บทความวิชาการ (Article)

หลุมดำและข้อมูลที่หายไป.....ไหน ??

Black Hole Information Paradox

สิขรินทร์ อยู่คง

กลุ่มวิจัยฟิสิกส์ทฤษฎีและฟิสิกส์เชิงคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ

สตีเฟน ฮอว์คิง ถือได้ว่าเป็นนักฟิสิกส์ที่ยิ่งใหญ่คนหนึ่งในทศวรรษนี้ ผลงานที่สำคัญมากเรื่องหนึ่งและยังเป็นที่ถกเถียงกันในหมู่นักฟิสิกส์ คือ เรื่องข้อมูลที่หายไปในหลุมดำ ดังนั้นบทความนี้เรียบเรียงขึ้นเพื่อให้เห็นที่มาของปัญหาและแนวทางในการถกเถียงเพื่อหาคำตอบของนักฟิสิกส์หลายๆ ท่าน อีกทั้งเป็นการรำลึกการจากไปของศาสตราจารย์ฮอว์คิงในวันที่ 14 มีนาคม 2561

คำสำคัญ: สตีเฟน ฮอว์คิง, หลุมดำ, ข้อมูล

Abstract

Stephen Hawking is one of the renowned physicists in this century. His work on information loss in black hole is very important in order to understand the nature and is still an ongoing subject causing a big debate among physicists. Then this article is composed in order to show the readers the origin of the problem and the current possible solutions. Moreover, this article is dedicated to Professor Stephen Hawking who passed away recently on 14 March 2018.

Key words: Stephen Hawking, Black Hole, Information

> “วิทยาศาสตร์ไม่ได้เป็นเพียงศาสตร์ที่ว่าด้วยเหตุและผลแต่ยังเป็นเรื่องของเพ้อฝันและใคร่รู้อีกด้วย”
>
> “Science is not only a disciple of reason but, also, one of romance and passion”
>
> ศาสตราจารย์ฮอว์คิงให้สัมภาษณ์นิตยสาร PARADE 2010

บทนำ

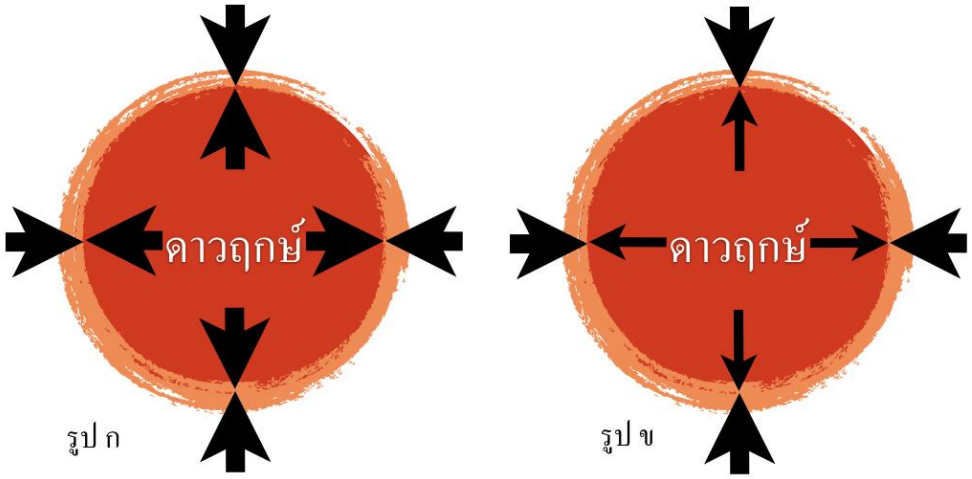
ผู้เขียนได้เรียบเรียงบทความจากข้อเขียนใน Facebook ของตนเอง และ Page “ฟิสิกส์หมาหมา” [1] โดยเป็นการเน้นแนวคิดของปัญหาและแนวทางแก้ปัญหาในแบบต่างๆ โดยที่ไม่ได้ลงรายละเอียดการคำนวณที่ลึกซึ้ง เพื่อเป็นการรำลึกถึงการจากไปของศาสตราจารย์สตีเฟน ฮอว์คิง ซึ่งได้จากไปเมื่อวันที่ 14 มีนาคม 2561 เนื่องจากเนื้อหานั้นประกอบไปด้วยองค์ความรู้หลายส่วน ดังนั้นตัวโครงสร้างของบทความจะเริ่มจากการอธิบายอย่างง่ายของฟิสิกส์พื้นฐานที่เกี่ยวข้องและจากนั้นจะเข้าสู่ปัญหาในตอนหลัง หัวข้อที่ 2 เป็นการอธิบายหลุมดำและสมบัติของมันในเบื้องต้น หัวข้อที่ 3 เป็นการอธิบายเกี่ยวกับข้อมูลตามความหมายเชิงฟิสิกส์ หัวข้อที่ 4 เป็นการอธิบายว่าเกิดอะไรขึ้นหากวัตถุก้าวข้ามเส้นขอบฟ้าเหตุการณ์ตามทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป หัวข้อที่ 5 เอนโทรปีที่ลดลงของระบบที่มีหลุมดำ หัวข้อที่ 6

