ที่เป็นอย่างนั้นเอง โดยสาเหตุสุดท้ายของพฤติกรรมนั้นๆอยู่ที่การบรรลุสภาวะจริงของสัตว์หรือพืชนั้นๆ ดังนั้น การที่เมล็ดมะม่วงเจริญเติบโตมาเป็นต้นมะม่วงนั้น ก็เป็นเพราะว่าเมล็ดมะม่วงเป็นต้นมะม่วงในสภาวะแฝง และเนื่องจากทุกสิ่งดำเนินไปเพื่อบรรลุสภาวะจริงของตนเอง เมล็ดมะม่วงจึงต้องเติบโตมาเป็นต้นมะม่วง ไม่ใช่เป็นต้นไม้อื่น

แนวคิดเรื่องสาเหตุสุดท้ายของอริสโตเติล เป็นที่รู้จักในชื่อว่า ‘อันตวิทยา’ (teleology) ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับเป้าหมายหรือจุดมุ่งหมายของสิ่งต่างๆ หรือเหตุการณ์ต่างๆในธรรมชาติ ในทางชีววิทยา การอธิบายทำนองนี้ก็ปรากฏในการอธิบายลักษณะของสิ่งมีชีวิต โดยมีการอ้างถึงเป้าหมายของสิ่งที่จะอธิบายเป็นหลัก เช่นอธิบายว่างูไม่มีขา เพราะธรรมชาติของงูเป็นเช่นนั้น กล่าวคือจุดหมายของการเป็นงู อยู่ที่การเลื้อยดังนั้นงูจึงไม่มีขา เป็นต้น จะเห็นได้ว่า การอธิบายแบบอ้างอิงสาเหตุสุดท้ายนี้ ขัดแย้งกับความคิดพื้นฐานของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่อย่างจัง เพราะว่าจุดหมาย หรือเป้าประสงค์ของสิ่งต่างๆในธรรมชาตินั้น นอกจากจะเป็นสิ่งที่วิเคราะห์และพิสูจน์ได้ยากแล้ว ยังมีนัยยะไปถึงการเชื่อว่าธรรมชาติทั้งหมดเป็นไปอย่างมีแบบแผน และมีระบบระเบียบในตัว เป็นความเชื่อในสิ่งที่อยู่นอกเหนือจากธรรมชาติออกไป ดังนั้นเราจึงพบว่า เมื่อมีปฏิกิริยาต่อต้านแนวคิดของอริสโตเติลในวิทยาศาสตร์สมัยใหม่นั้น แนวคิดเรื่องอันตวิทยาเป็นส่วนแรกๆของระบบดั้งเดิมที่ถูกโจมตี และถูกปฏิเสธอย่างสิ้นเชิงในที่สุด

แนวคิดเรื่องอันตวิทยาเป็นตัวอย่างที่ดี ที่ช่วยให้เราเห็นภาพของการหาความรู้เกี่ยวกับธรรมชาติในยุคก่อนวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ได้ การเชื่อว่ามีสาเหตุสุดท้าย มาจากการเชื่อว่าสิ่งต่างๆเป็นไปอย่างมีแบบแผน เหมือนกับการดำเนินเรื่องของนวนิยายที่มีผู้แต่งไว้ก่อนแล้ว และกำหนดส่วนต่างๆของเรื่องเป็นอย่างดีว่า ส่วนใดทำหน้าที่อะไรและมีบทบาทอย่างไรในเรื่องราวทั้งหมด การเชื่อเช่นนี้ยังมาจากการถือว่า ธรรมชาติมีอะไรอีกมากที่อยู่เลยไปจากที่ปรากฏให้เห็นด้วยประสาทสัมผัส และความเชื่อว่าความเป็นไปของชีวิตมนุษย์กับของธรรมชาตินั้น สะท้อนกันและกันอย่างแน่นแฟ้น เราจะเห็นว่าแนวคิดเหล่านี้ถูกท้าทายและปฏิเสธไปพร้อมกับอันตวิทยา เมื่อวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ก่อตัวขึ้นในยุโรปเมื่อราวเกือบสี่ร้อยปีที่ผ่านมา

อย่างไรก็ตาม แนวคิดของอริสโตเติลก็มิใช่แนวคิดเพียงแนวเดียวในวิทยาศาสตร์โบราณ อันที่จริงชาวกรีกยังมีนักคิดคนอื่นๆ ที่คิดอะไรหลายอย่างคล้ายคลึงกับที่ยอมรับกันในวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ ตัวอย่างเช่น นักปรัชญาธรรมชาติคนหนึ่งชื่อเอราธอสเธเนส ได้เสนอความคิดว่า โลกมีสัณฐานเป็นทรงกลม แทนที่จะเชื่อกันว่าแบนแบบที่เชื่อกันโดยทั่วไปในสมัยนั้น เอราธอสเธเนสยังคิดวิธีวัดเส้นรอบวงของโลก โดยเขาสังเกตเงาของเสาที่ปักเป็นมุมฉากกับพื้นดิน ณ ที่แห่งหนึ่งในเวลาเที่ยงวัน และสังเกตเงาของที่อีกแห่งหนึ่งที่อยู่ห่างออกไปพอสมควรในเวลาเดียวกัน (ซึ่งอาจต้องใช้รายงานจากผู้ร่วมงาน) จากมุมที่แตกต่างกัน โดยที่แห่งหนึ่งไม่มีเงาที่เสาอยู่เลย แต่ในอีกที่หนึ่งมีเงาออกมาเป็นระยะหนึ่ง จากการใช้หลักวิชาทางเรขาคณิต ซึ่งเป็นที่รู้กันในสมัยนั้นแล้ว เอราธอสเธเนสก็สามารถคำนวณเส้นรอบวงของโลกได้ ซึ่งผิดไปจากเส้นรอบวงที่

คำนวณได้ในปัจจุบันไม่มากนัก นอกจากนี้ยังมีนักคิดกรีกคนอื่นๆก็มีที่เสนอว่า โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ แทนที่จะเป็นดวงอาทิตย์โคจรรอบโลกดังที่เชื่อกันโดยทั่วไป และอื่นๆ

ทั้งหมดนี้แสดงว่า การศึกษาธรรมชาติของชาวกรีกเป็นไปด้วยความมีชีวิตชีวาอย่างยิ่ง แต่เมื่อเวลาผ่านไปแนวคิดต่างๆเหล่านี้ก็หมดพลังลงไป และกระแสของปัญญาที่เป็นมรดกของชาวกรีกที่ตกทอดมายังอาหรับและยุโรป ก็เป็นผลงานของอริสโตเติลเกือบทั้งหมด

การปฏิวัติวิทยาศาสตร์

อาจกล่าวได้ว่า การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในทวีปยุโรปตะวันตก เมื่อราวคริสตศตวรรษที่สิบหกกับสิบเจ็ด หรือเมื่อสามถึงสี่ร้อยปีก่อนนี้นั้น เป็นการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ที่สุดของมนุษยชาติ ทั้งนี้เพราะการเปลี่ยนแปลงนี้ก่อให้เกิดวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ ซึ่งเป็นที่เรารู้จักกันอยู่ในปัจจุบัน ก่อนการเปลี่ยนแปลงนี้มนุษย์ยังอยู่กับโลกโบราณ ที่มีศูนย์กลางอยู่ที่ศาสนจักร หรือคำสอนที่รับตกทอดมาจากอดีต มาเป็นความเชื่อมั่นในพลังอำนาจของมนุษย์ที่จะแสวงหาความรู้และความจริง ก่อนการเปลี่ยนแปลง แหล่งความรู้ของมนุษย์อยู่ที่คำสอนจากอดีต ที่รับตกทอดมาในรูปของหนังสือหรือคัมภีร์ ซึ่งมักเขียนเป็นภาษาโบราณ แต่หลังการเปลี่ยนแปลง นักวิชาการเกี่ยวกับธรรมชาติ มองใหม่ว่า แหล่งความรู้ไม่ได้อยู่ที่คัมภีร์ แต่อยู่ที่การอ่านและการพยายามเข้าใจความหมายของ “ธรรมชาติ” ซึ่งเปิดเผยตัวตนออกมาในรูปของภาษา ที่ต้องการพลังของนักวิชาการในการทำความเข้าใจ การศึกษาว่าการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นได้อย่างไร จึงมีประโยชน์อย่างยิ่ง ที่จะให้เราเข้าใจว่า ถ้าเราจะพยายามปลูกฝังวิทยาศาสตร์ให้เกิดขึ้นในสังคมไทยของเรานั้น เราควรจะต้องทำอะไรบ้าง เพื่อให้วิทยาศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งของสังคมและวัฒนธรรมของไทยเราจริงๆ

การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อว่า “การปฏิวัติวิทยาศาสตร์” นักประวัติศาสตร์มักถือกันว่า การปฏิวัตินี้เริ่มขึ้นจากความพยายามของกาลิเลโอในการใช้อุปกรณ์ช่วยประสาทสัมผัสได้แก่กล้องโทรทรรศน์ เพื่อค้นหาความจริงเกี่ยวกับธรรมชาติ ซึ่งมักจะขัดแย้งกับที่สอนไว้ในคัมภีร์ และในการถือว่า ธรรมชาติ “พูด” กับนักวิชาการด้วยภาษาคณิตศาสตร์ ซึ่งโดยหลักการแล้วเป็นภาษาเปิดเผย ที่ทุกคนสามารถเรียนรู้ได้ และการปฏิวัตินี้จบลงด้วยผลงานอันมีชื่อเสียงของเซอร์ไอแซค นิวตัน (ได้แก่ *Principia mathematica philosophiae naturalis - หลักการทางคณิตศาสตร์ของปรัชญาธรรมชาติ)* ซึ่งได้สาธยายทฤษฎีว่าด้วยการเคลื่อนไหวของวัตถุ และแรงโน้มถ่วงระหว่างวัตถุเอาไว้ ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานของวิทยาศาสตร์กายภาพมานับศตวรรษ จนกระทั่งมีทฤษฎีของไอน์สไตน์มาเติมส่วนที่ทฤษฎีของนิวตันบกพร่อง ช่วงเวลานับตั้งแต่ความทดลองครั้งแตกๆของกาลิเลโอ จนถึงผลงานชิ้นนี้ของนิวตัน กินเวลาไม่ถึงสองร้อยปี นับเป็นช่วงเวลาที่น่าตื่นเต้นที่สุดช่วงหนึ่งของมนุษยชาติ

ในหัวข้อนี้ เราจะอภิปรายกันถึงผลงานโดยสังเขปของตัวละครสำคัญๆในการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ พร้อมทั้งบุคคลที่ความคิดของเขาเป็นรากฐานสำคัญที่ขาดไม่ได้ในการปฏิวัตินี้ ซึ่งได้แก่ นิโคลัส โคเปอร์นิคัส ไทโค บราฮ์ และโยฮันเนส เคปเลอร์ เนื่องจากหนังสือเล่มนี้มิใช่

หนังสือประวัติวิทยาศาสตร์ จึงไม่สามารถบรรยายผลงานความคิดและการค้นคว้าของนักวิชาการเหล่านี้ได้อย่างละเอียด จุดสนใจของเราจะอยู่ที่แนวคิดเบื้องหลังของนักวิชาการเหล่านี้ ว่าเหตุใดเขาจึงคิดแตกต่างกับบรรดานักวิชาการในสำนักของอริสโตเติล ซึ่งเรียกได้ว่าเป็นสำนัก “กระแสหลัก” ในขณะนั้น แนวคิดเบื้องหลังดังกล่าวนี้เป็นอย่างไร และเหตุใดแนวคิดนี้จึงเอาชนะแนวคิดแบบของอริสโตเติลได้ในท้ายที่สุด และในหัวข้อต่อไป เราก็จะอภิปรายกันเกี่ยวกับกำเนิดของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ ว่ามีปัจจัยอะไรบ้างที่น่าจะเป็นสาเหตุ เราจะเข้าใจปรากฏการณ์เรื่องกำเนิดวิทยาศาสตร์สมัยใหม่นี้ในเชิงประวัติศาสตร์ได้ว่าอย่างไร และเราจะประยุกต์การค้นคว้าของเราในการวางนโยบายเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ในสังคมไทยได้อย่างไรบ้าง

แนวคิดเกี่ยวกับการ “ปฏิวัติ” วิทยาศาสตร์

คำว่า “ปฏิวัติวิทยาศาสตร์” แปลตรงตัวมาจากภาษาอังกฤษว่า scientific revolution คำว่า “ปฏิวัติ” หรือ revolution นี้ในสมัยนี้มักมีความหมายในเชิงสังคมและการเมือง กล่าวคือเป็นคำที่มีความหมายระบุถึงการเปลี่ยนแปลงขนานใหญ่ ที่ล้มล้างระเบียบสังคมเดิม และสร้างระเบียบสังคมใหม่ขึ้นมาแทนที่ โดยที่การเปลี่ยนระเบียบสังคมนี้กินความกว้างขวางถึงความสัมพันธ์ทางการเมือง เศรษฐกิจ สังคมและวัฒนธรรม ซึ่งทุกอย่างเปลี่ยนไปอย่างเฉียบพลันและรุนแรง ตัวอย่างของการปฏิวัติที่รู้จักกันดี ก็เช่นการปฏิวัติในอังกฤษในราวกลางคริสตวรรษที่สิบเจ็ด ซึ่งยังผลให้กษัตริย์ชาร์ลส์ที่สอง ต้องถูกประหารชีวิต และทำให้เกิดระบบการปกครองเบ็ดเสร็จโดยรัฐสภาขึ้นมาชั่วระยะเวลาหนึ่ง นอกจากนี้ก็มีการปฏิวัติอเมริกัน การปฏิวัติฝรั่งเศส ในคริสตศตวรรษที่สิบแปด และการปฏิวัติบอลเชวิกในต้นคริสตศตวรรษที่ยี่สิบ การปฏิวัติเหล่านี้เป็นการเปลี่ยนแปลงทางการเมือง ที่รวมเอาหรือที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานความคิดทางปรัชญาเข้าร่วมด้วยอย่างชัดเจน ลักษณะสำคัญของการปฏิวัติเหล่านี้คือระบบความคิดก่อนการปฏิวัติกับหลังการปฏิวัติต่างกันอย่างยิ่ง จนทำได้เกือบจะเรียกได้ว่าการปฏิวัติเหล่านี้เป็นการ “เปลี่ยนโลก” ใหม่ โดยเฉพาะสำหรับคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องการเหตุการณ์ในการปฏิวัติเหล่านั้น[26]

ความหมายของคำว่า ‘revolution’ นี้อันที่จริงไม่ใช่ความหมายดั้งเดิมของคำๆนี้ คำๆนี้มีอีกความหมายหนึ่ง ซึ่งมาจากคำกริยา ‘to revolve’ หมายความว่า ‘หมุน’ หรือ ‘โคจรรอบๆ’ และในความหมายนี้ ‘revolution’ จึงหมายถึงการหมุนกลับมาหาที่เดิม หรือการรื้อฟื้นของเก่าที่เคยมีมาก่อน แต่ได้สูญหายหรือมีผู้ลืมเลือนไปในเวลาต่อมา ด้วยเหตุนี้ การเรียกการเปลี่ยนแปลงในยุโรปในคริสตศตวรรษที่สิบเจ็ดต่อสิบแปดนี้ว่า การปฏิวัติวิทยาศาสตร์นี้ ในแง่หนึ่งก็เป็นการเรียกที่นับได้ว่าถูกต้อง เพราะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างใหญ่หลวงจริงๆ และมีการเปลี่ยนวิถีระบบความคิดก่อนและหลังการปฏิวัติอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม ในอีกแง่หนึ่งก็มีความแตกต่าง

---

[26] I. Bernard Cohen, *Revolution in Science* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1985), หน้า ๕๑-๗๖.

