

วิทยาศาสตร์ของเวลา



หากเราถามใครสักคนให้อธิบายความหมายของคำว่า เวลา ว่า เวลาคืออะไร คำตอบที่ได้จะแตกต่างกัน ในสายตาของช่างทำนาฬิกา เวลาคือเสียงนาฬิกาเดิน นักฟิสิกส์อาจตอบว่าเวลาคือองค์ประกอบหนึ่งของจักรวาล นักชีววิทยามองว่าเวลาคือสิ่งที่กำหนดพฤติกรรมของสัตว์ และพืชให้คล้องจองกับธรรมชาติภายนอก นายธนาคารยุคนี้คิดว่าเวลา คือ NPL ส่วนนักจิตวิทยาอาจบอกเราเพียงว่าคนทุกคนรู้ว่าเวลาคืออะไร แต่สำหรับเด็กทารกอายุต่ำกว่าสองขวบ เขาจะไม่รู้จักเวลาเลย

อันที่จริงความคิดค่านึงของมนุษย์เกี่ยวกับธรรมชาติของเวลานั้น เกิดขึ้นมาเนิ่นนานแล้ว ชาวบาบิโลนเมื่อ 5,000 ปีก่อนนี้เริ่มรู้จักเวลาจากการเห็นเหตุการณ์ต่างๆ รอบตัว เปลี่ยนแปลง เช่น เห็นดาวเคราะห์บนท้องฟ้าเคลื่อนที่ เห็นฤดูกาลที่แตกต่างกัน เขาจึงแบ่งเวลาหนึ่งปีออกเป็น 12 เดือนจะแบ่งหนึ่งเดือนออกเป็น 30 วัน รวมทั้งหมด 360 วัน เพราะนักบวชชาวบาบิโลนยึดติดกับตัวเลข 360 ที่เท่ากับจำนวนองศารอบจุดศูนย์กลางของวงกลม แต่ในเวลาต่อมามนุษย์ก็ได้พบความจริงว่า การหมุนของโลกรอบดวงอาทิตย์ครบหนึ่งรอบต้องใช้เวลาถึง 365.25 วัน และดวงจันทร์โคจรรอบโลกหนึ่งรอบโดยใช้เวลา 29.5 วัน ในปี พ.ศ. 2125 สันตะปาปา Gregory ที่ 13 จึงได้ประกาศใช้ปฏิทินใหม่โดยกำหนดให้หนึ่งปีมี 365 วัน

ในส่วนของความพยายามที่จะวัดเวลาให้ได้ถูกต้องแม่นยำก็มีประวัติอันยาวนานเช่นกัน ชาวอียิปต์โบราณรู้จักทำนาฬิกาแดดโดยการสังเกตเงาของไม้ที่ปักอยู่กลางแจ้ง และเป็นชนชาติแรกที่ได้แบ่งเวลาหนึ่งวันออกเป็น 24 ชั่วโมง คนยุโรปในสมัยโบราณรู้จักทำนาฬิกาทรายและนาฬิกาน้ำ (ที่ทำงานโดยการจับเวลาที่น้ำไหลออกจากภาชนะจนหมด) แต่นาฬิกาเหล่านี้ทำงานได้ไม่เที่ยงตรง คือผิดพลาดได้มาก ต่อมาเทคโนโลยีการทำนาฬิกาได้พัฒนาขึ้นมา เมื่อกาลิเลโอซึ่งขณะนั้นเป็นนักศึกษาแพทย์ได้ใช้ชีพจรของเขาเป็นนาฬิกาจับเวลา ทำให้เขาพบว่าตะเกียงที่เขว่นห้อยยาวจากเพดานวิหารในเมืองปิซาประเทศอิตาลี เวลาแกว่งไปมาจะใช้เวลาในการแกว่งครบรอบเท่าเดิมเสมอไม่ว่ามันจะแกว่งมาหรือน้อยเพียงใด การค้นพบกฎนี้ได้ทำให้กาลิเลโอรู้สึกยินดีมากจนถึงกับเลิกเรียนแพทย์และหันมาเรียนฟิสิกส์แทนในปี พ.ศ. 2126