การแผ่รังสีของหลุมดำหรือรู้จักกันในชื่อการแผ่รังสีของฮอว์คิงและข้อมูลที่หายไป หัวข้อที่ 7 หลักการเติมเต็มของหลุมดำ หัวข้อที่ 8 นั้นเกี่ยวกับหลักการโฮโลกราฟฟิก หัวข้อที่ 9 นั้นอธิบายปัญหากำแพงไฟที่เกิดขึ้น ณ ขอบฟ้าเหตุการณ์เนื่องจากผลของควอมตัม หัวข้อที่ 10 แนวคิดใหม่ในการแก้ปัญหาที่ชื่อว่า ER=EPR ปิดท้ายด้วยหัวข้อที่ 11 สรุปประเด็น

หลุมดำ

หากเราทำการค้น Google ด้วยคำว่า Black Hole (หลุมดำ) เราจะพบผลการค้นหาจำนวนมหาศาล ซึ่งเป็นการบอกเราว่าเจ้าคำว่า “หลุมดำ” นั้นเป็นคำยอดนิยมมากที่สุดคำหนึ่ง สำหรับนักศึกษาฟิสิกส์ที่เรียนทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป หลุมดำนั้นถือได้ว่าเป็นพระเอกของท้องเรื่องเลยก็ว่าได้เนื่องจากเป็นบริเวณที่กาลอวกาศได้รับผลของความโน้มถ่วงมหาศาลและมีค่าเป็นอนันต์ที่จุดเอกฐาน และเหตุที่ได้ชื่อว่าหลุม “ดำ” นั้นเพราะวัตถุใดๆ หรือแม้แต่แสงที่ได้ชื่อว่าเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุดหากตกข้ามขอบฟ้าเหตุการณ์ก็ไม่สามารถออกมาได้ (หรือนั้นคือไม่มีแสงสะท้อนมาเข้าตาเรานั้นเอง) การที่เรามองไม่เห็นนั้นทำให้เกิดปัญหาในการมองหาหลุมดำ เพราะในการสำรวจจักรวาล เราใช้กล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิลซึ่งเป็นอุปกรณ์ทำงานโดยอาศัยการรับแสง และใช้กล้องโทรทัศน์วิทยุรับคลื่นวิทยุซึ่งก็เป็นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกันแสง อย่างไรก็ตามเมื่อปี 2558 LIGO ได้ทำได้ตรวจวัดคลื่นแรงโน้มถ่วงซึ่งเป็นผลของการรวมตัวกันของหลุมดำสองหลุมซึ่งเป็นการบอกถึงการมีอยู่ของหลุมดำทางอ้อมหรือที่พูดกันว่าเมื่อเรามองหาไม่ได้เราก็อาศัยการฟังเอา

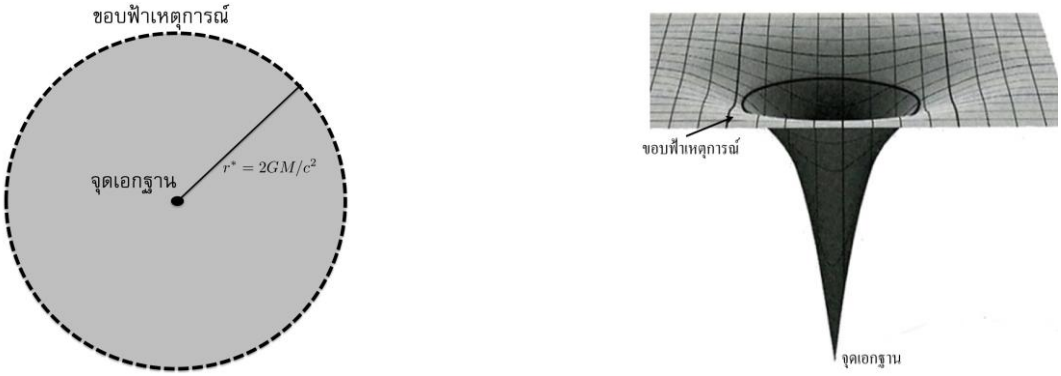
หลุมดำนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท ในหัวข้อนี้ขออธิบายหลุมดำแบบที่ง่ายที่สุดที่เรียกว่า หลุมดำนิ่ง (ไม่มีการหมุนและประจุ) สำหรับดาวฤกษ์ (เหมือนกับดวงอาทิตย์ของเราแต่ต้องมีขนาดใหญ่กว่ามากๆ) แรง 2 แรงนั้นทำงานทำให้ดาวฤกษ์คงสภาพอยู่ได้คือแรงจากความดัน (แรงผลัก) จากพลังงานที่ปลดปล่อยจากปฏิกริยานิวเคลียร์ และแรงโน้มถ่วง (แรงกด) ดังรูปที่ 1 (ก) หากแรง 2 แรงดังกล่าวอยู่ในสภาวะสมดุล ดาวฤกษ์จะคงตัวอยู่ได้ แต่หากเมื่อไรที่ดาวฤกษ์เผาผลาญเชื้อเพลิงใกล้หมดแรงผลักจากความดันภายในดาวจะทำงานอ่อนลง แรงโน้มถ่วงจะมีบทบาทมากขึ้นซึ่งจะส่งผลทำให้ดาวฤกษ์หดตัวลง ดังรูปที่ 1 (ข)