กันมากระหว่างการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ กับการปฏิวัติทางการเมืองเช่นการปฏิวัติฝรั่งเศส ซึ่งก็เป็นเช่นเดียวกับความแตกต่างของคำว่า 'revolution' ดังกล่าว ความแตกต่างนี้มิได้อยู่ที่ระดับของความรุนแรง ซึ่งการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ แม้จะเป็นเรื่องของคนระดับผู้คงแก่เรียนในสมัยนั้นเป็นหลัก แต่แตกต่างกันที่การปฏิวัติวิทยาศาสตร์นั้น เมื่อวิเคราะห์ให้ละเอียดจากหลักฐานทางประวัติศาสตร์แล้ว จะพบว่าระดับของการเปลี่ยนแปลง หรือความเฉียบพลันของการเปลี่ยนแปลง รวมทั้งความต่างกันของระบบก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงนี้ ไม่ได้มากมายเหมือนกับที่การใช้คำว่า 'ปฏิวัติ' นั้นมีนัยยะบ่งบอก นอกจากนี้ คำว่า 'scientific revolution' เองก็เป็นคำที่เพิ่งใช้ครั้งแรกเมื่อไม่นานมานี้ ดังนั้นจึงเป็นการสะท้อนแนวคิดของนักประวัติศาสตร์ มากกว่าเป็นความเป็นจริงที่เป็นอยู่จริงๆ โดยไม่มีมุมมองของผู้มองเข้ามาเกี่ยวข้อง

สตีเฟน ชาพินเสนอว่า การปฏิวัติวิทยาศาสตร์นั้นไม่ได้เป็นทั้งวิทยาศาสตร์และก็ไม่ได้เป็นการปฏิวัติ[27] กล่าวคือ นักวิชาการที่ทำงานในสมัยนั้น ไม่ได้มองตนเองว่าเป็น "นักวิทยาศาสตร์" ทั้งนี้เพราะคำว่า 'นักวิทยาศาสตร์' ในฐานะคำเรียกอาชีพๆหนึ่ง เพิ่งเกิดขึ้นในคริสตศตวรรษที่สิบเก้านี่เอง การมองผู้ที่ทำงานค้นคว้าเกี่ยวกับธรรมชาติ เช่นกาลิเลโอ ว่าเป็น "นักวิทยาศาสตร์" จึงเป็นการตีความทางประวัติศาสตร์เสมอ นอกจากนี้ผู้ที่ศึกษาค้นคว้าเช่นนี้ ก็มิได้มองตนเองว่ากำลังทำอะไรที่เป็นการเปลี่ยนแปลงระบบดั้งเดิมอย่างถอนรากถอนโคน แต่กลับคิดว่าตนกำลังนำเอาแนวคิดดั้งเดิมของคนโบราณกลับมาอีกครั้งหนึ่ง หลังจากที่ได้ถูกลืมเลือนไปและถูกศาสนจักรและระบบของอริสโตเติลครอบงำ ยิ่งไปกว่านั้น ผู้ศึกษาธรรมชาติตามวิธีใหม่ (ซึ่งต่อไปนี้เราจะเรียกว่า "นักปรัชญาธรรมชาติ" เพื่อแสดงให้เห็นว่า นักวิชาการเหล่านี้ยังไม่ใช่ "นักวิทยาศาสตร์") ยังคงเชื่อมั่นต่อศาสนาคริสต์อย่างเคร่งครัด ไม่มีใครที่ท้าทายศาสนจักรอย่างตรงไปตรงมา ด้วยการบอกว่าพระเจ้าไม่มีอยู่จริง หรือว่าพระเจ้าเป็นหนึ่งเดียวกับธรรมชาติ ดังที่นักปรัชญาเช่น บารุค สปิโนซา ซึ่งก็มีชีวิตอยู่ในสมัยเดียวกันกับการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ ได้กล่าวไว้[28] แต่พยายามที่จะหาช่องทางที่จะประสานความเชื่อเรื่องพระเจ้า ให้เข้ากับระเบียบวิธีการหาความรู้แบบใหม่ที่นักปรัชญาธรรมชาติเหล่านี้กำลังเสนอ ในอีกทางหนึ่ง การ "ปฏิวัติ" เช่นว่านี้ ในความคิดของชาพิน ก็ไม่ใช่การก่อกำเนิดขึ้นของระบบความรู้ใหม่ที่เรียกกันว่า "วิทยาศาสตร์" ราวกับว่าไม่เคยมีระบบใดๆเหมือนกันหรือเทียบกันได้กับ "วิทยาศาสตร์" นี้เลย ในทางตรงข้าม สิ่งที่นักปรัชญาธรรมชาติเหล่านี้เน้นหนักก็คือว่า การศึกษาของพวกเขาเป็นการสานต่อกิจกรรมที่มีผู้ริเริ่มไว้ก่อนแล้วในยุคโบราณ ซึ่งมีแนวคิดต่างๆหลากหลายมากกว่าเพียงแค่ของอริสโตเติลที่เป็นกระแสหลักอยู่ในขณะนั้นเท่านั้น นักปรัชญาธรรมชาติมักจะพูดอยู่เสมอๆว่า กิจกรรมของเขาเป็นการ "นำเอาคนโบราณ" กลับมาใหม่ ระบบความรู้ที่จะพัฒนาเป็นวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ที่เรารู้จักกัน

---

[27] Steven Shapin, *The Scientific Revolution* (Chicago: University of Chicago Press, 1996), หน้า ๑-๔.

[28] ดู Baruch Spinoza, *Ethics* ใน .Baruch Spinoza, *The Collected Works of Spinoza,* ed. and trans. Edwin Curley (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1985).

ถูกมองและถูกเข้าใจโดยนักปรัชญาธรรมชาติว่า เป็นระบบ “ดั้งเดิม” ที่ถูกลืมเลือนไป มากกว่าเป็นการเสนอของใหม่โดยสิ้นเชิง ซึ่งมักจะเป็นความหมายที่เกิดขึ้นควบคู่กับการใช้คำว่า ‘ปฏิวัติ’

อย่างไรก็ตาม เหตุผลที่ชาพินเสนอว่า เรายังคงใช้คำว่า ‘การปฏิวัติวิทยาศาสตร์’ อยู่ในการเรียกกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ ก็คือว่า นอกจากเป็นถ้อยคำที่ใช้กันโดยแพร่หลายแล้ว การเรียกเช่นนี้ก็ยังมีความหมายพิเศษอยู่ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงโลกไปโดยสิ้นเชิง แม้ว่าเราจะพบสายใยที่เชื่อมโยงระบบการหาความรู้ที่เกิดขึ้นในยุคนี้กับบางส่วนของยุคโบราณก็ตาม

กล่าวโดยสรุป การปฏิวัติวิทยาศาสตร์เป็นกระบวนการทางประวัติศาสตร์ที่ก่อให้เกิดระบบการหาความรู้ที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่า เป็นวิชาวิทยาศาสตร์ แต่การพูดเช่นนี้เราต้องรู้ว่าเป็นการสรุปความอย่างรวบรัดมากเพื่อให้เข้าใจในภาพระดับกว้างที่สุดเท่านั้น เพราะเมื่อเราพิจารณาเรื่องนี้ในรายละเอียด เราจะพบว่า วิชา “วิทยาศาสตร์” ที่เกิดขึ้นนั้น มีกระแสผูกพันอยู่กับความเชื่อในคริสตศาสนา และแนวคิดเดิมของคนโบราณอยู่อย่างแน่นแฟ้น อย่างน้อยก็ในกระแสสำนึกของเหล่านักปรัชญาธรรมชาติ เช่นเคปเลอร์และนิวตัน ที่ยังคงสนใจศาสตร์ที่ปัจจุบันไม่ได้ถือว่า เป็นส่วนหนึ่งของวิทยาศาสตร์อีกต่อไป เช่นโหราศาสตร์ ในกรณีของเคปเลอร์ และการเล่นแร่แปรธาตุในกรณีของนิวตัน

ในหัวข้อต่อไป เราจะพิจารณาผลงานและวิธีการศึกษาของนักปรัชญาธรรมชาติที่สำคัญแต่ละท่าน เพื่อดูว่าเบื้องหลังกิจกรรมทางวิชาการของท่านเหล่านี้ เราจะพบว่ามีอะไรร่วมกันบ้างและเนื้อหาของการปฏิวัติวิทยาศาสตร์นั้นมีอะไรบ้าง

ตัวละครสำคัญในการปฏิวัติวิทยาศาสตร์

โคเปอร์นิคัส

เป็นที่ทราบกันดีว่า นิโคลัส โคเปอร์นิคัสคือผู้ที่เสนอว่า โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์แทนที่ดวงอาทิตย์จะโคจรรอบโลก ตำราประวัติวิทยาศาสตร์ทั่วไปมักเสนอว่า โคเปอร์นิคัสเป็นผู้เริ่มการปฏิวัติวิทยาศาสตร์[29] และเป็นผู้ที่ทำลายแบบจำลองของโลกตามทฤษฎีของอริสโตเติลและทอเลมีซึ่งเป็นทรรศนะกระแสหลักในขณะนั้น อย่างไรก็ตาม หลักฐานทางประวัติศาสตร์ระบุชัดเจนว่า โคเปอร์นิคัสไม่ได้ยืนยันว่า การที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นความจริง หากเขาเพียงเสนอว่า ถ้าใช้แบบจำลองที่ให้ดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางของจักรวาล แทนที่จะเป็นโลกเช่นที่เคยทำมา การคำนวณตำแหน่งของดาวเคราะห์ต่าง ๆจะทำได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้โคเปอร์นิคัสยังเสนอว่าดาวเคราะห์ต่าง ๆโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงกลม ซึ่งเราทราบมาตั้งแต่สมัยของเคปเลอร์แล้วว่าไม่

---

[29] คนหนึ่งคือ H. Floris Cohen โปรดดู H. Floris Cohen, *The Scientific Revolution: A Historiographical Inquiry* (Chicago: University of Chicago Press, 1994), หน้า ๒๖๘-๒๗๑.

เป็นเช่นนั้น ในหนังสือเรื่อง *De Revolutionibus* ซึ่งตีพิมพ์เมื่อปีค.ศ. ๑๕๔๓ โคเปอร์นิคัสเสนอแนวคิดอันสำคัญนี้นั้น เขากล่าวไว้ว่า จุดประสงค์หลักในการเขียนหนังสือเล่มนี้ ก็เพื่อเสนอวิธีการในการคำนวณตำแหน่งดาวเคราะห์ที่เรียบง่ายมากกว่าระบบเดิมของทอเลมีที่ใช้กันอยู่ในสมัยนั้น[30]

จักรวาลตามแบบของทอเลมีนั้น มีลักษณะเป็นทรงกลม หรือที่เรียกว่า spheres ซ้อนกันอยู่หลายชั้น ซึ่งถ้าจะเปรียบเทียบก็เหมือนกับเอาขวดโหลแก้วใสทรงกลมหลายๆใบมาใส่ซ้อนกัน ศูนย์กลางของระบบทรงกลมซ้อนๆกันนี้ได้แก่โลก ซึ่งมีลักษณะทึบเนื่องจากประกอบด้วยธาตุหนักทั้งสี่ ได้แก่ดิน น้ำ ลมกับไฟ ส่วนทรงกลมที่อยู่ซ้อนจากโลกขึ้นไปนั้น เป็นที่อยู่ของเทหวัตถุฟากฟ้าต่างๆ ตั้งแต่ดวงจันทร์เป็นต้นไป โดยทรงกลมที่อยู่ชิดโลกที่สุด เป็นที่อยู่ของดวงจันทร์ ถัดจากนั้นก็เป็นของดาวพุธ ดาวศุกร์ ดวงอาทิตย์ ดาวอังคาร ดาวพฤหัส และดาวเสาร์ตามลำดับ ส่วนทรงกลมสุดท้ายที่อยู่ถัดจากดาวเสาร์ออกไปนั้น เป็นทรงกลมของดาวฤกษ์ต่างๆ ซึ่งแบ่งออกได้เป็นสิบสองจักรราศี ตามการเดินทางของดวงอาทิตย์ในรอบหนึ่งปี ธาตุที่ประกอบขึ้นเป็นเทหวัตถุฟากฟ้าไม่ใช่ธาตุในโลกทั้งสี่ธาตุที่ได้กล่าวถึงไปแล้ว แต่เป็นธาตุที่ห้า หรือ quintessence ซึ่งเป็นธาตุพิเศษที่ไม่เสื่อมสลายหรือกลายสภาพ และมีคุณสมบัติคือโคจรเป็นวงกลม เพราะเป็นการเคลื่อนไหวที่สมบูรณ์ที่สุดในบรรดารูปทรงการเคลื่อนไหวทั้งหลาย

ทรงกลมในระบบของทอเลมีนี้ ไม่ใช่ภาพสมมติที่เขียนแทนวงโคจรของดาวเคราะห์แบบที่เรามักเข้าใจในการเรียนดาราศาสตร์ในปัจจุบัน แต่เป็นทรงกลมที่มีอยู่จริงๆ โดยเทหวัตถุฟากฟ้าจะติดอยู่ที่ทรงกลมของตนเองอย่างถาวร ดังนั้นการโคจรของเทหวัตถุฟากฟ้า จึงไม่ใช่การโคจรของตัววัตถุลอยๆแต่เพียงอย่างเดียว แต่เป็นการหมุนของทรงกลมที่มีเทหวัตถุนั้นๆติดอยู่ ข้อเสนอประการหนึ่งของโคเปอร์นิคัส (ซึ่งเขาไม่ใช่คนแรกที่เสนอเช่นนี้)[31] ได้แก่ข้อเสนอว่า เทหวัตถุฟากฟ้าไม่ได้ติดอยู่กับทรงกลม จริงๆแล้วไม่มีทรงกลมอยู่ และเทหวัตถุฟากฟ้าโคจรไปด้วยตนเอง ไม่ได้เคลื่อนไปกับทรงกลม สิ่งที่โคเปอร์นิคัสเสนอก็คือว่า เมื่อพบว่าดาวเคราะห์ทั้งหลายต่างก็มีการโคจรถอยหลัง หรือที่ภาษาโหรไทยเรียกว่า ‘พักร’ การพักรนี้ก่อให้เกิดปัญหาขึ้นในระบบของทอเลมี คือถ้าการโคจรของเทหวัตถุฟากฟ้าเป็นการหมุนไปของทรงกลมจริงๆแล้ว การพักรจะเกิดขึ้นได้อย่างไร นักดาราศาสตร์ในระบบทอเลมีพยายามแก้ปัญหานี้โดยการเสนอว่า เทหวัตถุไม่ได้ติดอยู่กับทรงกลมเพียงอันเดียว แต่ติดอยู่กับทรงกลมเล็กๆที่ติดอยู่กับทรงกลมใหญ่อีก