หลังจากที่ได้มีการค้นพบกฎของ pendulum โดยกาลิเลโอแล้ว 73 ปีต่อมา Christian Huygens จึงได้ประดิษฐ์นาฬิกาที่ใช้ล้อ ฟันเฟือง และลวดสปริงขึ้นทำงานวัดเวลา นาฬิกาของ Huygens ทรงประสิทธิภาพมากจนเป็นที่นิยมใช้กันนานถึง 250 ปี ทว่านักวิทยาศาสตร์ก็ยังไม่พอใจกับประสิทธิภาพการทำงานของนาฬิกาเครื่องกลนี้สัก เพราะถึงแม้ช่างนาฬิกาจะออกแบบเครื่องจักรกลให้มีคุณภาพดีเลิศสักปานใด เขาก็ไม่สามารถกำจัดแรงเสียดทานระหว่างชิ้นส่วนต่างๆ ของนาฬิกาได้ และนี่ก็คือเหตุผลหลักที่ทำให้นาฬิกาเดินได้ไม่เที่ยงอีกเช่นกัน แต่ถึงกระนั้นนาฬิกาเครื่องกลก็ทำงานผิดพลาดน้อยลง คือไม่เกิน 100 วินาที/วัน และเมื่อวันหนึ่งๆ มี 86,400 วินาที นั่นก็หมายความว่า ความผิดพลาดของนาฬิกาเครื่องกลเท่ากับ 0.1 เปอร์เซ็นต์

เมื่อถึงต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 นักวิทยาศาสตร์ได้พบว่า ผลึกควอตซ์จะสั่นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านและทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ คุณสมบัตินี้ได้ชี้ให้นักประดิษฐ์ในปัจจุบันสามารถผลิตนาฬิกาควอตซ์ ซึ่งบอกเวลาคคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2×10^{-11} วินาที ในหนึ่งวัน แต่ถึงแม้ผลึกควอตซ์จะทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงถึงขนาดนี้แล้วก็ตาม แต่ผลึกก็ยังทำงานอยู่ภายใต้แรงเครียดแรงเค้น และอุณหภูมิที่สามารถทำลายเสถียรภาพของผลึกได้อยู่แน่นอน ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์จึงหันมาสร้างนาฬิกาปรมาณูขึ้นมาแทน

นาฬิกาปรมาณูมีธรรมชาติของการทำงานเป็นจังหวะๆ โดยอาศัยแรงไฟฟ้าระหว่างนิวเคลียสของอะตอมกับอิเล็กตรอนที่โคจรรอบๆ เพราะเหตุว่านิวเคลียสของอะตอมทุกตัวจะไม่อยู่นิ่ง คือมันจะหมุนรอบตัวเองตลอดเวลาคล้ายลูกข่าง การหมุนเช่นนี้ทำให้มันมีคุณสมบัติแม่เหล็กคล้ายเข็มทิศ ลูกข่างเวลาหมุนบนพื้นจะสายไปรอบแนวโค้งของสนามโน้มถ่วงโลกชั้นใด นิวเคลียสเวลาหมุนก็จะสายไปรอบแนวของสนามแม่เหล็กอันเกิดจากอิเล็กตรอนที่โคจรรอบมันชั้นนั้น เมื่ออิทธิพลใดๆ ไม่ว่าจะเป็อนุกรมวิธาน สนามแม่เหล็กโลก หรือสนามโน้มถ่วงโลกไม่สามารถรบกวนการหมุนสายของนิวเคลียสได้ ดังนั้น การหมุนสายของมันจึงสม่ำเสมอ ทำให้นาฬิกาปรมาณูบอกเวลาได้อย่างเที่ยงตรงที่สุด อย่างไรก็ตาม นาฬิกาปรมาณูที่ใช้อะตอมต่างชนิดกันจะทำงานได้ถูกต้องแม่นยำไม่เท่ากัน และนักวิทยาศาสตร์ได้พบว่า นาฬิกาปรมาณูที่ใช้อะตอมของ rubidium, cesium และ hydrogen เป็นนาฬิกาปรมาณูที่ทำงานเที่ยงตรงที่สุด

นาฬิกาปรมาณูที่ใช้อะตอมของ cesium มีส่วนประกอบสำคัญคือ เตาส์สำหรับเผาธาตุ cesium ให้ร้อนจนเป็นไอ อะตอมของไอ cesium จะถูกบังคับให้พุ่งออกจากเตาเป็นลำ ผ่านสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มไม่สม่ำเสมอสนามแรก จากนั้นก็จะผ่านไปยังสนามแม่เหล็กอีกสนามหนึ่งที่มีคุณสมบัติตรงข้ามกับสนามแม่



เหล็กแรกทุกประการ สนามแม่เหล็กทั้งสองจะหักล้างอิทธิพลของกันและกัน และทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถโฟกัสลำอะตอมของ cesium ได้ดี