รูปที่ 1 *ดาวฤกษ์อยู่ในสมดุลอันเป็นผลมาจากสมดุลระหว่าง แรงผลักจากความดันโดยพลังงานจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ และ แรงกดจากแรงโน้มถ่วง*

เมื่อดาวฤกษ์เผาผลาญเชื้อเพลิงของปฏิกิริยานิวเคลียร์หมดลง แรงโน้มถ่วงจะเข้าควบคุมทั้งหมดทำให้ดาวเกิดการยุบตัวอย่างต่อเนื่อง หากเราทำการคำนวณความเร็วหลุดพ้นของดาวนั้นๆ จะได้ว่า $v_{\text{escape}} = \sqrt{2GM/r}$ โดย M เป็นมวลของดาว และ G เป็นค่าคงที่แรงโน้มถ่วงของนิวตัน ส่วน r คือรัศมีของดาว จากความสัมพันธ์เราจะเห็นได้ว่าความเร็วหลุดพ้นนั้นแปรผันตรงกับมวลและส่วนกลับของรัศมี กระบวนการยุบตัวของดาวฤกษ์ (ซึ่งมีสมมาตรเชิงทรงกลมเพราะยุบเข้าสู่ศูนย์กลางดาว) นั้นจะทำให้ความหนาแน่นมวลเพิ่มขึ้นมหาศาลและรัศมีหดสั้นลงมหาศาลเช่นกันจนเกิดจุดเอกฐาน (Singularity) ซึ่งก่อนถึงจุดเอกฐานจะมีจุดที่ความเร็วหลุดพ้นมี

ค่ามากกว่าความเร็วแสงที่เรียกว่า ขอบฟ้าเหตุการณ์ (Event Horizon) สำหรับหลุมดำที่ไม่หมุนที่เรียกว่าหลุมดำชวาซชีลด์ (Schwarzchild Black Hole) จะมีขอบฟ้าเหตุการณ์ตรงที่รัศมีชวาซชีลด์ $r^* = 2GM/c^2$ ดังรูปที่ 2 (ก)



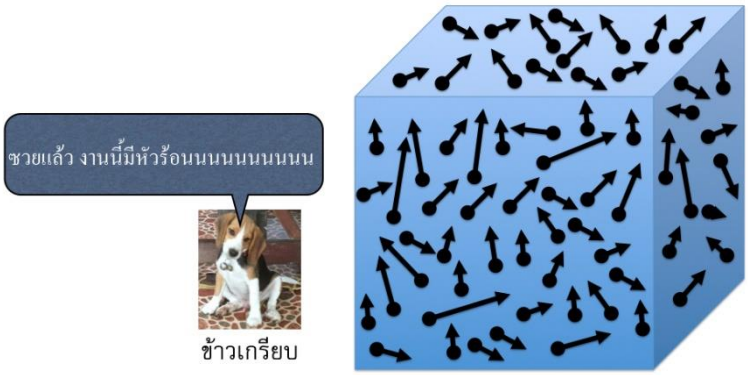
(ก) (ข)

รูปที่ 2 *(ก) ภาพการ์ตูนแสดงหลุมดำชวาซชีลด์ใน 2 มิติ (ข) ภาพการ์ตูนแสดงหลุมดำใน 3 มิติ [ดัดแปลงมาจาก Wikipedia]*

ตัวอย่างที่นิยมใช้ทำให้เห็นภาพหลุมดำอย่างง่ายๆ คือ เราเปรียบเทียบพื้นผ้าใบเป็น กาลอวกาศ (Spacetime) ณ ตำแหน่งที่มีหลุมดำอยู่ กาลอวกาศจะมีความบิดโค้งและ ณ ตำแหน่งเอกฐานความบิดโค้งจะเป็นอนันต์ ดังรูปที่ 2 (ข) อะไรก็ตามที่หลุดเข้าไปเกินขอบฟ้าของเหตุการณ์จะไม่สามารถหนีออกมาได้แม้กระทั่งแสงจึงเป็นเหตุผลที่ทำให้เราไม่สามารถสังเกตหลุมดำได้โดยตรง

ข้อมูลและความหมายเชิงฟิสิกส์

หากถามว่าข้อมูลคืออะไร อาจจะเป็นอะไรที่อธิบายให้เข้าใจได้ยาก ดังนั้นผู้เขียนขอยกตัวอย่างเพื่อเป็นการทำความเข้าใจคำว่าข้อมูล เราเริ่มพิจารณากล่องบรรจุก๊าซอุดมคติ N โมเลกุล จากนั้นให้ “ข้าวเกรียบ” (ลูกชายแสนรักของผู้เขียน) ทำหน้าที่สังเกตการเคลื่อนที่ของทุกโมเลกุลทุกๆ ขณะเวลาจากเริ่มต้น แน่นอนว่าสิ่งที่ข้าวเกรียบต้องทำคือทำตารางบันทึกผลตัวเลขของตำแหน่งของทุกโมเลกุลในกล่อง ณ เวลาต่างๆ ซึ่งชุดตัวเลขทั้งหมดเป็นข้อมูลการเคลื่อนที่ของโมเลกุลทั้งหมดในกล่องดังรูปที่ 3