---

[30] ดู Thomas S. Kuhn, *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1957) หน้า ๑๓๔-๑๓๙ อันที่จริงโคเปอร์นิคัสเสนอแนวคิดใหม่ของเขาเพียงเพื่อแก้ปัญหาในการคำนวณวงโคจรของดาวเคราะห์ ซึ่งเขาเชื่อว่าไม่สามารถทำได้ภายใต้ระบบของทอเลมี ไม่มีหลักฐานว่า โคเปอร์นิคัสมุ่งจะเสนอว่า ‘จริงๆแล้ว’ โลกหมุนรอบดวงอาทิตย์แต่อย่างใด

[31] โรเบิร์ต เทมเพิลรายงานว่า โพรคลุส (Proclus) ซึ่งเป็นนักคณิตศาสตร์และนักดาราศาสตร์ชาวกรีกที่มีชีวิตอยู่ในราวคริสตวรรษที่ห้า ก็มีความคิดว่าเทหวัตถุฟากฟ้าโคจรไปด้วยตนเอง และไม่ได้ติดอยู่กับทรงกลมใส ตามที่นักดาราศาสตร์ในสมัยนั้นเชื่อกัน ดู Robert Temple, *The Sirius Mystery* (Rochester, VT: Destiny Books, 1998), หน้า ๓๓๖ เป็นต้นไป

ชั้นหนึ่ง และในกรณีที่การมีทรงกลมเล็กยังแก้ปัญหาไม่ได้ ก็เสนอว่ามีทรงกลมเล็กกว่าซ้อนลงไปบนทรงกลมเล็กอีกชั้นหนึ่ง จะเห็นได้ว่า การแก้ปัญหาในระบบของทอเลมีดูจะเป็นการพยายามรักษาทฤษฎีไว้ในขณะที่ข้อมูลปรากฏไปอีกอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้การคำนวณการโคจรของดาวเคราะห์ยุ่งยากซับซ้อนเกินไป ข้อเสนอหลักของโคเปอร์นิคัสก็อยู่ที่ตรงนี้ คือเขาเสนอว่าแทนที่จะให้โลกเป็นศูนย์กลางของจักรวาล ลองคิดว่าถ้าให้ดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางแทน จะแก้ปัญหาเรื่องพักรนี้ได้บ้างหรือไม่ ก็ปรากฏว่าการคำนวณตำแหน่งของดาวเคราะห์ทำได้ง่ายกว่าในระบบเดิมมากในระยะแรก และการพักรก็อธิบายได้อย่างตรงไปตรงมา ด้วยการถือว่าดาวเคราะห์ทั้งหลาย รวมทั้งโลกด้วย ซึ่งในระบบใหม่นี้ถือเป็นดาวเคราะห์อีกดวงหนึ่ง ต่างก็เคลื่อนที่ด้วยกันทั้งสิ้น แต่เร็วหรือช้าต่างกัน ดังนั้นการพักรจึงไม่ใช่สิ่งที่เกิดขึ้นจริง แต่เป็นเพียงภาพที่คนบนโลกสังเกตเห็นได้ จากการเหลื่อมกันของการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ไปรอบๆดวงอาทิตย์ (เหตุผลอีกประการหนึ่งก็คือ ไม่เคยมีการสังเกตเห็นเลยว่า ดวงอาทิตย์มีการพักร เพราะถ้าดวงอาทิตย์ติดอยู่บนทรงกลมของตนเองที่หมุนรอบโลก ก็น่าจะพักรบ้างเช่นเดียวกับดาวเคราะห์อื่นๆ แต่การสังเกตพบว่าดวงอาทิตย์ไม่เคยพักรเลย) อย่างไรก็ตาม โทมัส คูนอ้างว่า แม้ระบบของโคเปอร์นิคัสจะอธิบายการพักรได้ด้วยแบบจำลองที่มีตัวแปรน้อยกว่า แต่เมื่อต้องทำนายวงโคจรกันจริงๆแล้ว สองระบบนี้มิได้ต่างกันมากมายดังที่ฝ่ายสนับสนุนโคเปอร์นิคัสกล่าวอ้าง[32]

การที่โคเปอร์นิคัสเขียนไว้ว่า ข้อเสนอของเขาเป็นเพียงข้อเสนอเท่านั้น ไม่ได้เป็นการยืนยันความเป็นจริงของจักรวาล ทำให้เขารอดพ้นจากการถูกลงโทษโดยศาสนจักรในข้อหาเปลี่ยนแปลงคำสอนไปได้ นอกจากนี้โทมัส คูนยังพบว่า ในด้านพลังการทำนายตำแหน่งดาวเคราะห์แล้ว ระบบของทอเลมีกับของโคเปอร์นิคัสไม่ต่างกันเลย และแม้เมื่อดูเผินๆจะพบว่าระบบของโคเปอร์นิคัสง่ายกว่า ซับซ้อนน้อยกว่า แต่เนื่องจากในระบบของโคเปอร์นิคัสดาวเคราะห์ต่างๆก็ยังโคจรเป็นวงกลมอยู่ ทำให้ระบบนี้ก็ยังต้องใช้วงโคจรย่อยๆ หรือทรงกลมเล็กๆและระบบอันยุ่งยากเช่นเดียวกับของทอเลมี และสาเหตุนี้เองที่เขาไม่น่าจะได้รับยกย่องให้เป็นบิดาของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ หรือเป็นผู้ริเริ่มการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ ซึ่งน่าจะเป็นกาลิเลโอมากกว่า[33] อย่างไรก็ตาม ข้อเสนอของเขาก็ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนานใหญ่ในการมองโลกและมองตนเองของมนุษย์ (หรืออย่างน้อยก็คนที่มีการศึกษาในยุโรปในสมัยนั้น) กล่าวคือ การย้ายโลกจากการเป็นศูนย์กลางของจักรวาล มาเป็นเพียงดาวเคราะห์ดวงหนึ่งนั้น มีส่วนทำให้ผู้คนเปลี่ยนความคิดว่ามนุษย์ไม่ใช่ศูนย์กลางของจักรวาลอีกต่อไป แต่เป็นเพียงเศษเสี้ยวหนึ่งของจักรวาลเท่านั้น และการที่โลกโคจรไปรอบดวงอาทิตย์นั้น ก็เปิดโอกาสให้มีความเป็นไปได้ที่จะมีโลกอื่นๆ ที่มีมนุษย์อยู่เช่นกันในจักรวาล ในมุมมองของเราที่มองย้อนกลับไปในประวัติศาสตร์ เราพบว่า แม้โคเปอร์นิคัส

---

[32] ดู Thomas S. Kuhn, *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought,* หน้า ๑๖๘-๑๖๙.

[33] Thomas S. Kuhn, *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought,* หน้า ๑๖๘-๑๖๙.

จะไม่ใช่ผู้ริเริ่มวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ แต่ก็เป็นผู้จุดประกายความคิดให้แก่นักปรัชญาธรรมชาติรุ่นหลัง โดยเฉพาะกาลิเลโอ ซึ่งยืนยันว่าข้อเสนอของโคเปอร์นิคัสเป็นความจริง ไม่ใช่เพียงแค่แบบจำลองของธรรมชาติเท่านั้น

ไทโค บราฮ์

ไทโค บราฮ์เป็นบุคคลสำคัญอีกคนหนึ่งในประวัติของดาราศาสตร์ และก็มีเป็นตัวละครหลักอีกคนของการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ แม้ว่าเขาจะเป็นศัตรูกับระบบของโคเปอร์นิคัส คือไม่ยอมรับว่า โลกเป็นศูนย์กลางของจักรวาล แต่บทบาทของบราฮ์ก็คือ เขาเป็นผู้สังเกตปรากฏการณ์บนท้องฟ้าอย่างละเอียด และได้บันทึกข้อมูลที่ถูกต้องและแม่นยำไว้เป็นจำนวนมาก ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้ใช้ประโยชน์ในการพัฒนาดาราศาสตร์ต่อมา การสังเกตตำแหน่งของดวงดาวของบราฮ์นั้นมีหลักฐานว่าแม่นยำอยู่ในบริเวณถึง ๑ ลิบดา เมื่อเปรียบกับการสังเกตในปัจจุบันที่ใช้กล้องโทรทรรศน์กำลังขยายสูง[34] ซึ่งนับเป็นเรื่องมหัศจรรย์อย่างยิ่งในการสังเกตด้วยตาเปล่า เช่นในผลงานของโยฮันเนส เคปเลอร์ นอกจากนี้เขายังได้บันทึกการสังเกตเห็นดาวระเบิดใหญ่ หรือที่เรียกว่าซูเปอร์โนวา (supernova) ในกลุ่มดาวค้างคาว (Cassiopeia) ไว้ได้ในปี ค.ศ. ๑๕๗๒ ดาวระเบิดใหญ่นี้เกิดขึ้นและสุกใสมากไม่แพ้ดาวศุกร์ และอยู่บนท้องฟ้านานสิบแปดเดือน โดยอ่อนแสงลงมองไม่เห็นในปี ค.ศ. ๑๕๗๔[35] เหตุการณ์ครั้งนี้นับเป็นจุดหักเหอีกจุดหนึ่งของการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ เนื่องจากความเชื่อดั้งเดิมในระบบอริสโตเติลนั้น อยู่ที่การถือว่าเทหวัตถุฟากฟ้ามีลักษณะสมบูรณ์ไม่เปลี่ยนแปลง แต่สิ่งที่บราฮ์สังเกตเห็นคือ เขาเห็นดาวดวงใหม่ซึ่งสุกใสมาก เกิดขึ้นมาบนท้องฟ้า ณ ตำแหน่งที่เขามั่นใจว่าไม่มีดาวอยู่มาก่อน มีเรื่องเล่าว่า คืนวันหนึ่ง ไทโคเดินไปบนถนนกับคนรับใช้ ในระหว่างที่กำลังเดินเขาก็แหงนหน้าขึ้นสังเกตท้องฟ้า ดังที่เคยทำเป็นประจำ ทันใดนั้นเขาก็ต้องตะลึงงัน เมื่อพบว่าบนท้องฟ้า มีดาวดวงใหม่ที่เขาไม่เคยเห็นมาก่อน เขาสงสัยมากว่า สิ่งที่เขาเห็นนั้น เขาตาฝาดไปเห็นเองคนเดียว หรือว่าเป็นเช่นนั้นจริงๆ เขาจึงหันไปถามคนรับใช้ ให้มองท้องฟ้า ณ ตำแหน่งที่เขาชี้ให้ดู และถามว่าเห็นดาวดวงใหญ่นี้หรือไม่ คนรับใช้ก็ตอบว่าเห็น ไทโคก็ยังไม่เชื่อสายตาตนเอง และก็ยังไม่ค่อยมั่นใจในคำตอบของคนใช้ ก็เลยไปถามคนรอบๆข้าง เมื่อได้รับการยืนยันเป็นที่พอใจแล้ว ไทโคจึงจดบันทึกไว้ว่า เขาได้พบเห็นการเกิดขึ้นของดาวดวงใหม่ ที่ยังไม่มีใครเคยสังเกตมาก่อน เนื่องจากไม่เคยมีการบันทึกไว้ และจากประสบการณ์อันกว้างขวางของเขา ทำให้เขาแน่ใจว่า บนท้องฟ้า ณ จุดนั้น ไม่เคยมีดาวมาก่อน

---

[34] Thomas S. Kuhn, *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought*, หน้า ๒๐๐-๒๐๑.

[35] Thomas S. Kuhn, *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought*, หน้า ๒๐๖.

อย่างแน่นอน การค้นพบครั้งนี้ถือได้ว่า เป็นอีกเหตุการณ์หนึ่งที่สั่นคลอนความเชื่อมั่นในระบบของอริสโตเติลอย่างรุนแรง เนื่องจากขัดแย้งกับหลักคำสอนของระบบนี้โดยตรง

เคปเลอร์

โยฮันเนส เคปเลอร์นับได้ว่าเป็นบุคคลสำคัญอย่างยิ่งอีกคนหนึ่งของการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ ระบบจักรวาลของเขานับได้ว่าเป็นระบบแรกที่ถือได้ว่าเป็นระบบสมัยใหม่โดยตรง โดยเขายกเลิกแนวคิดดั้งเดิมที่ว่า การโคจรของดาวฤกษ์และดาวเคราะห์เป็นวงกลมและเสนอว่า วงโคจรของเทหวัตถุฟากฟ้านั้นเป็นวงรี โดยมีดวงอาทิตย์เป็นจุดศูนย์กลางจุดหนึ่งของวงรีนั้น นอกจากนี้ยังพบว่า เนื้อที่ที่ดาวเคราะห์ที่โคจรไปกวาดไปบนพื้นที่ที่เกิดจากการลากเส้นจากดาวเคราะห์ไปยังดวงอาทิตย์ที่เป็นจุดศูนย์กลางจุดหนึ่งนั้น จะเท่ากันเสมอในเวลาเท่ากัน ซึ่งหมายความว่าเมื่อดาวเคราะห์โคจรเข้ามาใกล้ดวงอาทิตย์ ก็จะโคจรเร็วมากขึ้น เคปเลอร์ค้นพบกฎอันมีชื่อเสียงของเขาจากการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลที่ไทโค บราฮ์ได้บันทึกไว้อย่างละเอียด และพยายามหาแบบจำลองที่จะอธิบายข้อมูลเหล่านี้อย่างหนักเป็นเวลากว่าสิบปี และในที่สุดเขาก็พบว่าการกำหนดให้วงโคจรเป็นวงกลมไม่สามารถทำนายตำแหน่งของดาวเคราะห์ได้อย่างแม่นยำถูกต้องตามที่ปรากฏในบันทักของบราฮ์ได้เลย แม้จะเพิ่มวงกลมปลีกย่อยหรือจะปรับปรุงระบบเป็นอย่างใดก็ตาม ระบบของทอเลมีกับโคเปอร์นิคัสอาจใช้ได้กับข้อมูลที่ไม่ละเอียดจนเกินไป ซึ่งก็ใช้ได้ดีสำหรับการคำนวณวันอีสเตอร์ หรือการทำปฏิทิน แต่ข้อมูลอันละเอียดลออของบราฮ์

ระบบของเคปเลอร์ทำให้หมดความจำเป็นที่จะต้องมีวงกลมย่อยๆ ซึ่งทำให้ระบบนี้เป็นระบบเรียกได้ว่าตรงกับความเป็นจริง เพราะสอดคล้องกับข้อมูลทั้งหมดที่สังเกตได้ ปัญหาในการหาแบบจำลองเพื่อคำนวณตำแหน่งของดาวเคราะห์ก็จบลง นอกจากนี้ เคปเลอร์ยังเป็นคนที่เชื่อมั่นในความสัมพันธ์ของแบบแผนทางคณิตศาสตร์กับโลกธรรมชาติ ซึ่งเป็นแนวคิดที่เขาได้รับอิทธิพลมาจากสำนักนีโอเพลโตนิสม์ หรือลัทธิเพลโตใหม่ ที่ถือว่าธรรมชาติเป็นการแสดงตัวออกของระเบียบแบบแผนทางคณิตศาสตร์ ความคิดที่น่าทึ่งของเขาก็คือว่า เขาเชื่อว่าระยะห่างของดาวเคราะห์แต่ละดวงในระบบสุรยะ ตรงกับรูปทรงทางเรขาคณิตที่นำมาวางเรียงซ้อนๆกัน รูปทรงเหล่านี้มีรูป cube, tetrahedron, dodecahedron, icosahedron และ รูป octahedron และเนื่องจากในทางเรขาคณิตมีรูปประเภทนี้ (คือรูปทรงสามมิติที่มีด้านทุกด้านเหมือนกัน และแต่ละด้านเป็นรูปทรงที่ประกอบด้วยด้านเท่ากัน) เพียงห้ารูปเท่านั้น[36] ดังนั้นเคปเลอร์จึงเชื่อว่าดาวเคราะห์มีได้เพียงหกเท่านั้น เพราะเมื่อเอารูปเหล่านี้มาซ้อนกัน ทรงกลมที่เป็นวงโคจรของดาวเคราะห์ก็อยู่ระหว่างรูปทรงเหล่านี้ เรามองเห็นว่า แนวคิดนี้ของเคปเลอร์แปลกประหลาด และในปัจจุบันเรารู้ว่ามีดาวเคราะห์ในระบบสุริยะมากกว่าหกดวง แต่ประเด็นหลักในที่นี้ไม่ได้อยู่ที่ความจริงความเท็จของความคิดนี้ แต่อยู่ที่ว่าเคปเลอร์เป็นตัวแทนของความพยายามที่จะใช้ความ

---

[36] Steven Shapin, *The Scientific Revolution,* หน้า ๕๙-๖๑.