แต่หากในบริเวณระหว่างสนามแม่เหล็กทั้งสอง มีการส่งคลื่นวิทยุเข้ากระทบอะตอมของ cesium และถ้าความถี่ของคลื่นวิทยุเท่ากับความถี่ในการหมุนสายของนิวเคลียส cesium พอดี นิวเคลียสก็จะดูดซับพลังงานจากคลื่นวิทยุไป ทำให้มันมีพลังงานสูงขึ้นทำให้สถานะภาพของมันเปลี่ยนไป เมื่อเป็นเช่นนั้นสนามแม่เหล็กที่สอง ที่เคยมีอิทธิพลต่อมันก็ทำอะไรมันไม่ได้อีก คุณภาพการโฟกัสลำอะตอมจึงไม่เหมือนเดิมอีกต่อไป มีผลทำให้กระแส cesium ที่มากระทบเครื่องรับตก เหตุการณ์นี้จะเกิดเมื่อความถี่ของคลื่นวิทยุที่ส่งเข้ารอบวงลำอะตอมของ cesium มีค่าเท่ากับความถี่ในการหมุนสายของนิวเคลียสพอดี การรู้ความถี่ที่ละเอียดมากเช่นนี้ทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถสร้างนาฬิกาปรมาณูที่บอกเวลาผิดพลาดไม่เกิน 1 วินาที ในช่วงระยะเวลายาวนานถึง 3 หมื่นล้านปี

ความมหัศจรรย์ของนาฬิกาปรมาณูได้ทำให้วงการวิทยาศาสตร์ตัดสินใจยกเลิกการใช้คำจำกัดความเดิมของ 1 วินาทีเท่ากับเวลา $1/86,400$ ของหนึ่งวันที่โลกหมุนรอบตัวเอง ทั้งนี้เพราะโลกของเราหมุนช้าลงโดยเฉลี่ย 0.001 วินาทีในทุก 100 ปี ดังนั้นเวลา 1 วินาทีจึงต้องเปลี่ยนไปทุกปี โดยให้เปลี่ยนมาใช้คำจำกัดความใหม่กว่าเวลา 1 วินาที คือเวลาที่นิวเคลียสของ cesium ได้หมุนสายไปครบ 9,192,631,770 รอบ และระยะทาง 1 เมตร คือ ระยะทางที่แสงเดินทางได้ในเวลา $3.33564095 \times 10^{-9}$ วินาที เป็นต้น

ไม่เพียงแต่ทางเทคโนโลยีการวัดเวลาเท่านั้นที่ได้รับการพัฒนา แม้แต่ความหมายและความเข้าใจของคำว่าเวลาก็ถูกปรับเปลี่ยนไปเช่นกัน ในปี พ.ศ. 2448 อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein) ได้สร้างทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษขึ้นมา ทฤษฎีนี้ได้เปลี่ยนความคิดของมนุษย์เกี่ยวกับเวลาอย่างสิ้นเชิง โดยทฤษฎีนี้มีสมมติฐานสองข้อ ข้อแรกคือหลักสัมพัทธภาพที่ว่า ผู้สังเกตทุกคนที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสม่ำเสมอสัมพัทธ์กัน จะใช้สูตรรูปแบบเดียวกันในการอธิบายปรากฏการณ์หนึ่งๆ และข้อสองคือความเร็วของแสงมีค่าเดียวคือ 299,792,458 กิโลเมตร/วินาที สำหรับคนทุกคนไม่ว่าคนๆ นั้นจะเคลื่อนที่เร็วหรือช้าอย่างไร สมมติฐานข้อแรกดูสมเหตุสมผล แต่สมมติฐานข้อสองดูประหลาดๆ เพราะขัดกับสามัญสำนึกอย่างรุนแรง แต่เมื่อใดก็ตามที่นักฟิสิกส์ทดลองวัดความเร็วแสง ไม่ว่าจะสถานการณ์ของต้นกำเนิดแสงและผู้สังเกตจะเป็นเช่นไร เขาก็ได้ผลชัดเจนทุกครั้งไปว่าความเร็วของแสงไม่เคยเปลี่ยนแปลง และสมมติฐานข้อสองนั้นคือความจริง