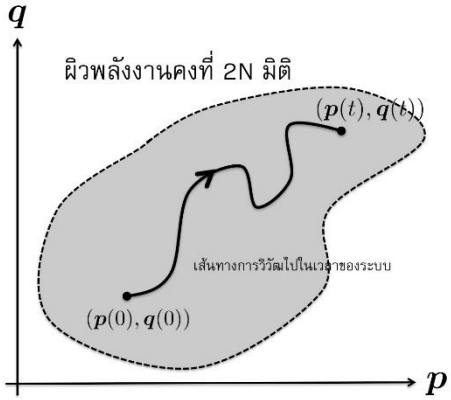


รูปที่ 3 *ภาพแสดงกล่องบรรจุก๊าซและข้าวเกรียบผู้บันทึกข้อมูลตำแหน่งของทุกโมเลกุล ณ เวลาต่างๆ*

อย่างไรก็ดีหากเราใช้กลศาสตร์แฮมิลโตเนียน (Hamiltonian Mechanics) ในการนำเสนอข้อมูลการเคลื่อนที่ของทุกโมเลกุลบนปริภูมิเฟส (Phase Space) ที่มีขนาดมิติเป็น $2N$ ซึ่งหนึ่งจุดบนปริภูมิเฟสจะบรรจุข้อมูลตำแหน่งและโมเมนตัมของทุกๆ โมเลกุล ณ เวลา t ใดๆดังสมการที่ (1)

$$\begin{aligned}&\big(\boldsymbol{p}(t),\boldsymbol{q}(t)\big)\\&=\big(p_1(t),p_2(t),..,p_N(t),q_1(t),q_2(t),..,q_N(t)\big)\end{aligned} \tag{1}$$

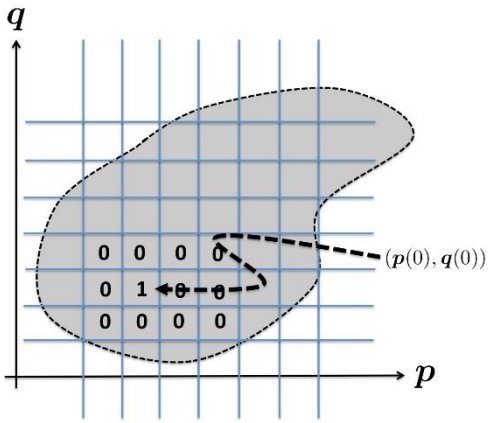
หากเราให้เงื่อนไขเริ่มต้นกับทุกๆ โมเลกุล (ตำแหน่งเริ่มและโมเมนตัมเริ่มต้น) จากนั้นปล่อยให้ระบบวิวัฒน์ไปเราจะได้เส้นทางการเคลื่อนที่ของระบบบนผิว (ผิวหลายมิติที่ฝังตัวอยู่ในปริภูมิเฟสเรียกว่า แมนิโฟลด์ (Manifold)) ที่มีค่าพลังงานคงที่ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 *รูปแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของระบบบนปริภูมิเฟส (โดยละการแก้สมการแฮมิลตัน)*

แน่นอนว่าโดยทั่วไปเราเคยชินการแสดงข้อมูลด้วย บิต (Bit หรือ Binary Digit) 0 และ 1 ซึ่งเราสามารถแสดงได้เหมือนกันบนปริภูมิเฟส โดยคิดว่าผิวพลังงานคงที่นั้นประกอบขึ้นมาจากกล่องขนาดเล็กที่บรรจุได้ 1 จุดสถานะของระบบพอดี โดยเรากำหนดให้ว่า ณ ตำแหน่งกล่องที่บรรจุสถานะเริ่มต้นให้มีค่าบิตเป็น 1 นอกนั้นเป็นบิต 0 ทั้งหมดดังรูปที่ 5 ดังนั้น ณ เวลาเริ่มต้นเราจะมีสายบิตเป็น (โดยนับเรียงจากล่างขึ้นบน)

$$\ldots|..0000..|..0100..|..0000..|\ldots \qquad \text{ณ เวลา} \quad t_0 \tag{2}$$



รูปที่ 5 แสดงการลงตำแหน่งบิต 0 และ 1 บนปริภูมิเฟส ณ เวลาเริ่มต้น (จริงๆ ต้องเติมทุกช่องแต่แสดงเป็นตัวอย่างไว้เบื้องต้น)

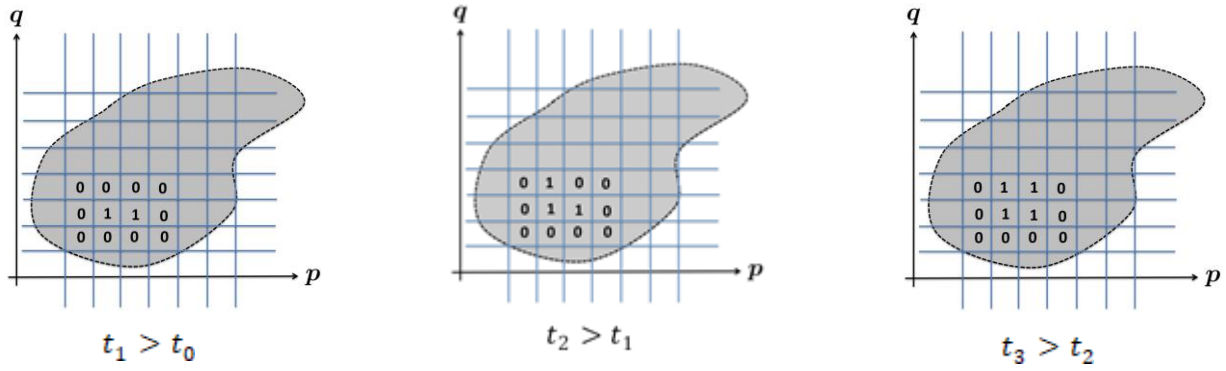
เมื่อปล่อยให้ระบบวิวัฒน์ไปในเวลาบนปริภูมิเฟสจำนวนบิต 1 จะเพิ่มขึ้นทุกๆ สเต็ปเวลาดังสมการ