รู้ทางคณิตศาสตร์ เข้ามาแก้ปัญหาและเรียนรู้เกี่ยวกับธรรมชาติ ซึ่งเป็นเงื่อนไขจำเป็นต่อการพัฒนาของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่

กาลิเลโอ

ในช่วงสิบปีแรกของคริสตศตวรรษที่สิบเจ็ด เมื่อกาลิเลโอส่องกล้องโทรทรรศน์ ซึ่งในสมัยนั้นเป็นของประดิษฐ์ใหม่ เพื่อสังเกตดวงอาทิตย์ เขาพบว่าบนดวงอาทิตย์มีจุดดำๆอยู่ประปราย และจุดเหล่านี้ก็เคลื่อนไหวไปมาได้บนพื้นผิวของดวงอาทิตย์ เขาก็พบว่าความรู้ที่รับกันมาจากตำราของอริสโตเติล นั้นไม่ตรงกับความเป็นจริงที่สังเกตเห็นได้ อริสโตเติลสอนว่า ดวงอาทิตย์ก็เป็นเช่นเดียวกับเทหวัตถุฟากฟ้าทั้งหลาย กล่าวคือมีสภาพเป็นสมบูรณ์ และไร้มลทินใดๆ แนวคิดแบบอริสโตเติลที่ยอมรับโดยศาสนจักรคาทอลิกในสมัยของกาลิเลโอนั้น ถือว่ามีกฎเกณฑ์สองชุดที่ใช้ควบคุมปรากฏการณ์สองประเภท กฎเกณฑ์ชุดแรกใช้กับโลกที่อยู่ “ใต้ดวงจันทร์” ลงมา ซึ่งเป็นเรื่องของการเกิดขึ้น การแตกสลาย และการเปลี่ยนแปลง ส่วนกฎเกณฑ์อีกชุดหนึ่งนั้น ใช้กับ “สรวงสวรรค์” ซึ่งอยู่เหนือดวงจันทร์ขึ้นไป ซึ่งเป็นกฎที่เที่ยงแท้ถาวร เนื่องจากเทหวัตถุบนสวรรค์นั้น มีความสมบูรณ์แบบไม่เปลี่ยนแปลงเป็นนิรันดร์ แต่การค้นพบจุดดำบนดวงอาทิตย์ของกาลิเลโอได้สั่นคลอนความเชื่อดั้งเดิมนี้ เช่นเดียวกับการค้นพบดาวระเบิดใหญ่ของไทโค บราฮ์เมื่อหลายสิบปีก่อนหน้า

การใช้กล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอ ทำให้เกิดการค้นพบใหม่ๆมากมาย ซึ่งแต่ละอย่างก็ขัดแย้งกับความเชื่อดั้งเดิมของนักวิชาการในสมัยนั้นอย่างรุนแรง กาลิเลโอประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ของตนเองขึ้นใช้ หลังจากทราบว่า ช่างฝนเลนส์ชาวดัทช์ค้นพบวิธีทำกล้องส่องทางไกลโดยใช้เลนส์นูนสองอัน แต่แทนที่กาลิเลโอจะใช้กล้องส่องสิ่งต่างบนพื้นโลก เขากลับเอากล้องนี้ส่องขึ้นไปบนสวรรค์ ซึ่งก็ทำให้เขามองเห็นดวงดาวใหม่ๆ ที่ไม่เคยมองเห็นมาก่อนด้วยตาเปล่า เขาพบว่าทางช้างเผือกที่เคยคิดกันว่าเป็นเมฆขาวๆ ที่ล่องลอยอยู่ในบริเวณระหว่างโลกกับดวงจันทร์นั้น แท้จริงเป็นกลุ่มดาวขนาดมหาศาล กาลิเลโอพบว่า ทางช้างเผือกประกอบด้วยดวงดาวขนาดเล็กๆเต็มไปหมด นอกจากการค้นพบจุดบนดวงอาทิตย์แล้ว กาลิเลโอก็ยังพบว่าบนดวงจันทร์มีหลุมบ่อมากมาย ซึ่งก็ขัดแย้งกับคำสอนของอริสโตเติลที่บอกว่า เทหวัตถุฟากฟ้าสะอาดหมดจด เขายังค้นพบหลักฐานหลายประการที่สนับสนุนสมมติฐานของโคเปอร์นิคัส อย่างไรก็ตาม หลักฐานชิ้นสำคัญที่สนับสนุนสมมติฐานของโคเปอร์นิคัสโดยตรงก็คือ การสังเกตเห็นดวงจันทร์ของดาวพฤหัส กาลิเลโอเห็นว่า ที่บริเวณรอบๆดาวพฤหัสมีดาวเคราะห์เล็กๆอยู่สี่ดวง และแต่ละดวงก็เปลี่ยนที่ไปมา ซึ่งอธิบายได้ดีที่สุดด้วยการตั้งสมมติฐานว่า ดาวเคราะห์เล็กๆทั้งสี่นั้นเป็น ‘ดวงจันทร์’ ของดาวพฤหัสซึ่งกำลังโคจรรอบดาวดวงนี้อยู่ ถ้าเป็นเช่นนี้จริงก็หมายความว่า แบบจำลองของโคเปอร์นิคัสไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะดวงอาทิตย์ที่เป็นศูนย์กลางเท่านั้น แต่ยังเกิดขึ้นกับดาวเคราะห์อื่นๆได้ ซึ่งก็หมายความว่า เมื่อระบบการโคจรแบบนี้เกิดขึ้นกับดาวพฤหัส ก็น่าจะเป็นรูปแบบทั่วๆไปในจักรวาล

อย่างไรก็ตาม หลักฐานที่ดูจะหนักแน่นที่สุดในการสนับสนุนสมมติฐานของโคเปอร์นิคัส ก็คือ การสังเกตเห็นข้างขึ้นข้างแรมของดาวศุกร์ ตามระบบของทอเลมี เมื่อโลกเป็นศูนย์กลางของจักรวาล และดาวศุกร์โคจรอยู่ใกล้โลกมากกว่าดวงอาทิตย์ เราจะไม่เห็นดาวศุกร์มากไปกว่าเสี้ยวเล็กๆเสี้ยวหนึ่ง เพราะเมื่อดาวศุกร์อยู่ตรงกับดวงอาทิตย์ จะทำให้มองไม่เห็นจากโลก แต่การสังเกตของกาลิเลโอพบว่า ดาวศุกร์มีข้างขึ้นข้างแรมและสามารถสังเกตเห็นเป็นเต็มดวงได้ ซึ่งจะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ระหว่างโลกกับดาวศุกร์เท่านั้น ซึ่งเป็นไปไม่ได้ในระบบของทอเลมี ยิ่งไปกว่านั้น กาลิเลโอยังพบว่าเมื่อดาวศุกร์เดินทางเป็นข้างแรม คือเดินทางเข้ามาอยู่ระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ ขนาดของดาวศุกร์ที่สังเกตได้จะใหญ่ขึ้น ซึ่งก็อธิบายได้โดยการถือว่าดาวศุกร์โคจรรอบดวงอาทิตย์ ซึ่งเมื่อดาวศุกร์เคลื่อนมาอยู่ระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ ก็จะเข้าใกล้โลกมากขึ้น ทำให้สังเกตให้ดาวศุกร์เห็นมีขนาดใหญ่ขึ้น

บทบาทของกาลิเลโอต่อการพัฒนาดาราศาสตร์ก็อยู่ที่การใช้กล้องโทรทรรศน์สังเกตเทหวัตถุฟากฟ้าอย่างเป็นระบบ แต่กาลิเลโอก็ยังมีบทบาทอื่นๆอีกหลายประการในการพัฒนาวิทยาศาสตร์แขนงอื่น หลักของการใช้คณิตศาสตร์เข้ามาบรรยายความเป็นไปของธรรมชาติ กล่าวได้ว่าเริ่มขึ้นอย่างจริงจังในงานของกาลิเลโอ และด้วยเหตุนี้ หากเราจะหาตัวบุคคลที่จะได้ตำแหน่ง ‘บิดาของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่’ ตำแหน่งนี้ก็ควรเป็นของกาลิเลโอ เพราะได้วางรากฐานของวิทยาศาสตร์กายภาพไว้ จนเรียกได้ว่า แนวคิดพื้นฐานของวิทยาศาสตร์กายภาพเริ่มมาจากกาลิเลโอเป็นหลัก (เหตุที่ต้องบอกว่า กาลิเลโอวางรากฐานเฉพาะวิทยาศาสตร์กายภาพเท่านั้น ก็เพราะว่าเขาไม่ได้ให้อะไรใหม่แก่การศึกษาวิทยาศาสตร์ชีวภาพเลย วิทยาศาสตร์แขนงนี้มีวิลเลียม ฮาร์วีย์ โรเบิร์ต ฮุค กับอันทอน ลีเวนฮุค เป็นตัวละครสำคัญในยุคการก่อตัวของวิทยาศาสตร์ แต่เนื่องจากหนังสือเล่มนี้มีเนื้อที่จำกัด จึงพูดรายละเอียดเฉพาะวิทยาศาสตร์กายภาพเท่านั้น) การสังเกตลูกตุ้มแกว่ง กับการทดลองปล่อยลูกหินลงบนทางลาด ทำให้เขาสามารถคิดค้นสูตรของการเคลื่อนที่ที่นักเรียนฟิสิกส์ทุกคนรู้จักได้ การมีสูตรที่บรรยายลักษณะของปรากฏการณ์ธรรมชาติ หมายความว่า มนุษย์สามารถเข้าใจการทำงานของธรรมชาติ และสามารถทำนายปรากฏการณ์ได้อย่างแม่นยำ ในยุคของกาลิเลโอมีการถกเถียงกันว่า คณิตศาสตร์มีบทบาทมากเพียงใดในการศึกษาธรรมชาติ การเสนอว่า การเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นไปตามสูตรคณิตศาสตร์หมายความว่าโครงสร้างของธรรมชาติเป็นไปตามหลักของคณิตศาสตร์ แต่เมื่อสังเกตเข้าจริงๆก็พบว่า การเคลื่อนที่ที่สังเกตได้ส่วนใหญ่หรือเกือบทั้งหมด ไม่เป็นไปตามที่คำนวณไว้ แต่นั่นแสดงว่าสูตรคณิตศาสตร์ใช้กับการเคลื่อนที่ ‘ในอุดมคติ’ เท่านั้น และเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริง ก็มีตัวแปรอื่นๆมาที่ต้องพิจารณาในการคำนวณ อย่างไรก็ตาม การใช้หลักการคณิตศาสตร์มาอธิบายธรรมชาติ ก็เป็นก้าวอันสำคัญยิ่งของการก่อตัวของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่

โรเบิร์ต บอยล์ ทอริเชลลี่ และปาสคาล

นักประวัติวิทยาศาสตร์รู้จักบอยล์ในฐานะเป็นผู้ประดิษฐ์เครื่องสูบน้ำ และเครื่องสูบอากาศ ซึ่งต่อมาเป็นต้นเหตุในเกิดความรู้เกี่ยวกับความดันของก๊าซ กฎของบอยล์เป็นที่รู้จักกันดี ได้แก่การเปลี่ยนแปลงของความดันของก๊าซจำนวนหนึ่ง ในภาชนะปิดที่อุณหภูมิคงที่ จะเป็นปฏิภาคผกผัน (อย่างหนึ่งมากขึ้น อีกอย่างต้องน้อยลง) กับปริมาตรของก๊าซนั้น ในการทดลองครั้งหนึ่งในราวปี ค.ศ. ๑๖๖๐ บอยล์ได้นำเอาเครื่อสูบน้ำที่เขาคิดค้นได้ ซึ่งใช้หลักการของสุญญากาศ มาสูบน้ำขึ้นไปจากชั้นล่างขึ้นไปยังตึกชั้นบน ผลก็คือไม่ว่าจะพยายามอย่างไร น้ำก็ถูกสูบขึ้นไปเพียงประมาณ ๓๓ ฟุตเท่านั้น ในระบบดั้งเดิมเชื่อกันว่า สุญญากาศไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เพราะ “ธรรมชาติเกลียดสุญญากาศ” และจะเข้าไปแทนที่สุญญากาศทุกๆที่ที่เกิดขึ้น แต่การที่น้ำถูกสูบขึ้นไปได้เพียงสามสิบกว่าฟุต ย่อมแสดงว่าส่วนที่น้ำขึ้นไปไม่ถึงต้องเป็นสุญญากาศ อันที่จริงนักวิชาการในระบบของอริสโตเติลก็เถียงกันว่า ส่วนที่น้ำขึ้นไปไม่ถึงนี้เป็นสุญญากาศจริงหรือไม่ หรือว่าทุกๆส่วนของธรรมชาติมีสารอย่างหนึ่งอยู่เสมอ คือ plenum[37] อย่างไรก็ตาม การอธิบายว่าเหตุใดน้ำจึงถูกสูบขึ้นไปได้เพียงสามสิบสามฟุตนี้ก็ให้ว่า เป็นเพราะน้ำมี “ความเกลียด” สุญญากาศอยู่เท่านี้ นอกจากนี้ เมื่อนำเอาปรอทมาใส่หลอดคว่ำลงในอ่างปรอท จะพบว่าปรอทขึ้นไปในหลอดได้เพียงระยะหนึ่ง ซึ่งน้อยกว่าน้ำมาก คำอธิบายก็คือ ปรอท “เกลียด” สุญญากาศน้อยกว่าน้ำ จุดสำคัญของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่จุดหนึ่งอยู่ที่ การพิสูจน์ว่าน้ำหรือปรอท หรือสสารใดๆก็ตามไม่มีความสามารถในการ “เกลียด” หรือ “ชอบ” อะไรได้ ดังนั้นการที่หินตกลงถึงพื้นเร็วกว่าขนนก ก็ไม่ใช่เพราะว่าหิน “ชอบ” พื้นดินมากกว่า แต่เป็นเพราะว่ามีปัจจัยทางกายภาพบางอย่างมาช่วยให้ขนนกไม่ตกถึงพื้นเร็วเท่าๆกันก้อนหิน การคิดว่าสิ่งของในธรรมชาติมีความเกลียดหรือความชอบเป็นลักษณะของแนวคิดแบบอันตวิทยา ซึ่งเป็นความคิดหลักของอริสโตเติล