จากสมมติฐานข้อสองนี้ไอน์สไตน์ได้พบสูตรแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา และความเร็ว สำหรับผู้สังเกตสองคนที่เคลื่อนที่สัมพัทธ์กัน และเขายังได้พบอีกว่านาฬิกาของผู้สังเกตทั้งสองเดินในอัตราเร็วที่ไม่เท่ากัน นั่นหมายความว่า เวลาชีวิตและเวลาชราของคนทั้งสองดำเนินไปคนละอัตราเร็ว ก็ในเมื่อนาฬิกาของคนสองคนเดินเร็วไม่เท่ากัน คำว่า “พร้อมกัน” ที่เราใช้ในชีวิตประจำวันและที่เราเคยเข้าใจก็ไร้ความหมาย เพราะขณะที่ผู้สังเกตคนหนึ่งเห็นว่า เหตุการณ์ A และ B เกิดขึ้นพร้อมกัน แต่ผู้สังเกตอีกคนหนึ่งที่กำลังเคลื่อนที่สัมพัทธ์กับคนแรกด้วยความเร็วสม่ำเสมออาจจะเห็นเหตุการณ์ A เกิดก่อน B หรือ B เกิดก่อน A ก็ได้ แล้วแต่ว่าเหตุการณ์ A หรือ B อยู่ใกล้ผู้สังเกตคนๆ นั้นมากกว่า ในการทดสอบคำทำนายนี้ นักฟิสิกส์ได้ใช้เครื่องบินเจ็ตความเร็วสูงบรรทุกนาฬิกาปรมาณูเดินทางไปรอบโลก และได้พบว่า เมื่อกลับมาถึงที่เดิมนาฬิกาบนเครื่องบินเจ็ตเดินช้ากว่านาฬิกาปรมาณูที่อยู่นิ่งๆ ซึ่งก็ตรงตามคำทำนายของไอน์สไตน์ทุกประการ

เมื่อนักฟิสิกส์ได้พิจารณาเห็นว่า สูตรแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ผู้สังเกตทั้งสองวัดได้มีความเกี่ยวข้องกับความเร็วแสง ความเร็วสัมพัทธ์และตำแหน่งของผู้สังเกตทั้งสองอย่างแยกจากกันไม่ได้ ดังนั้น เขาจึงพิจารณาให้เพิ่มเวลาเป็นอีกหนึ่งมิติที่เราต้องใช้ในการบรรยายเหตุการณ์ต่างๆ นอกเหนือไปจากการที่ต้องบอกตำแหน่ง (X,Y,Z) ของเหตุการณ์ กระบวนการรวมเวลาเข้าไปในการบรรยายเหตุการณ์เป็น (x,y,z,t) ทำให้เรามีระบบอวกาศ-เวลาเป็นสี่มิติ

ส่วนทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปที่ไอน์สไตน์ได้สร้างขึ้นนั้น มาจากการพัฒนาทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษขึ้นไปอีกระดับหนึ่ง โดยได้พิจารณากรณีผู้สังเกตที่เคลื่อนที่อย่างมีความเร่ง ทฤษฎีนี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานสองข้อ สมมติฐานข้อแรกมีใจความว่าโครงสร้างสี่มิติของอวกาศเวลา ที่มีสสารอยู่ภายในจะถูกบิดเบี้ยวและสมมติฐานข้อสองมีใจความว่า เราไม่สามารถจะบอกความแตกต่างระหว่างการทดลองที่เรากระทำในห้องทดลองที่มีความเร่งกับในห้องทดลองที่มีแรงโน้มถ่วงกระทำ ผลที่ติดตามมาจากสมมติฐานทั้งสองข้อนี้คืออัตราเร็วในการเดินของนาฬิกา นอกจากจะขึ้นกับความเร็วของตัวนาฬิกาแล้ว ยังขึ้นกับความเข้มของสนามโน้มถ่วงที่นาฬิกานั้นวางอยู่ด้วย และนั่นก็หมายความว่า นาฬิกาที่อยู่ห่างไกลจากโลกมากจะเดินเร็วกว่านาฬิกาที่อยู่ใกล้ผิวโลก และนาฬิกาที่ติดตั้งที่ผิวดาวนิวตรอนจะเดินช้ากว่านาฬิกาบนโลกมาก เพราะสนามแรงโน้มถ่วงของดาวนิวตรอนสูงกว่าสนามแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นล้าน ล้าน ล้านเท่า ส่วนนาฬิกาที่ผิวหลุมดำ จะหยุดเดินไม่ว่าเวลาของเหตุการณ์ภายนอกหลุมดำจะผ่านไปนานเพียงใด

ถึงแม้คำทำนายทั้งหลาย ของทฤษฎีสัมพัทธภาพทั้งพิเศษและทั่วไปของไอน์สไตน์ จะได้รับการทดสอบแล้วว่าจริงทุกประการ (ยกเว้นปรากฏการณ์คลื่นโน้มถ่วง gravity wave เรื่องเดียวที่ยังไม่มีการพิสูจน์