$$\ldots|..0000..|..0110..|..0000..|\ldots \text{ ณ เวลา } t_1 > t_0 \tag{3.1}$$

$$\ldots|..0000..|..0110..|..0100..|\ldots \text{ ณ เวลา } t_2 > t_1 \tag{3.2}$$

$$\ldots|..0000..|..0110..|..0110..|\ldots \text{ ณ เวลา } t_3 > t_2 \tag{3.3}$$

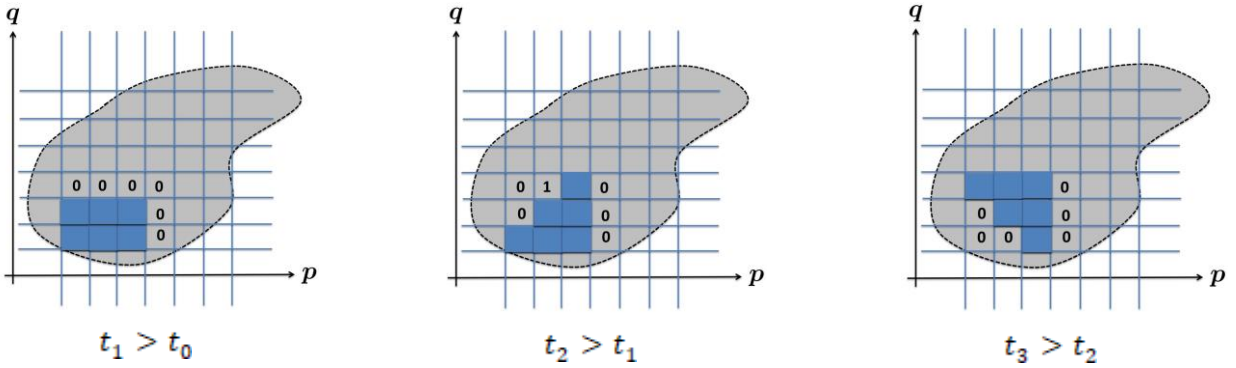
เป็นต้น (ดูรูปที่ 6 ประกอบ)



รูปที่ 6 *แสดงการฟลิปไปของบิต 0 เป็นบิต 1 ที่เกิดการการวิวัฒน์ไปในเวลาของระบบ*

ข้อสังเกต: สายบิตที่เรามีนั้นมีจำนวนบิตมหาศาลแต่เริ่มต้นจากการจัดเรียงในรูปแบบที่ง่ายที่สุดดังสมการ (2) แต่เมื่อเวลาผ่านไปการเรียงตัวของบิตในสายนั้นจะเริ่มยุ่งขึ้นเรื่อยๆ ดังสมการ (3.1)-(3.3) ตามลำดับ ตรงนี้สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของเอนโทรปีของระบบซึ่งจะทำการอธิบายต่อไป

สิ่งที่สำคัญของระบบที่วิวัฒน์ไปปริภูมิเฟสคือ ทฤษฎีบทลีอูวิลน์ (Liouville's Theorem) ซึ่งอธิบายง่ายๆ ว่า หากเราสนใจบริเวณหนึ่งบนปริภูมิเฟส (กล่อง 6 กล่องที่ระบายสีไว้) เมื่อเวลาผ่านไปรูปร่างของบริเวณที่สนใจเปลี่ยนไปแต่ยังคงมีปริมาตรเท่าเดิมคือ 6 กล่อง ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 *แสดงการคงตัวของปริมาตรของบริเวณที่สนใจ ณ เวลาต่างๆ*

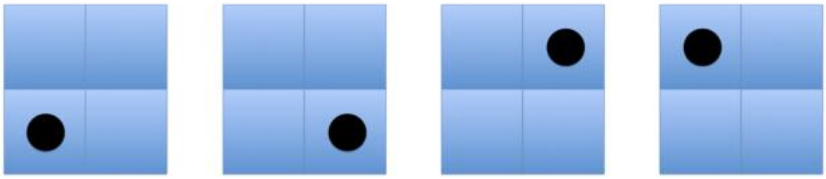
ดังนั้นเราบอกได้ว่าจำนวนจุดสถานะในบริเวณที่เราสนใจนั้นคงที่ตลอดเวลาหรือเราสามารถบอกได้ว่าความหนาแน่นของจุดบนปริภูมิเฟสนั้นคงที่ ทำให้เราตีความได้ว่า ข้อมูลนั้นไม่สามารถทำลายได้ (กฎอนุรักษ์ข้อมูล) ตามเวลา เงื่อนไขนี้สำคัญมากเพราะเป็นเงื่อนไขที่บอกเราว่าข้อมูลนั้นเหมือนจะจับต้องไม่ได้แต่มันมีอยู่จริงไม่ต่างจากพลังงานที่ไม่สามารถสร้างหรือทำลายได้แต่เปลี่ยนรูปได้ (กฎอนุรักษ์พลังงาน)