ดังนั้น การอธิบายสภาพที่น้ำถูกสูบขึ้นไปได้เพียงสามสิบกว่าฟุตนี้ จึงน่าจะมีหลักการทางกายภาพและกลไกที่อธิบายได้ โดยไม่ต้องพึ่งความเกลียดหรือความชอบของน้ำที่จะเข้าไปแทนที่สุญญากาศ ซึ่งเป็นหลักการทางอันตวิทยาของอริสโตเติล สมมติฐานก็คือว่า น้ำหนักของน้ำที่ขึ้นไปแทนที่สุญญากาศในท่อนั้น เท่ากับน้ำหนักของอากาศที่กดลงมายังอ่างน้ำข้างล่าง อันที่จริงสมมติฐานนี้ขัดแย้งกับอริสโตเติลอย่างรุนแรง เพราะอริสโตเติลถือว่า อากาศเป็นธาตุที่มีธรรมชาติลอยขึ้น ดังนั้นย่อมเป็นไปไม่ได้ที่จะมีน้ำหนัก นักปรัชญาธรรมชาติชาวอิตาเลียน ได้แก่ทอริเชลลี่ได้ทำการทดลองเรื่องนี้กับปรอท เนื่องจากปรอทมีน้ำหนักมากกว่าน้ำประมาณสิบสามถึงสิบสี่เท่า ดังนั้นความสูงของปรอทที่จะเข้าไปแทนที่สุญญากาศ ก็ต้องน้อยกว่าของน้ำเท่ากันด้วย ทอริเชลลี่เอาปรอทใส่ลงในในหลอดแก้วที่ปลายข้างหนึ่งปิดจนเต็ม แล้วก็คว่ำหลอดนี้ลงในอ่างที่มีปรอทบรรจุอยู่ ปรากฏว่าปรอทในหลอดไหลออกมา เหลือไว้ในหลอดแก้วมีความสูงประมาณ ๒๗ นิ้ว นอกจากนี้ทอริเชลลี่ยังพบว่า ไม่ว่าเขาจะเอียงหลอดปรอทอย่างไร ความสูงของปรอทก็ยังคงเดิม ซึ่งแสดงว่าบริเวณที่ปรอทขึ้นไปไม่ถึงในหลอดนั้น ต้องไม่มีอะไรเลย หรือมีสุญญากาศอยู่ เพราะว่าถ้ามีอะไรอยู่ เมื่อเอียงหลอดให้ทำมุมหนึ่งกับพื้น ที่ไม่ใช่มุมฉาก ปรอทจะเพิ่มเข้าไปในหลอดได้

---

37 Steven Shapin, *The Scientific Revolution,* หน้า ๓๘-๓๙.

อย่างไร การทดลองนี้ทำให้ทอริเชลลี่ประกาศว่า “เราอยู่ใต้พื้นมหาสมุทรของอากาศธาตุ ซึ่งจากประสบการณ์ที่สงสัยไม่ได้ เรารู้ว่าอากาศธาตุนั้นมีน้ำหนัก”[38] ทอริเชลลี่เรียกอุปกรณ์ของเขาชิ้นนี้ว่า ‘barometer’ ซึ่งเป็นคำมาจากภาษากรีกแปลว่า ‘มาตรวัดความหนัก’ นอกจากนี้ เมื่อปาสคาลได้ให้น้องเขยชื่อฟลอแรง เปริเอร์นำเอาบารอมิเตอร์ของทอริเชลลี่ขึ้นไปบนยอดเขาปุย เดอ โดมในกลางประเทศฝรั่งเศส โดยมีบารอมิเตอร์แบบเดียวกันอีกอันหนึ่งฝากไว้กับบาดหลวงคนหนึ่งที่เชิงเขา เพื่อเอาไว้เปรียบเทียบ เปริเอร์พบว่า บนยอดเขาปรอทลดระดับต่ำลงมาสามนิ้ว เมื่อเทียบกับบารอมิเตอร์ที่เชิงเขา การทดลองนี้ยิ่งสนับสนุนสมมติฐานเรื่อง ‘มหาสมุทรอากาศ’ ของทอริเชลลี่ และก็ทำให้ปาสคาล ซึ่งเป็นนักปรัชญาและเทววิทยาคนสำคัญคนหนึ่งในยุคนี้ หันมาเชื่อถือปรัชญาธรรมชาติ และแนวคิดว่าธรรมชาติทำงานอย่างเป็นกลไก

เดส์การ์ตส์

การเล่าเรื่องประวัติความเป็นมาของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่โดยทั่วไป มักจะละเลยไม่กล่าวถึงบทบาทของเรอเน เดส์การ์ตส์ นักปรัชญาและนักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ผู้ซึ่งมีบทบาทสำคัญที่สุดคนหนึ่งในการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ แม้ว่าเขาจะไม่ได้คิดค้นทฤษฎีหรือความรู้ใหม่ๆในทางฟิสิกส์หรือดาราศาสตร์ เช่นเดียวกับไทโค บราฮ์หรือโยฮันเนส เคปเลอร์ แต่สิ่งที่เดส์การ์ตส์มอบให้แก่พัฒนาการของวิทยาศาสตร์ อยู่ที่การเสนอวิธีคิดแบบที่ยอมรับกันต่อมาว่า เป็นวิธีคิดแบบวิทยาศาสตร์ เราจะพบว่าการโจมตีแนวคิดแบบวิทยาศาสตร์ในปัจจุบัน แท้จริงแล้วเป็นการโจมตีแนวคิดแบบของเดส์การ์ตส์นี่เอง เรามักได้ยินนักวิชาการสมัยนี้ (ซึ่งทั้งหมดเป็นนักวิชาการทางสังคมศาสตร์กับมนุษยศาสตร์) โจมตีความเป็นสมัยใหม่ ว่าตั้งอยู่บนพื้นฐานของแนวคิดแบบ‘แยกส่วน’ ซึ่งก็คือการคิดแก้ปัญหาที่เริ่มจากการวิเคราะห์ปัญหานั้นๆออกมาเป็นส่วนประกอบย่อยๆ แล้วก็หาทางแก้ส่วนย่อยเหล่านั้นไปที่ละส่วน และถ้ายังแก้ไม่ได้อีกก็แยกส่วนเหล่านั้นให้ย่อยออกไปอีก แนวคิดแบบนี้ก็สืบสาวได้มาจากข้อเสนอของเดส์การ์ตส์นี่เอง อย่างไรก็ตาม ในที่นี้เราจะไม่ลงไปอภิปรายหรือถกเถียงในประเด็นเกี่ยวกับความเหมาะสมหรือความชอบธรรมของแนวคิดแบบแยกส่วนนี้ แต่เราจะสนใจเพียงแค่บทบาทของเดส์การ์ตส์ต่อการปฏิวัติวิทยาศาสตร์เท่านั้นในที่นี้

แนวคิดแบบของเดส์การ์ตส์ปรากฏอยู่ในงานทางปรัชญาสองเล่ม ได้แก่ *Discourse on Method* กับ *Meditations* ซึ่งในทั้งสองเล่มนี้ เดส์การ์ตส์ได้เสนอวิธีการหาความจริง ซึ่งเป็นรากฐานของปรัชญาสมัยใหม่มาจนถึงปัจจุบัน วิธีการของเดส์การ์ตส์เริ่มจากการสงสัยทุกสิ่งทุกอย่างรอบตัว ซึ่งรวมทั้งการสงสัยสิ่งต่างๆที่เขาเคยเรียนมาในโรงเรียน สิ่งต่างๆที่เขาเคยเชื่อมั่นว่าเป็นจริง ตลอดจนทุกสิ่งทุกอย่างที่เขากำลังรับรู้อยู่ด้วยประสาทสัมผัสในขณะนี้ วิธีการเช่นนี้เป็นรู้จักกันในวิชาญาณวิทยา (ซึ่งเป็นแขนงหนึ่งของปรัชญาที่ศึกษาปัญหาเช่น “ความรู้คือ

---

[38] Steven Shapin, *The Scientific Revolution,* หน้า ๔๐.

อะไร” หรือ “มีวิธีการอะไรที่ทำให้ได้ความรู้มา” เป็นต้น) ว่า ‘วิธีสงสัยสากล’ เดส์การ์ตส์เสนอวิธีการนี้ขึ้นมาเพื่อสร้างรากฐานให้แก่ความรู้ใหม่ ซึ่งเป็นรากฐานที่ไม่ได้มาจากการยอมรับความรู้ที่มีมาแต่เดิม หรือที่มาจากวัฒนธรรมและประเพณี เดส์การ์ตส์ต้องการรากฐานที่สามารถมั่นใจได้อย่างสมบูรณ์ว่า สิ่งใดก็ตามที่วางอยู่บนรากฐานนี้แล้วต้องเป็นความจริง เพื่อการนี้เดส์การ์ตส์จึงสมมติว่า ทุกสิ่งทุกอย่างที่เขาเคยรับรู้มาอาจเป็นเท็จทั้งหมด เพราะว่าเขาไม่สามารถแน่ใจได้ว่าในขณะที่เขากำลังคิดถึงเรื่องนี้อยู่นั้น เขากำลังตื่นอยู่ หรือว่าเขากำลังฝันไป พูดอีกอย่างหนึ่งก็คือว่า เดส์การ์ตส์ต้องการหาวิธีพิสูจน์ได้อย่างชัดเจนแจ่มแจ้งจนปราศจากข้อสงสัยใดๆว่า ขณะนี้เขากำลังตื่นอยู่หรือกำลังฝันอยู่ ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า ทุกสิ่งทุกอย่างที่เขาคิดว่าเขาประสบอยู่ในชีวิตที่ตื่นอยู่นั้น เขาสามารถประสบได้แบบเดียวกันทุกประการในขณะที่เขากำลังฝันอยู่เช่นกัน (เราคงเคยมีประสบการณ์คล้ายๆกันว่า เราเคยฝันถึงเหตุการณ์อะไรบางอย่างซึ่งดูจะเป็นจริงมาก) ประเด็นของเดส์การ์ตส์ก็คือ ในเมื่อเราไม่สามารถพิสูจน์ได้อย่างสมบูรณ์ว่า เมื่อเรากำลังรับรู้โลกด้วยประสาทสัมผัสอยู่ เรากำลังตื่นอยู่หรือฝันอยู่ เราก็ย่อมแน่ใจไม่ได้ว่าสิ่งต่างๆที่เรากำลังรับรู้อยู่ในแต่ละขณะ (เช่นในขณะนี้ผมกำลังเขียนหนังสือเล่มนี้อยู่หน้าจอคอมพิวเตอร์) เป็นความจริงเช่นนั้นจริงๆ เดส์การ์ตส์กำลังเสนอให้เราเชื่อว่า อาจเป็นไปได้ที่ทุกขณะที่เรากำลังคิดว่าเราตื่นอยู่นั้นแท้จริงเรากำลังฝันไป และจริงๆแล้วในกรณีของผม ไม่ได้มีคอมพิวเตอร์ที่ผมคิดว่า ผมกำลังจ้องมองจอของมันอยู่ จริงๆแล้วผมอาจจะล่องลอยอยู่ที่ไหนก็ได้

นอกจากนี้ เดส์การ์ตส์ยังมีตัวอย่างอีกว่า ประสบการณ์ที่เขารับรู้อยู่ในขณะนี้นั้น อาจเป็นผลมาจากการที่มีปีศาจมาหลอกหลอนเขา ให้เขาคิดไปว่าเขากำลังมีประสบการณ์เช่นนั้นๆอยู่ ในหนังสือเรื่อง Meditations เดส์การ์ตส์เล่าว่า เขากำลังนั่งอยู่ข้างเตาผิง และกำลังคิดและเขียนหนังสือเล่มนี้อยู่ และกำลังคิดว่าที่เขามองเห็นตนเองอยู่ในห้องทำงาน นั่งอยู่ข้างเตาผิง ได้รับความอบอุ่นจากไฟในเตานี้ เป็นเพียงผลของการหลอกลวงของปีศาจตนนี้หรือไม่ ตัวอย่างนี้ก็เป็นเช่นเดียวกับตัวอย่างเรื่องการฝันไป ประเด็นก็คือ เดส์การ์ตส์กำลังเข้าสู่กระบวนการของการสงสัยสากลด้วยจุดมุ่งหมายก็คือ เขาต้องการหารากฐานของความรู้ที่ไม่สามารถจะสงสัยได้เลย แม้ว่าจะมีปีศาจที่ทรงพลังอำนาจมาคอยหลอกหลอนเขาให้เขาเห็นสิ่งต่างๆ หรือรับรู้สิ่งต่างๆแม้ว่าสิ่งเหล่านั้นจะไม่มีอยู่จริงก็ตาม

หลังจากที่เดส์การ์ตส์สงสัยสิ่งรอบตัวเช่นนี้แล้ว เขาก็ค้นหาต่อไปว่า มีอะไรบ้างหรือไม่ที่เขาไม่อาจสงสัยได้เลย แม้ว่าจะมีปีศาจเช่นว่าก็ตาม เขาก็พบว่า สิ่งที่เขาไม่สามารถสงสัยได้เลย ก็คือการสงสัยของเขานั่นเอง นั่นคือความคิดของเขาได้ย้อนกลับมาคิดถึงกระบวนการความคิดนั้นเอง หลังจากที่ไปคิดเรื่องอื่นๆนอกความคิดนั้นมา การย้อนกลับเช่นนี้ทำให้เดส์การ์ตส์พบว่า เขาไม่สามารถสงสัยความสงสัยของเขาได้ ด้วยเหตุผลง่ายๆว่า ในขณะที่เขากำลังสงสัยอยู่นั้น เขารู้ตัวแน่นอนว่าเขากำลังสงสัยอยู่ ในขณะนี้เขาไม่ได้กำลังคิดถึงเรื่องอื่นใดอยู่เลย นอกจากการที่ตัวเขาเองกำลังทำอะไรบางอย่างอยู่ ซึ่งก็ได้แก่การสงสัยในสิ่งรอบตัว แต่ที่แน่ๆก็คือว่า เขากำลังสงสัยอยู่ และเดส์การ์ตส์เรียกกระบวนการนี้ว่าการคิด เดส์การ์ตส์สรุปว่า แม้ว่าเขาจะแน่ใจไม่ได้ว่าเขาไม่ได้กำลังฝันอยู่ หรือไม่มีปีศาจมาหลอกอยู่ก็ตาม แต่เขาก็แน่ใจว่าขณะนี้เขากำลังใช้ความคิดในการ

สงสัยอยู่ และจากจุดนี้เองที่เดส์การ์ตส์สรุปเอาประโยคอันมีชื่อเสียงของเขาที่ว่า “ฉันคิด ฉันจึงมีอยู่” ซึ่งเดส์การ์ตส์ถือเป็นจุดตั้งต้นของการหาความรู้ที่เที่ยงแท้แน่นอน โดยเขาเปรียบเทียบจุดนี้ว่าเหมือนกับจุดของอาร์คิมีดีสที่จะใช้คานงัดโลกขึ้นมา