ให้เห็นได้โดยตรง) เช่น เวลาที่มีการส่งคลื่น maser ออกไปในอวกาศสู่ระดับสูง 1 หมื่นกิโลเมตรเหนือโลก นักวิทยาศาสตร์ได้พบว่าความถี่ของคลื่นจะเปลี่ยนไปตรงตามผลการคำนวณของไอน์สไตน์ แต่นักวิทยาศาสตร์ก็ยังคงต้องการสร้างนาฬิกาให้เดินเที่ยงยิ่งขึ้นไปอีก ถึงขนาดเดินผิดพลาดไม่เกินหนึ่งวินาทีในการเดิน 1 ล้าน ล้านปีหรือกว่านั้น เพราะนาฬิกาปรมาณูที่มีประสิทธิภาพสูง จะช่วยให้เรารู้ระยะทางจากโลกถึงดวงจันทร์ได้อย่างถูกต้องคือผิดพลาดไม่เกิน 1.5 มิลลิเมตร รวมทั้งรู้การเคลื่อนไหวที่น้อยนิดของเปลือกทวีปในแต่ละวัน และรู้ตำแหน่งของเรือโดยสารหรือเครื่องบินที่กำลังเดินทางอย่างผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร เป็นต้น ส่วนนักดาราศาสตร์ก็มีโครงการสร้างกล้องโทรทรรศน์สองกล้องที่เหมือนกันทุกประการ แต่ติดตั้งอยู่คนละซีกโลกและให้ทำงานพร้อมกัน ซึ่งทำได้โดยการบังคับควบคุมด้วยนาฬิกาปรมาณู และหากมีการทำเช่นนั้นได้ กล้องโทรทรรศน์สองกล้องก็จะทำงานเสมือนเป็นกล้องโทรทรรศน์กล้องเดียวที่มีเลนส์ขนาดใหญ่เท่าโลก กล้องขนาดใหญ่นี้จะทำให้เราสามารถมองเห็นขอบจักรวาลได้สบายๆ เหล่านี้คือเป้าหมาย และคุณประโยชน์ของนาฬิกาปรมาณูที่จะมีในอนาคต

นอกจากเวลาจะมีบทบาทในทฤษฎีสัมพัทธภาพแล้ว ในวิชากลศาสตร์ควอนตัม เวลาก็มีบทบาทเช่นกัน หลักความไม่แน่นอนของ Heisenberg ได้กำหนดขอบเขตความถูกต้องในการวัดเวลาไว้ว่า เมื่อใดก็ตามที่เราวัดพลังงานผิดพลาด เราก็จะวัดเวลาผิดพลาดด้วย โดยผลคูณระหว่างความผิดพลาดของพลังงานกับความผิดพลาดของเวลาจะต้องมากกว่า 5.25×10^{-35} จูล-วินาทีเสมอ หลักความไม่แน่นอนนี้ทำให้เรารู้ว่าการวัดอายุของธาตุกัมมันตรังสีมีความผิดพลาดทุกครั้งไป เป็นต้น

คนทั่วไปมักจะคิดว่า ทฤษฎีสัมพัทธภาพและทฤษฎีควอนตัมไม่เกี่ยวข้องกันเพราะทฤษฎีแรกเหมาะสำหรับใช้ในการอธิบายพฤติกรรมของอะตอม แต่นักฟิสิกส์ทุกวันนี้ได้ประจักษ์แล้วว่า ในการที่จะเข้าใจปรากฏการณ์ทุกอย่างในธรรมชาติ เขาจะต้องใช้ทฤษฎีทั้งสองนี้พร้อมกันแต่ถึงแม้กระบวนการสังเคราะห์ทฤษฎีทั้งสองจะได้ดำเนินมานานแล้วก็ตาม ณ วินาทีเราก็ยังไม่ประสบความสำเร็จคือ เรายังไม่มีทฤษฎีควอนตัมของแรงโน้มถ่วงที่สมบูรณ์เลย นอกจากนี้ นักฟิสิกส์ก็ยังได้พบอีกว่าเวลาเขารวมทฤษฎีทั้งสองเข้าด้วยกัน เวลาที่มีในสมการได้หายไปอย่างไร้ร่องรอย ซึ่งเป็นเรื่องที่ไม่ถูกต้อง

จึงเป็นว่างานสังเคราะห์ทฤษฎีควอนตัมกับทฤษฎีแรงโน้มถ่วง ซึ่งจะทำให้เราเข้าใจความหมายของการกำเนิดและการมรณะของเวลา รวมทั้งงานวัดเวลาให้ละเอียดถูกต้องและแม่นยำ เป็นงานที่จะทำให้ทลายความสามารถของนักฟิสิกส์ในศตวรรษหน้า

ความฝันอันสูงสุดนี้ จะเป็นจริงหรือไม่ เวลาเท่านั้นที่จะตอบได้ครับ