อย่างไรก็ดี ข้อมูลนั้นสามารถอธิบายผ่านกลศาสตร์สถิติ (Statistical Mechanics) โดยใช้ โบลต์มันน์เอนโทรปี (Boltzmann's Entropy)

$$S = k_{\mathrm{B}} \ln \Omega \tag{4}$$

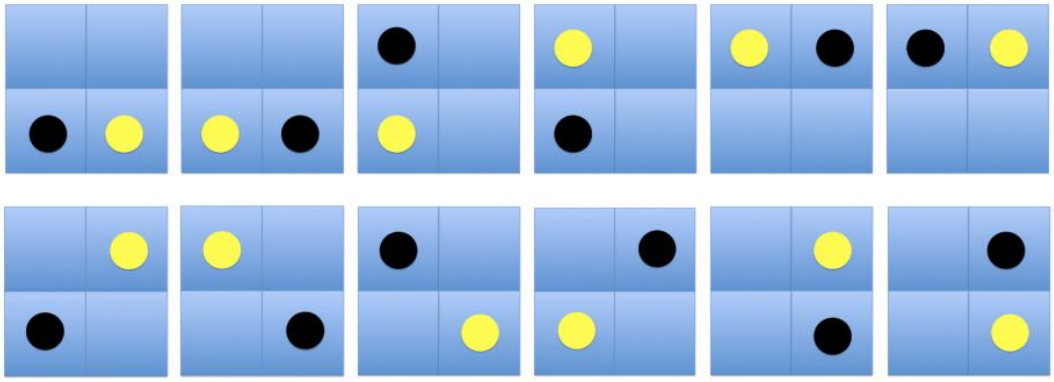
โดย $k_{\mathrm{B}} = 1.38065 \times 10^{-23}$ J/K คือค่าคงที่ของโบลต์มันน์ และ Ω คือจำนวนสถานะย่อยทั้งหมดที่ระบบจะมีได้ เพื่อให้เห็นภาพ เราพิจารณา

กรณี ก) ระบบที่ประกอบไปด้วยอนุภาค 1 ตัวในกล่อง หากเราแบ่งกล่องเป็น 4 ห้องย่อยเท่าๆ กัน หากเราถามว่ามีกี่วิธีในการจัดเรียงอนุภาคในกล่อง $\Omega = ?$ คำตอบคือ 4 วิธี ดังรูปที่ 8 ดังนั้น $\Omega = 4$ เมื่อทำการคำนวณค่าเอนโทรปีจะได้ $S \approx 1.38$ (เพื่อให้ง่ายได้ละค่าคงที่ k_B ในการคำนวณ)



รูปที่ 8 *แสดงวิธีการจัดเรียงอนุภาคในกล่องที่ประกอบด้วย 4 ห้องย่อย*

กรณี ข) หากเราทำการเพิ่มอนุภาคเข้าไปอีกตัวที่แตกต่างกัน แล้วถามเหมือนเดิมว่าจะมีกี่วิธีในการจัดเรียงอนุภาคในกล่อง สำหรับกรณีนี้มีทั้งหมด 12 วิธี หรือ $\Omega = 12$ ดังรูปที่ 9 ดังนั้นเอนโทรปีมีค่าเป็น $S \approx 2.48$



รูปที่ 9 *แสดงวิธีการจัดเรียงอนุภาค 2 ตัวที่แตกต่างกันในกล่องที่ประกอบด้วย 4 ห้องย่อย*

เราสังเกตเห็นได้ว่า กรณี ก) (รูปที่ 8) เอนโทรปีนั้นน้อยกว่ากรณี ข) (รูปที่ 9) ด้วยเงื่อนไขที่มีจำนวนรูปแบบของการจัดเรียงนั้นน้อยกว่า หากเราตั้งคำถามดังต่อไปนี้