ในแง่ของประวัติของวิทยาศาสตร์ ความพยายามในการหารากฐานที่แน่นอนของความรู้เช่นนี้ มีความสำคัญในแง่ที่ว่า เดส์การ์ตส์กำลังต่อสู้กับอำนาจของประเพณีและวัฒนธรรมในการกำหนดว่าอะไรเป็นหรือไม่เป็นความรู้ ยุโรปในสมัยก่อนหน้ามีทัศนคติที่ชัดเจนว่า อะไรเป็นความรู้ ซึ่งได้แก่การเปิดเผยของพระเจ้าและการประกาศของศาสนจักร รวมทั้งตำราของอริสโตเติลและกระบวนการอ้างเหตุผลตามหลักตรรกวิทยาของอริสโตเติล แต่การเสนอรากฐานความรู้ของเดส์การ์ตส์นี้ ทำให้ความรู้ไม่ขึ้นกับกระบวนการเช่นนี้ (ในช่วงเวลาของการสงสัยสากลนั้น เดส์การ์ตส์อ้างว่า แม้แต่ความรู้ทางตรรกวิทยาและคณิตศาสตร์ก็หนีไม่พ้นการหลอกลวงของปีศาจไปได้ คือปีศาจหลอกให้เดส์การ์ตส์เชื่อว่าสองบวกสองเท่ากับสี่ ทั้งๆที่จริงๆแล้วอาจไม่เป็นเช่นนี้ก็ได้) แต่ขึ้นกับ *ตัวบุคคล* ของผู้หาความรู้นั้นเอง ลักษณะเช่นนี้มีความสำคัญในแง่ที่ว่า ต่อจากนี้ไปบุคคลแต่ละคนไม่จำเป็นต้องพึ่งพาปัจจัยอื่นใดภายนอกตนเอง ในการหาความรู้ แต่สิ่งเดียวที่พึ่งพาได้ก็คือตัวของเขาเอง ความเชื่อเช่นนี้มีบทบาทสำคัญต่อพัฒนาการของแนวคิดแบบสมัยใหม่นิยม ซึ่งอ้างได้อย่างถูกต้องว่าสืบเนื่องมาจากแนวคิดของเดส์การ์ตส์นี้เอง

แนวคิดของเดส์การ์ตส์ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ การแบ่งแยกอย่างเด็ดขาดระหว่างสสารกับจิต เดส์การ์ตส์มีทรรศนะว่า การทำงานของโลกกายภาพนั้นเป็นไปอย่างเป็นกลไก ซึ่งสามารถอธิบายได้ทั้งหมดด้วยกระบวนการทางกายภาพเช่นเดียวกับเครื่องจักร และโลกกายภาพนี้ก็แบ่งแยกอย่างเด็ดขาดออกจากโลกของจิตผู้คิด เดส์การ์ตส์ได้แนวคิดเช่นนี้มาจากกระบวนการสงสัยสากลนี่เอง โดยเมื่อเขาได้ข้อสรุปว่าความคิดของเขาเองสงสัยไม่ได้แล้วนั้น เขาก็ได้ข้อสรุปอีกว่า ตัวความคิดของเขานี้ไม่มีทางเป็นอย่างเดียวกับสสารวัตถุไปได้ เนื่องจากอย่างแรกสงสัยไม่ได้ ส่วนอย่างหลังอาจเป็นความเท็จให้สงสัยได้เสมอ การแบ่งแยกเช่นนี้มีผลต่อแนวคิดแบบวิทยาศาสตร์อย่างมากตรงที่ เป็นจุดเริ่มต้นของการแสวงหาความเป็นภววิสัยในวิธีการหาความรู้แบบวิทยาศาสตร์ การแยกตัวตนหรือผู้คิดออกจากสิ่งที่คิดถึงนั้น เป็นเงื่อนไขสำคัญที่สุดของการที่วิทยาศาสตร์จะมีสภาพเป็นภววิสัยขึ้นมาได้ การเป็นภววิสัยหมายความว่า ความรู้ที่ได้มานั้นไม่ขึ้นกับสภาพต่างๆที่แปรปรวนไปได้ของจิตใจของผู้คิดหรือผู้ที่หาความรู้ ตัวอย่างเช่น การวัดความเย็นความร้อนของวัตถุ ถ้าวัดด้วยความรู้สึกร้อนเย็นที่ผิวหนัง ดังที่เราทำกันในสามัญสำนึก ก็จะไม่เป็นภววิสัย เพราะหนังบางคนอาจจะหนากว่าอีกคนหนึ่ง ทำให้การตัดสินว่าวัตถุร้อนหรือเย็นเพียงใดคลาดเคลื่อนไปตามแต่ละบุคคล แต่ถ้าวัดที่ความสามารถของวัตถุนั้นในการทำให้สารปรอทยืดตัวหรือหดตัว การวัดก็จะเป็นภววิสัย คือทุกคนต้องมีความเห็นลงรอยกันหมดในกรณีนี้ การแบ่งแยกระหว่างสสารที่ถูกคิด ถูกศึกษา กับจิตของผู้คิด ผู้ศึกษา จึงมีความสำคัญของพัฒนาการของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ในแง่นี้ และก็เป็นต้นเหตุของแนวคิดแบบแยกส่วนที่นักวิชาการมักโจมตีวิทยาศาสตร์สมัยใหม่อีกด้วย

นิวตัน

ถ้ากาลิเลโอถือได้ว่าเป็นบิดาของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ นิวตันก็เป็นผู้ที่นำพาการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ให้ขึ้นถึงจุดสุดยอด บทบาทสำคัญของนิวตันอยู่ที่การเสนอว่า ไม่ว่าจะเป็นที่ไหนในจักรวาลก็ตกอยู่ภายใต้กฎเกณฑ์เดียวกันทั้งสิ้น แนวคิดเช่นนี้เริ่มมีมาในงานของกาลิเลโอ แต่นิวตันเป็นผู้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนด้วยหลักการที่เป็นที่ยอมรับกันตลอดมา ว่าโลกกับส่วนอื่นๆของจักรวาลต่างก็เป็นเนื้อเดียวกัน ในแง่ของการอธิบายได้ด้วยหลักการเดียวกัน นิวตันยังเป็นผู้อธิบายการเคลื่อนที่เป็นวงรี ที่เคปเลอร์ได้ค้นพบ โดยเสนอว่า สาเหตุของการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์มาจากแรงสองแรง แรงแรกคือแรงหนีศูนย์กลาง ที่มาจากแนวโน้มของดาวเคราะห์ที่จะเคลื่อนที่ต่อไปเป็นเส้นตรง ส่วนอีกแรงได้แก่ แรงสู่ศูนย์กลาง ซึ่งดึงดูดดาวเคราะห์ที่โคจรอยู่ให้มุ่งเข้าหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ แรงสองแรง และกฎเกณฑ์เกี่ยวกับการเคลื่อนที่นี้ ไม่ได้ใช้เฉพาะการเคลื่อนที่ของเทหวัตถุฟากฟ้าเท่านั้น แต่ยังใช้ได้กับวัตถุใดๆทั้งหมด นิวตันเสนอว่า แรงของวัตถุได้แก่ผลคูณระหว่างมวลของวัตถุนั้นกับอัตราเร่งของวัตถุนั้น และที่สำคัญก็คือ ระหว่างวัตถุสองชิ้นใดๆ จะมีแรงดึงดูดระหว่างกัน โดยแรงนี้มีค่าเท่ากับผลคูณของมวลของวัตถุทั้งสอง หารด้วยกำลังสองของระยะทางระหว่างวัตถุทั้งสองนี้ และคูณด้วยค่าคงที่ G ซึ่งเป็นค่าเดียวกันทั้งหมด ไม่ว่าวัตถุที่ดึงดูดกันจะเป็นโลกกับดวงอาทิตย์ ดาวอังคารกับโลก หรือหนังสือที่ท่านอ่านอยู่นี้กับโลกด้วยแรงสองแรง และกฎง่ายๆเหล่านี้ นิวตันสามารถใช้หลักการทางคณิตศาสตร์อธิบายได้อย่างชัดเจนว่า เหตุใดดาวเคราะห์จึงต้องโคจรเป็นวงรี การคำนวณนี้ก็เป็นเนื้อหาให้นักเรียนวิชาฟิสิกส์เรียนกันอยู่จนถึงปัจจุบัน กล่าวได้ว่านิวตันเป็นผู้ทำให้จักรวาลทั้งหมดตกอยู่ภายใต้กฎเกณฑ์ง่ายๆเหล่านี้ชุดเดียวกันทั่วทั้งหมด

ผลประการหนึ่งของแนวคิดของนิวตันนี้ก็คือว่า วิชาฟิสิกส์กับดาราศาสตร์เริ่มหลอมรวมเป็นการศึกษาแบบเดียวกัน นอกจากนี้นิวตันยังเสนอแนวคิดเกี่ยวกับอวกาศและเวลา โดยอวกาศเป็นเหมือนสถานที่ที่ไม่มีอะไรอยู่ในนั้น แผ่ขยายไปถึงอนันต์ในทั้งสามทิศทาง และเวลาเป็นการล่วงไปอย่างสม่ำเสมอ ลักษณะสำคัญของเวลาและอวกาศในแนวคิดของนิวตันคือ สองอย่างนี้ไม่มีความสัมพันธ์ใดๆกับวัตถุอื่นๆ ถึงแม้ว่าจะไม่มีวัตถุอะไรอยู่ในจักรวาลเลย อวกาศกับเวลาก็ยังมีอยู่ แนวคิดนี้แตกต่างกับแนวคิดของนักปรัชญาอีกคนหนึ่ง คือก๊อตต์ฟริต ไลบ์นิซ ซึ่งถือว่า ไม่มีอวกาศและเวลาสัมบูรณ์ที่ไม่ขึ้นกับอะไร แต่อวกาศและเวลานั้นจะมีอยู่ได้ก็ต่อเมื่อพิจารณาควบคู่ไปกับวัตถุและเหตุการณ์ที่กำหนดระยะทาง และระยะเวลา การโต้แย้งกันระหว่างนิวตันกับไลบ์นิซไม่ได้มีแต่เพียงเรื่องนี้ แต่ที่เป็นที่รู้จักกันมากกว่าก็คือ การโต้แย้งกันว่า ใครเป็นผู้ค้นพบวิชาแคลคูลัสก่อน เรื่องนี้เป็นที่ถกเถียงกันอย่างรุนแรงและกว้างขวางในโลกวิชาการในคริสตศตวรรษที่สิบเจ็ด

ไลบ์นิซเองก็ยังวิพากษ์วิจารณ์แนวคิดเรื่องแรงโน้มถ่วงของนิวตันว่า นิวตันไม่จริงใจต่อหลักการของการถือว่าจักรวาลเป็นกลไก[39] เนื่องจากแรงโน้มถ่วงนี้ยังไม่มีคำอธิบายว่า เกิดขึ้นได้

---

39 Steven Shapin, *The Scientific Revolution,* หน้า ๖๓.

อย่างไร หรือเป็นไปได้อย่างไร เหตุใดวัตถุสองชิ้นจึงดึงดูดกันด้วยแรงเท่านั้นเท่านี้ด้วย นิวตันไม่สนใจที่จะค้นคว้าเพื่อตอบปัญหานี้ แต่เขาพอใจเพียงแค่หาหลักการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายการเคลื่อนที่และตำแหน่งของเทหวัตถุฟากฟ้าได้เท่านั้น มีคำกล่าวที่มีชื่อเสียงของนิวตันว่า “ข้าพเจ้าไม่สร้างสมมติฐาน” หมายความว่า นิวตันจะไม่เสียเวลาไปกับการคิดค้นที่ไม่มีหลักฐานรองรับ เช่นคิดหาสมมติฐานเกี่ยวกับสาเหตุของแรงโน้มถ่วง การพูดเช่นนี้ของนิวตันทำให้เขาถูกโจมตีว่า แอบลักลอบเอาแนวคิดของระบบคิดระบบเดิมที่เชื่อในเรื่องที่ไม่เป็นกลไก หรือเรื่องลึกลับมาใช้ในวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ อันที่จริงฝ่ายโจมตีนิวตันก็มีมูลพอสมควร เพราะการบอกเพียงว่าวัตถุสองชิ้นมีเพียงแรงดึงดูดระหว่างกัน โดยไม่สาธยายว่าเหตุใดจึงมีแรงเช่นนี้ ดูจะไม่ทำให้ความสงสัยในการทำงานของจักรวาลหายไปได้ ซึ่งก็แก้ความสงสัยใคร่รู้นั้น ก็เป็นภารกิจหนึ่งของวิทยาศาสตร์ตั้งแต่ต้น

แนวคิดพื้นฐานของการปฏิวัติวิทยาศาสตร์

การเปลี่ยนแปลงทางปัญญาของยุโรป ตั้งแต่ช่วงกลางคริสตศตวรรษที่สิบหก จนถึงปลายศตวรรษที่สิบเจ็ด เป็นการเปลี่ยนแปลงการมองโลกและการเข้าใจตนเองอย่างหน้ามือเป็นหลังมือ แต่ดังที่เราได้อภิปรายกันมาแล้ว ถ้าการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นการ ‘ปฏิวัติ’ ก็เป็นการปฏิวัติที่กินเวลายาวนานมากกว่าหนึ่งศตวรรษ ดังนั้นการ ‘ปฏิวัติ’ นี้จึงตรงกับความหมายดั้งเดิมของคำว่า ‘revolution’ ที่หมายถึงการหมุนไป หรือหมุนกลับ มากกว่าเป็นความหมายทางการเมืองที่รู้จักกันทั่วไป แต่ไม่ว่าจะอย่างไร การเปลี่ยนแปลงนี้ก็ได้เกิดขึ้น และพลิกโฉมหน้าของทวีปยุโรป จนทำให้อารยธรรมยุโรปก้าวหน้าทางวิทยาการมากกว่าอารยธรรมอื่นๆในช่วงสมัยเดียวกัน

เมื่อเรามองไปที่แนวคิดพื้นฐานของการปฏิวัติ เราอาจจะสรุปแนวคิดที่เกิดขึ้นในการปฏิวัติซึ่งเปลี่ยนแปลงไปจากระบบความคิดดั้งเดิมของอริสโตเติลได้ดังต่อไปนี้ กล่าวคือในประการแรก นักปรัชญาธรรมชาติสมัยใหม่ ตั้งแต่ไทโค บราฮ์และโยฮันเนส เคปเลอร์เป็นต้นมา เชื่อมั่นในพลังของมนุษย์ในการหาความรู้ความจริงด้วยตนเอง โดยไม่ต้องพึ่งตำราโบราณ กาลิเลโอเคยกล่าวไว้ว่าหน้าที่ของนักปรัชญาธรรมชาติอยู่ที่การอ่านและทำความเข้าใจ ‘หนังสือธรรมชาติ’ ระบบความคิดดั้งเดิมให้ความสำคัญแก่หนังสือที่รับตกทอดมาจากอดีต และมีความเชื่อว่าความรู้หรือความจริงนั้นอยู่ในตำรา มากกว่าอยู่ที่สายตาหรือประสาทสัมผัสอื่นๆของตนเอง การสังเกตท้องฟ้าอย่างละเอียดยิ่งของบราฮ์ การใช้กล้องโทรทรรศน์ส่องไปยังดวงดาวต่างๆของกาลิเลโอ รวมทั้งการคิดคำนวณหาหลักการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายธรรมชาติ ล้วนแล้วแต่เกิดจากความเชื่อพื้นฐานที่ว่าความรู้ที่แท้จริงไม่ได้อยู่ในตำราแต่เพียงอย่างเดียว แต่สิ่งที่พูดไว้ในตำราต้องได้รับการพิสูจน์ยืนยันว่าเป็นจริงตามนั้นหรือไม่

ในประการที่สอง ประสบการณ์ที่นักปรัชญาธรรมชาติพูดถึงนั้น ไม่จำเป็นต้องเป็นประสบการณ์ธรรมดาๆที่เรามีกันโดยทั่วไป แต่เป็นประสบการณ์เฉพาะที่ใช้การสังเกตและวัดปริมาณต่างๆอย่างถี่ถ้วน ดังนั้น ประสบการณ์ที่นักวิชาการสำนักอริสโตเติลมักอ้างถึง เช่นการ