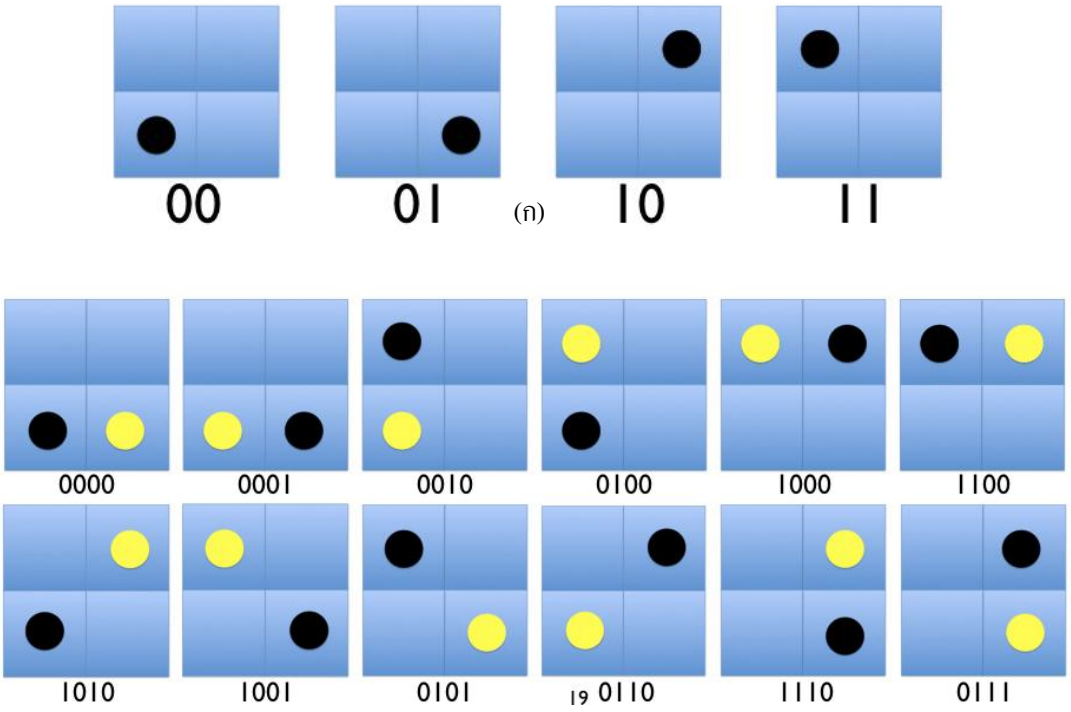
สำหรับกรณีที่มี 1 อนุภาคนั้น หากเพื่อนเราทำการวางอนุภาคในกล่องแล้วปิด จากนั้นถามเราว่าอนุภาคจะอยู่ห้องย่อยไหนใน 4 ห้องที่เป็นไปได้ คำตอบที่เรามีคือ ไม่รู้(ก) แต่เดาว่าน่าจะเป็น 1 ใน 4 แบบที่เป็นไปได้

สำหรับกรณีที่มี 2 อนุภาคนั้น หากเพื่อนเราทำการว่างอนุภาคทั้ง 2 ในกล่องแล้วปิด จากนั้นถามเราว่าอนุภาคทั้ง 2 จะอยู่ห้องย่อยไหนบ้างใน 4 ห้องที่เป็นไปได้ คำตอบที่เรามีคือ ไม่รู้(ข) แต่เดาว่าน่าจะเป็น 1 ใน 12 แบบที่เป็นไปได้

ความน่าสนใจคือ คำตอบคือ ไม่รู้ทั้งคู่ แต่ไม่รู้ทั้งสองนั้นแตกต่างกัน กล่าวคือ ไม่รู้(ข) นั้นโตกว่า ไม่รู้(ก) คำว่าโตกว่าในที่นี้คือ ไม่รู้(ข) คือไม่รู้ใน 12 แบบที่เป็นไปได้ ขณะที่ ไม่รู้(ก) นั้นคือไม่รู้แค่ 4 แบบ

ดังนั้น ไม่รู้ คือการเข้าไม่ถึงนั้นเอง สำหรับกรณี ก) และ ข) การเข้าไม่ถึง (ไม่รู้) ของตำแหน่งการวางตัวของอนุภาคในระบบบ่งบอกถึงข้อมูลที่บรรจุในระบบนั้นเอง ดังนั้นสำหรับกรณี 2 อนุภาคการเข้าไม่ถึงสถานะย่อยๆ นั้นมีเยอะกว่าซึ่งสอดคล้องกับค่าของเอนโทรปีที่เยอะกว่านั้นเอง

ข้อสังเกต หากเราต้องการใช้ บิต ในการแสดงสถานะย่อยของระบบ สำหรับกรณี 1 อนุภาคนั้นเราต้องการแค่ 2 บิต ดังแสดงในรูปที่ 10 (ก) สำหรับกรณี 2 อนุภาคนั้นเราต้องการ 4 บิต ในการนำเสนอดังรูปที่ 10 (ข)



(ก)

(ข)

รูปที่ 10 *แสดงการใช้บิต 0 และ 1 ในการแสดงสถานะย่อยๆของการจัดว่างตัวอนุภาคในกล่อง*

ตอนนี้หากในแต่ล่ะสถานะย่อย Ω_i นั้นมีความน่าจะเป็น p_i กำกับอยู่ โดยมีเงื่อนไข

$$\sum_{i=1}^{\Omega} p_i = 1 \qquad \text{โดยที่ } \Omega_i \text{ เป็นจำนวนสถานะย่อยทั้งหมดที่เป็นไปได้} \tag{5}$$

ดังนั้นเราเขียน (4) ใหม่เป็น

$$\begin{aligned} S &= -k_{\mathrm{B}} \ln\left(\frac{1}{\Omega}\right) = -k_{\mathrm{B}}\Omega\frac{1}{\Omega}\ln\left(\frac{1}{\Omega}\right) \\ &= -k_{\mathrm{B}}\sum_i \frac{1}{\Omega}\ln\left(\frac{1}{\Omega}\right) = -k_{\mathrm{B}}\sum_i p_i \ln p_i \end{aligned} \tag{6}$$

โดยที่ $p_i = 1/\Omega$ สมการ (6) รู้จักกันในชื่อ **กิบส์เอนโทรปี (Gibbs Entropy)**