พิสูจน์ว่าโลกไม่เคลื่อนที่โดยกระโดดอยู่กับที่ หรือการชี้ให้เห็นว่าควันไฟลอยขึ้น แต่น้ำไหลลง จึงไม่เหมือนกับประสบการณ์ที่นักปรัชญาธรรมชาติสมัยใหม่ใช้เป็นหลักในการศึกษาค้นคว้า ทั้งนี้ก็เพราะว่า ประสบการณ์แบบของอริสโตเติลนั้น เป็นเหมือนกับสามัญสำนึกที่คนทั่วไปมีกันอยู่แล้ว ไม่จำเป็นต้องมีการสังเกตและวัดปริมาณอย่างละเอียด แต่เมื่อทอริเชลลี่ทำการทดลองเพื่อยืนยันสมมติฐานของเขาเรื่องมหาสมุทรอากาศธาตุนั้น ทอริเชลลี่ไม่ได้เสนอให้คนฟังนึกถึง 'ประสบการณ์' ของตนเองเกี่ยวกับการทดลองนี้ แต่เขาทำการทดลอง คือจัดสภาพของสิ่งแวดล้อมที่เขาสามารถบังคับควบคุมได้ เพื่อพิสูจน์ยืนยันแนวคิดที่มีอยู่ก่อน หรือสมมติฐานว่าเป็นจริงหรือไม่อย่างไร รายงานของทอริเชลลี่ก็คือรายงานการจัดสภาพสิ่งแวดล้อมตัวเขา ว่าเขาได้ทำอะไรไป สังเกตเห็นอะไร วัดสิ่งที่สังเกตได้เท่าใด ได้ผลอย่างไร จะเห็นได้ว่า ประสบการณ์ที่ได้จากการทดลองแบบนี้ไม่ใช่อย่างเดียวกับประสบการณ์ของมนุษย์ทั่วไป แต่ที่จริงแล้ว มีมนุษย์น้อยคนมากในโลกที่จะมีประสบการณ์ตรงเกี่ยวกับสมมติฐานเรื่องความกดอากาศนี้ การควบคุมประสบการณ์นี้ก็เป็นลักษณะสำคัญอีกประการหนึ่งของการปฏิวัติวิทยาศาสตร์

หลักการที่สำคัญอีกประการหนึ่งของแนวความคิดใหม่ๆที่เกิดขึ้นในยุคนี้ ก็คือการเชื่อมั่นในพลังของคณิตศาสตร์ในการล่วงรู้ความลับของธรรมชาติ กาลิเลโอกล่าวไว้ว่า พระเจ้าพูดด้วยภาษาคณิตศาสตร์ ดังนั้นการล่วงรู้ผลงานของพระเจ้าก็ทำได้แต่โดยการใช้คณิตศาสตร์ หลักการของฟิสิกส์สมัยใหม่ที่บุกเบิกโดยกาลิเลโอกับนิวตัน คือการลดทอนวัตถุลงเป็นปริมาณ ไม่ว่าในเชิงขนาด น้ำหนัก หรือคุณสมบัติอื่นๆที่ชั่ง ตวง หรือวัดออกมาได้ กาลิเลโอเสนอว่า คุณสมบัติของวัตถุนั้นแบ่งได้เป็นสองประเภท[40] ซึ่งต่อมานักปรัชญาจอห์น ล็อคได้ให้รายละเอียด และตั้งชื่อว่าเป็นคุณสมบัติปฐมภูมิกับคุณสมบัติทุติยภูมิ คุณสมบัติอย่างแรกหมายถึงคุณสมบัติของวัตถุที่เป็นอยู่เอง ไม่ขึ้นกับประสาทสัมผัสของมนุษย์ ถึงแม้ว่าไม่มีมนุษย์หลงเหลืออยู่ในโลก คุณสมบัติเหล่านี้ก็ยังมีอยู่ เพราะเป็นลักษณะประจำตัวของวัตถุนั้นเอง เช่นมวล ขนาด รูปร่าง เป็นต้น ส่วนคุณสมบัติทุติยภูมินั้นเป็นคุณสมบัติที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างวัตถุกับผู้รับรู้ ซึ่งถ้าไม่มีผู้รับรู้ก็ย่อมไม่มีคุณสมบัติเหล่านี้ เช่น สี กลิ่น รส ของวัตถุเป็นต้น จะเห็นได้ว่าการทำให้จักรวาลพูดเป็นภาษาคณิตศาสตร์ จะต้องเกิดขึ้นควบคู่กับการแบ่งคุณสมบัติของวัตถุเป็นสองแบบเช่นนี้ เพราะการวัดปริมาณใดๆของวัตถุ จะทำได้โดยตรงก็แต่กับคุณสมบัติปฐมภูมิของวัตถุเท่านั้น เพราะการวัดคุณสมบัติทุติยภูมิ ซึ่งขึ้นอยู่กับการรับรู้ของแต่ละคนนั้น ไม่อาจให้ความเที่ยงตรงแม่นยำ เช่นเดียวกับการวัดคุณสมบัติปฐมภูมิได้ การวัดปริมาณต่างๆของสี ต้องรอจนกว่ามีอุปกรณ์จำแนกความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากหลังจากสมัยของกาลิเลโอและนิวตันหลายร้อยปี[41]

---

[40] กาลิเลโอพูดถึงความแตกต่างระหว่างคุณสมบัติทั้งสองนี้เป็นครั้งแรกในงานเรื่อง *Assayer* ตีพิมพ์ในปี ค.ศ. ๑๖๒๓ (Steven Shapin, *The Scientific Revolution,* หน้า ๕๒)

[41] แม้แต่การวัดความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก็ยังถือไม่ได้ว่าเป็นการวัดสีในฐานคุณสมบัติทุติยภูมิ เพราะคุณสมบัติทุติยภูมิเป็นสิ่งที่ประสาทสัมผัสรับรู้โดยตรง และเป็นเรื่องส่วนบุคคล ส่วนความถี่ของคลื่นนั้น น่าจะถือเป็นคุณสมบัติปฐมภูมิมากกว่า เพราะวัดได้โดยตรง ปัญหาว่าสีกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะเป็นสิ่งเดียวกันหรือไม่นั้น เป็นการถกเถียงกันในปรัชญา เพราะมีเรื่องของการตีความ

ดังนั้นจักรวาลของการปฏิวัติวิทยาศาสตร์จึงเป็นการแสดงตัวออกของปริมาณและความสัมพันธ์ในเชิงปริมาณ เหตุการณ์ต่างๆในจักรวาลก็สรุปออกมาได้เป็นกฎ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของวัตถุที่มาสัมพันธ์กัน เช่นมีกฎหนึ่งบอกว่าเมื่อวัตถุสองชิ้นชนกัน แรงที่เกิดขึ้นจะคำนวณได้ด้วยมวลของวัตถุกับความเร่งของวัตถุที่มาชนกันนั้น กฎเกณฑ์เช่นนี้บ่งบอกว่า วัตถุทั้งหลายทั้งปวงในธรรมชาติ ต่างก็เป็นตัวอย่างหนึ่งของกฎเกณฑ์ทางคณิตศาสตร์ทั้งสิ้น ในทางตรงกันข้าม เนื่องจากการวัดปริมาณคุณสมบัติทุติยภูมิทำไม่ได้ เพราะเป็นเรื่องส่วนบุคคล วิทยาศาสตร์ก็เลยข้ามคุณสมบัติเหล่านี้ไป และไปวัดปริมาณต่างๆของธรรมชาติที่ก่อให้เกิดคุณสมบัติเหล่านี้แทน[42]

ลักษณะสำคัญอีกประการหนึ่งของแนวคิดหลักของการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ ได้แก่การเชื่อว่าจักรวาลทำงานแบบเป็นกลไก เหมือนกับเป็นจักรกลใหญ่ หรือนาฬิกาใหญ่หนึ่งเรือน การเป็นจักรกลหมายความว่า เหตุการณ์ทุกอย่างในจักรวาลต้องมีสาเหตุที่เป็นสาเหตุกายภาพทั้งสิ้น จักรวาลแบบนี้ไม่มีที่อยู่ให้แก่สาเหตุสุดท้ายของอริสโตเติล การที่ลมพัดไม่ใช่เพราะมันอยากพัด หรือเพราะเป็น ‘ธรรมชาติ’ ของลมที่จะพัดไปสู่ที่ที่ลมจะเป็นตัวเองได้มากที่สุด แต่เป็นเพราะว่า มีสาเหตุทางกายภาพ ได้แก่ความกดอากาศต่างกันระหว่างที่สองที่ ลมก็จะพัดไปยังที่ที่ความกดต่ำกว่า นักปรัชญาธรรมชาติส่วนใหญ่ในยุคนี้เชื่อว่า เรอเน เดส์การ์ตส์ ซึ่งเป็นนักคณิตศาสตร์และนักปรัชญาที่สำคัญที่สุดคนหนึ่งของยุคนี้ ถือว่าการทำงานของร่างกายเองก็เป็นกลไก และมีการแบ่งแยกอย่างเด็ดขาดระหว่างส่วนที่เป็นร่างกายของมนุษย์ ซึ่งทำงานเป็นกลไกด้วยหลักการเดียวกับจักรวาลกายภาพ และส่วนที่เป็นความคิด จิตใจ ความรู้สึก ฯลฯ ซึ่งเป็นงานของจิตผู้คิดนั้นเป็นเรื่องของสารวัตถุพื้นฐานอีกอย่างหนึ่ง ซึ่งต่างจากวัตถุธรรมชาติโดยสิ้นเชิง นอกจากนี้เดส์การ์ตส์ยังถือว่า สัตว์เป็นเพียงกลไกที่เคลื่อนไหวเองได้เท่านั้น ไม่มีจิตหรือความรู้สึกนึกคิดใดๆที่เขาคิดเช่นนี้ก็เพราะ ระบบของเขาถือว่าจิตทำหน้าที่เป็นผู้คิด ดังนั้น เนื่องจากมนุษย์เท่านั้นที่คิดเป็น มนุษย์เท่านั้นจึงมีจิต และสัตว์จึงเป็นเพียงกลไก[43] อย่างไรก็ตาม กระบวนการของร่างกายมนุษย์ที่ไม่ขึ้นกับการคิด เดส์การ์ตส์จะถือว่าเป็นเรื่องของกลไกทั้งหมด เช่นการถูกไฟไหม้แล้วรีบชักมือออกโดยไม่ทันคิด เป็นต้น นอกจากนี้ ในด้านกระบวนการคิด ไลบ์นิซเสนอว่า ควรจคิดค้นหาวิธีที่จะแสดงความคิดทั้งหมดที่เป็นไปได้ออกมาในรูปของภาษาหรือระบบสัญลักษณ์ที่แม่นยำ

และการวิเคราะห์มโนทัศน์เข้ามาเกี่ยวข้อง สำหรับการถกเถียงทางปรัชญาในเรื่องนี้ โปรดดูโสรัจจ์ หงศ์ลดารมภ์ “ปัญหาปรัชญาเกี่ยวกับสี” *วารสารอักษรศาสตร์* ปีที่ ๒๔ ฉบับที่ ๑(มกราคม-มิถุนายน ๒๕๓๕): ๙๕-๑๐๖.

[42] โสรัจจ์ หงศ์ลดารมภ์, “ปัญหาปรัชญาเกี่ยวกับสี”

[43] อย่างไรก็ตาม แนวคิดเรื่องทวินิยมระหว่างจิตกับกายของเดส์การ์ตส์ก็มีปัญหาใหญ่ตรงที่จะอธิบายความสัมพันธ์ของสองอย่างนี้ได้อย่างไร เช่นเวลาจิตสั่งงานร่างกายให้ทำอะไรต่างๆ จะทำอย่างไร เดส์การ์ตส์แก้ปัญหานี้โดยการเสนอว่า ต่อมไพเนียลที่กึ่งกลางสมองเป็น ‘ที่อยู่ของจิต’ และเป็นที่ที่จิตสัมพันธ์กับร่างกาย แต่นี่ก็ขัดแย้งกับข้อเสนอของเดส์การ์ตส์เอง ปัญหาเรื่องจิตใจจะอยู่ตรงไหนในจักรวาลที่เป็นกลไก เป็นปัญหาที่ยืดเยื้อมาจนถึงปัจจุบันนี้

และแน่นอนตายตัว ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการตีความซึ่งรบกวนผู้คน และเป็นปัญหาหนักของการติดต่อสื่อสาร ไลบ์นิซเชื่อว่า ด้วยระบบสัญลักษณ์เช่นนี้ ปัญหายากๆทั้งหลายในปรัชญา หรือในจริยศาสตร์จะจบลง และกระบวนการคิดจะเป็นเพียงกระบวนการแบบกลไก ซึ่งรับประกันเสมอว่าจะให้ผลที่ถูกต้อง อาจกล่าวได้ว่า ความฝันนี้ของไลบ์นิซเป็นต้นเค้าของการพัฒนาคอมพิวเตอร์และการใช้ภาษาสัญลักษณ์ในตรรกวิทยา ซึ่งก็สะท้อนความเชื่อมั่นในระบบกลไกของจักรวาล และความสามารถของมนุษย์ในการเข้าถึงกลไกนั้น แลสามารถประดิษฐ์และนำมาใช้ประโยชน์ได้

หลักการประการสุดท้ายของการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ ได้แก่การเชื่อมั่นว่ากฎเกณฑ์หรือทฤษฎีในวิทยาศาสตร์ ต้องใช้ได้กับทุกๆส่วนของจักรวาล อันที่จริงถ้าเราพิเคราะห์ดูให้ดีๆจะพบว่าหลักการข้อนี้ไม่สามารถพิสูจน์หรือหาหลักฐานมายืนยันเต็มที่ไม่ได้ เพราะการทำเช่นนั้น ต้องเดินทางไปยังส่วนต่างๆของจักรวาล เพื่อทดสอบว่ากฎหรือทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ที่ได้คิดขึ้นใช้ได้หรือไม่ในส่วนต่างๆเหล่านั้น อย่าไรก็ดี การที่หลักการนี้พิสูจน์ไม่ได้ ก็มิได้ทำให้นักปรัชญาธรรมชาติ เช่นนิวตัน จะเลิกล้มความเชื่อมั่นในหลักการนี้ ตรงกันข้าม นิวตันกลับเชื่อมั่นว่าหลักการทางคณิตศาสตร์ของเขาเป็นหลักการของจักรวาลทั้งหมด แนวคิดเรื่องเวลาและอวกาศสัมบูรณ์ของนิวตันก็สนับสนุนแนวคิดที่ว่า จักรวาลเป็นเนื้อเดียวกันทั่วไปหมด การเชื่อในหลักการเช่นนี้ ทำให้นักดาราศาสตร์ปัจจุบันสามารถเชื่อได้ว่า การคำนวณว่ากาแล็คซี่อันไกลโพ้นนั้นกำลังเดินทางออกจากโลกด้วยความเร็วเท่าใดนั้นถูกต้อง ด้วยการสังเกตสีของกาแล็คซี่นั้นๆแล้วเทียบกับการคำนวณการเคลื่อนย้ายความถี่ หรือที่เรียกว่า Doppler effect ซึ่งถ้าเชื่อไม่ได้ว่า กาแล็คซี่แต่ละกาแล็คซี่ต้องมีกฎกับทฤษฎีชุดเดียวกัน การคำนวณเช่นนี้ก็ย่อมทำไม่ได้ แนวคิดนี้เข้ากันได้กับแนวคิดที่ว่า จักรวาลเป็นกลไก เพราะการเป็นกลไกหมายความว่า ทุกๆส่วนทำงานสัมพันธ์กันเป็นระบบที่อธิบายได้ ซึ่งก็ต้องแสดงว่า ทุกๆส่วนของกลไกตกอยู่ภายใต้กฎเกณฑ์เดียวกันนั่นเอง

สาเหตุของการปฏิวัติวิทยาศาสตร์

นักประวัติศาสตร์ได้พยายามวิเคราะห์และอธิบายการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ไว้หลากหลาย การหาสาเหตุของการปฏิวัติวิทยาศาสตร์เป็นเรื่องที่ยุ่งยากซับซ้อนมาก เพราะเรื่องนี้ไม่ใช่การหาสาเหตุของปรากฏการณ์ธรรมชาติ แต่เป็นการหาสาเหตุของกิจกรรมของสังคมมนุษย์ ซึ่งกินเวลาเป็นร้อยๆปี แต่อย่างไรก็ตาม เราก็พอจะสรุปสาเหตุหลักๆของการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ได้ดังนี้

สาเหตุประการแรก น่าจะมาจากสภาพที่ยุโรปในสมัยนั้นตกอยู่ในสภาพที่ชาพินเรียกว่า 'วิกฤติการณ์ถาวร' (permanent crisis) ตั้งแต่ปลายยุคกลางจนถึงคริสตศตวรรษที่สิบหก[44] ตลอดช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งกินเวลาหลายกว่าสองถึงสามร้อยปี เป็นช่วงเวลาที่ทวีปยุโรป เต็มไปด้วยสงครามและการเปลี่ยนแปลงอย่างขนานใหญ่ในทุกๆด้าน สงครามสามสิบปี ตั้งแต่ค.ศ. ๑๖๑๘ ถึง ๑๖๔๘ ระหว่างฝ่ายโปรเตสแตนท์กับคาธอลิคทำให้ยุโรปเกือบทั้งทวีปต้องร้อนระอุไปด้วยไฟ

---

[44] Steven Shapin, *The Scientific Revolution,* หน้า ๑๒๓.

สงครามเป็นเวลานาน ผลก็คือความแตกต่างทางความคิดที่คุกรุ่นมาตลอดช่วงเวลาก่อนหน้า ได้โอกาสที่จะขยายตัวออกมาเป็นการแตกแยกอย่างถาวร และแนวคิดต่างๆที่ขัดแย้งกับระบบดั้งเดิมก็ได้แรงผลักดันทางการเมืองเพื่อให้แนวคิดใหม่สามารถขจัดแนวคิดเก่าไปได้ ซึ่งทำให้แนวคิดใหม่ได้รับการสนับสนุนโดยตรงจากรัฐ ซึ่งทำไม่ได้ก่อนที่จะมีสงคราม[45] วิกฤติการณ์ถาวรดังกล่าวนี้รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงในด้านต่างๆ นับตั้งแต่การแตกสลายของระบบเจ้าที่ดินศักดินา การก่อตัวของรัฐชาติตั้งแต่คริสตศตวรรษที่สิบสามเป็นต้นมา[46] การค้นพบโลกใหม่ และการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจที่ตามมากับการค้นพบครั้งนี้ การประดิษฐ์แท่นพิมพ์และผลกระทบทางวัฒนธรรมที่เกิดขึ้นจากการประดิษฐ์ดังกล่าว[47] และการขัดแย้งทางศาสนาระหว่างคริสตศาสนานิกายคาธอลิคกับโปรเตสแตนท์ ซึ่งนำไปสู่การแตกแยกของคริสตจักร การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ โดยเฉพาะอย่างหลัง ทำให้ศูนย์กลางอำนาจทางความคิดและวัฒนธรรมของอารยธรรมยุโรป แตกกระจายตัวออกไป สันตปาปามีอำนาจน้อยลงทุกทีๆในการกำหนดว่า อะไรเป็นสิ่งที่ชาวยุโรปควรเชื่อ การขัดแย้งนี้นำไปสู่การกระจายตัวของศูนย์กลางอำนาจ ทำให้ยุโรปมีมากกว่าหนึ่งศูนย์ ด้วยผลตามมาคือว่า ใครที่ไม่พอใจระบบใด หรือลัทธิความเชื่อใดก็มีโอกาสย้ายไปหาที่ที่ต้อนรับตนเองได้ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ในโลกยุคกลางที่ทุกสิ่งทุกอย่างผูกขาดไว้กับศาสนจักร[48]

การแตกแยกของศูนย์กลางทางการเมือง รวมทั้งทางความเชื่อและวัฒนธรรมเช่นนี้ ทำให้ระบบของความรู้ที่เป็นหลักยึดให้แก่ระบบวัฒนธรรมระบบใดระบบหนึ่ง ไม่สามารถยึดโยงประชากรทั้งหมดเอาไว้ได้ ระบบอารยธรรมแห่งหนึ่งต้องมีชุดของความเชื่อร่วมกันชุดหนึ่ง ซึ่งสมาชิกของระบบนั้นยึดถืออยู่ด้วยกัน จึงจะทำให้ระบบอารยธรรมนั้นตั้งมั่นอยู่ได้ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากว่า การรวมตัวกันเป็นสังคม และการจัดระบบระเบียบของสังคมนั้น ต้องอาศัยการยอมรับและการมีความเชื่อร่วมกันดังกล่าว ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าความคิดต่างๆที่สมาชิกของสังคมหนึ่งๆมีร่วมกันนั้น เป็นตัวกำหนดความเป็นสังคมนั้น ในกรณีของยุโรปในช่วงการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ การเปลี่ยนแปลงทั้งหลายทั้งปวงที่เกิดขึ้น ต่างก็นำไปสู่การสั่นคลอนอย่างรุนแรงของระบบความคิดความเชื่อดั้งเดิม การแตกแยกของผู้คนทำให้ผู้คนเลิกเชื่อถือระบบที่เคยยึดถือมา และเนื่องจากระบบความเชื่อดั้งเดิมนี้มีศูนย์กลางของความเชื่ออยู่ที่ระบบของอภิปรัชญา ได้แก่ ความเชื่อเรื่องพระเจ้าและอำนาจของสันตปาปาในฐานะตัวแทนของพระเจ้าบนโลกมนุษย์ ได้ถูกสั่นคลอนไป แนวคิดใหม่ที่เกิดขึ้นแทนที่ ก็มิได้หาศูนย์กลางศูนย์ใหม่ที่เป็นแบบเดียวกัน แต่หันไปหาความเชื่อส่วนบุคคล และการตัดสินใจส่วนบุคคลแทน การเปลี่ยนแปลงนี้สะท้อนให้เห็นจากการที่โคเปอร์นิคัสเสนอว่า โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ ศูนย์กลางของอำนาจและความชอบธรรม

---

[45] Steven Shapin, *The Scientific Revolution,* หน้า ๑๒๔.

[46] ดู Benedict Anderson, *Imagined Communities,* Rev. Ed. (London: Verso, 1991) เกี่ยวกับการก่อตัวของรัฐชาติ

[47] Benedict Anderson, *Imagined Communities*, หน้า ๔๖.

[48] Steven Shapin, *The Scientific Revolution,* หน้า ๑๒๔.

ทั้งปวงในอารยธรรมเก่า มองได้ว่ามีสัญลักษณ์อยู่ที่โลกในฐานะศูนย์กลางของจักรวาล แต่การเปลี่ยนแปลงความเชื่อไปเป็นโลกเป็นเพียงดาวเคราะห์ดวงหนึ่ง ก็ทำให้การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นส่วนหนึ่งที่ชี้ให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงทางสังคม การเมือง วัฒนธรรม และเศรษฐกิจของยุโรปไปอย่างไม่มีหวนกลับมาอีกได้

ชาพินเสนอว่า ความรู้เกี่ยวกับธรรมชาติรอบตัวมีบทบาทสำคัญยิ่งต่อการมองตนเองของผู้คน สภาพสังคมที่เปลี่ยนไปทำให้ความคิดเกี่ยวกับว่า อะไรคือความรู้ที่ถูกต้องเปลี่ยนตามไปด้วย[49] แนวทางการหาความรู้แบบใหม่ ที่ปฏิเสธระบบความคิดความเชื่อดั้งเดิม จึงเป็นผลพวงจากการที่ผู้คนเริ่มละทิ้งระบบโลกเก่า และหันไปหาระบบที่กำหนดโลกใหม่ ปัจจัยภายนอกต่างๆที่เกิดขึ้นมากมายในช่วงเวลานี้ก็ยิ่งส่งเสริมให้การละทิ้งระบบเดิมเป็นสิ่งพึงปรารถนามากยิ่งขึ้น การค้นพบโลกใหม่ ที่เริ่มตั้งแต่คริสโตเฟอร์ โคลัมบัส และนักเดินเรือคนอื่นๆที่แย่งชิงกันแสวงหาความร่ำรวยจากการติดต่อค้าขายกับเอเชียและโลกใหม่ ได้เปิดโลกทัศน์ของชาวยุโรปให้กว้างขวางมากกว่าที่ตำราเล่มใดจะให้ได้ ผู้คนเริ่มเห็นประโยชน์อันใหญ่หลวงของระบบการหาความรู้แบบใหม่ ซึ่งเมื่อประกอบกับปัจจัยอื่นๆที่กล่าวมาข้างต้นก็ยิ่งทำให้วิทยาศาสตร์ของกาลิเลโอและนิวตัน ยิ่งฝังรากลึกลงไปในอารยธรรมยุโรปมากขึ้นทุกที

ยิ่งไปกว่านั้น การที่ระบบการหาความรู้แบบใหม่ ไม่ใช่ระบบของชนชั้นสูงในแง่ที่ว่าความรู้ต้องจำกัดอยู่กับพระหรือขุนนางเท่านั้น ดังที่เป็นมาในยุคกลาง แต่ระบบใหม่นี้เป็นระบบที่คนทุกคนสามารถหาความรู้ได้เท่าเทียมกัน ขอเพียงแต่มีความขยันตั้งใจที่จะใช้ความสามารถที่ตนเองให้ได้เต็มที่เท่านั้น ความรู้ตามระบบใหม่ไม่ใช่สมบัติผูกขาดเฉพาะแต่ชนชั้นสูงหรือผู้มีอำนาจทางวัฒนธรรมและการเมือง แต่เปิดกว้างสำหรับคนทุกคน เพราะว่าแนวคิดพื้นฐานก็คือหลักการในการรับรองความรู้อยู่ที่ประสบการณ์ส่วนบุคคลและเหตุผลของแต่ละบุคคลเป็นหลัก เมื่อเป็นเช่นนี้ระบบใหม่ก็ยิ่งได้รับการยอมรับจากผู้คนมากขึ้นเรื่องๆ จะเห็นได้ว่า การปฏิวัติวิทยาศาสตร์นี้เกิดขึ้นในระยะเวลาเดียวกันกับการก่อตัวและการที่ชนชั้นกลางในยุโรปเข้มแข็งขึ้นเรื่อยๆ ในระบบสังคมเดิม ชนชั้นกลางไม่มีบทบาทมากนัก เพราะระบบสังคมเป็นแบบปิด ความสัมพันธ์ทางเศรษฐกิจเป็นไปอย่างตายตัว การค้าและอุตสาหกรรมไม่ได้รับการสนับสนุนเท่ากับการเกษตร แต่ในโลกสมัยใหม่ ชนชั้นกลางมีบทบาทขึ้นเรื่อยๆ และลักษณะประจำของชนชั้นกลางก็คือ การมองตนเองว่าสามารถปรับปรุงตนเองให้ดีขึ้นได้เรื่อยๆ สถานะของตนเองไม่ได้ถูกจำกัดอยู่ด้วยปัจจัยทางความเชื่อหรือระบบคิดของสังคม แต่ทุกคนสามารถได้มาซึ่งชีวิตที่ดีขึ้นได้ด้วยน้ำพักน้ำแรงของตนเอง จึงไม่น่าแปลกใจว่าชนชั้นธุรกิจกับนักวิชาชีพจะเป็นชนชั้นกลาง และก็เป็นพลังผลักดันสำคัญของการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ การเปิดช่องทางให้ทุกๆคนสามารถปรับปรุงสภาพความเป็นอยู่ของตนเองได้นี้ ก็ยิ่งเสริมให้แนวคิดและระบบการหาความรู้แบบใหม่ได้รับการยอมรับมากขึ้น

ในหนังสือเรื่อง *The Scientific Revolution: A Historiographical Inquiry* ของฟลอริส โคเฮ็น ซึ่งเป็นหนังสือประวัติศาสตร์นิพนธ์เกี่ยวกับการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ที่เรียกได้ว่า ดีที่สุดใน

---

[49] Steven Shapin, *The Scientific Revolution,* หน้า ๑๒๕.

ขณะนี้ โคเฮ็นได้แบ่งการศึกษาของนักประวัติศาสตร์ที่อธิบายการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ออกเป็นสามพวกใหญ่ๆ ได้แก่ฝ่ายที่อธิบายเรื่องนี้จากปัจจัยภายใน ได้แก่แนวคิดเกี่ยวกับธรรมชาติของตะวันตกที่ได้พัฒนามาเป็นวิทยาศาสตร์ในสมัยใหม่ตอนต้น อีกฝ่ายหนึ่งมองไปที่ปัจจัยภายนอกที่ไม่ใช่วิทยาศาสตร์ ได้แก่ปัจจัยทางสังคม การเมือง เศรษฐกิจ (ซึ่งการศึกษาของชาพินก็อยู่ในพวกนี้) อีกฝ่ายหนึ่งมองไปที่อารยธรรมอื่นที่วิทยาศาสตร์สมัยใหม่ไม่ได้เกิดขึ้น เพื่อดูว่าเหตุใดวิทยาศาสตร์จึงไม่ได้เกิดขึ้นในอารยธรรมเหล่านั้น ทั้งนี้เพื่อทำความเข้าใจการเกิดขึ้นของวิทยาศาสตร์ในอารยธรรมยุโรปอีกทอดหนึ่ง[50] ความหลากหลายของคำอธิบายการปฏิวัติวิทยาศาสตร์แสดงให้เห็นถึงความซับซ้อนของเรื่องนี้ ซึ่งก็ยังเป็นประเด็นถกเถียงของนักประวัติศาสตร์อยู่ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากหนังสือเล่มนี้ไม่ได้มุ่งเสนอประวัติของวิทยาศาสตร์ตะวันตกทั้งเล่ม แต่ดูการก่อตัวของวิทยาศาสตร์ในการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ เพื่อจะหาบทเรียนบางอย่างที่อาจนำมาใช้ได้กับการเสนอแนวทางแก้ปัญหาวิทยาศาสตร์ในสังคมไทยของเรา เราจึงจะหยุดการเสนอเรื่องราวของการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ไว้เพียงเท่านี้ และในบทต่อๆไป เราจะมาดูว่า เราเรียนรู้อะไรจากการศึกษาการปฏิวัติวิทยาศาสตร์นี้ได้บ้าง เพื่อแก้ปัญหาของเราเองในปัจจุบัน

---

[50] H. Floris Cohen, *The Scientific Revolution: A Historical Inquiry* (Chicago: The University of Chicago Press, 1994), หน้า ๒๓๙-๔๘๘.