ในปี 1949 คล็อด แชนนอน (Claude Shannon) ได้เสนอเอนโทรปีในรูป (คล้ายคลึงกับของกิบส์)

$$S = -\sum_{i=1}^{L} p_i \log_2 p_i \tag{7}$$

เพื่อใช้ในการวัดข้อมูลในระบบ โดยเป็นไปตามสมบัติ

(1) เอนโทรปีมีค่าต่อเนื่องและมีค่ามากสุดเมื่อ $p_1 = p_2 = \ldots = p_L = 1/L$

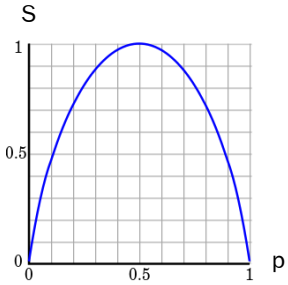
(2) เอนโทรปีมีค่าเป็นศูนย์เมื่อหนึ่งในความน่าจะเป็นมีค่า $p_i = 1$ ที่เหลือเป็น 0

คำถามคือ แชนนอนเอนโทรปี นั้นใช้วัดข้อมูลที่บรรจุอยู่ในระบบอย่างไร เพื่อให้เห็นภาพเราขอยกตัวอย่างการโยนเหรียญแล้วทายว่าจะออก หัว หรือ ก้อย ดังนั้นสถานะย่อยมีทั้งหมด 2 แบบและความน่าจะเป็นที่จะออกหัวและก้อยนั้นเท่ากันคือ 50% หรือ 1/2 นั้นเองดัง รูปที่ 11 หากทำการคำนวณ แชนนอนเอนโทรปี จะได้

$$S = \frac{1}{2}\log_2 2 + \frac{1}{2}\log_2 2 = 1 \tag{8}$$

เลข 1 นี้หมายถึง 1 บิตของข้อมูลของการเข้าไม่ถึงของผลลัพธ์ว่าจะออกมาเป็นหัวหรือก้อยกันแน่นั้นเอง หากเราใช้บิตในการแสดงสถานะย่อยของการโยนเหรียญเราใช้เพียงแค่ 1 บิตเท่านั้น โดย 0 แทนหัวและ 1 แทนก้อย

(ก)



(ข)

รูปที่ 11 *(ก) แสดงรูปแบบทั้งหมดที่เป็นไปได้ของการโยนเหรียญ (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอนโทรปีและความน่าจะเป็น [ดัดแปลงมาจาก Wikipedia]*

กราฟในรูปที่ 11(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอนโทรปี S และความน่าจะเป็น p ที่จะออกหัว (ส่วนความน่าจะเป็นที่จะออกก้อยคือ $1-p$) ซึ่งเอนโทรปีมีค่าสูงสุดเมื่อ $p=1/2$ นั้นตีความได้ว่า เราไม่รู้(ข้อมูล)ว่าเหรียญจะออกหัวหรือก้อยเท่าๆ กัน หรือพูดอีกอย่างคือการเข้าถึงผลลัพธ์นั้นยากสุดสำหรับกรณีนี้ เพื่อให้เห็นภาพเราพิจารณาตัวอย่างเดิมแต่ตอนนี้เหรียญเรานั้นมีการถ่วงน้ำหนักด้านหัว ดังนั้นเวลาโยนเหรียญโอกาสที่จะออกหัวนั้นมีมากกว่า สมมุติให้เป็น $p=3/4$ ดังนั้น โอกาสที่จะออกก้อยเป็น $1-p=1/4$ ค่าเอนโทรปีในกรณีเป็น

$$S = -\frac{3}{4}\log_2\frac{3}{4} - \frac{1}{4}\log_2\frac{1}{4} \approx 0.81 \tag{9}$$

จะเห็นได้ว่าน้อยกว่า 1 และแสดงถึงข้อมูลที่ลดลงด้วยเพราะการเข้าถึงคำตอบที่ง่ายขึ้นกว่ากรณีแรกนั้นเอง (เดาได้ดีขึ้นหรือความไม่รู้น้อยลง) สำหรับกรณีที่เราถ่วงน้ำหนักเหรียญดีมากให้ออกแต่หัวอย่างเดียว $p=1$ ค่าเอนโทรปี $S=0$ นั้นหมายความว่าไม่มีข้อมูลสำหรับกรณีนี้เพราะเรารู้คำตอบทุกครั้งที่โยนเหรียญ (ไม่มีคำว่า ไม่รู้ อีกแล้ว) ดังนั้นเราอาจจะพูดได้ง่ายๆ ว่า ยิ่งเดาคำตอบได้ง่ายขึ้นข้อมูลยิ่งน้อยนั้นเอง

หากตอนนี้เราขยับมายังกรณี 2 เหรียญ เราจะมีรูปแบบการออกหัวก้อยทั้งหมด 4 แบบที่เป็นไปได้โดยที่มีความน่าจะเป็นเท่ากันคือ 1/4 ค่าเอนโทรปีในกรณีนี้คือ

$$\begin{aligned} S = &\frac{1}{4}\log_2 4 + \frac{1}{4}\log_2 4 \\ &+ \frac{1}{4}\log_2 4 + \frac{1}{4}\log_2 4 = 2 \end{aligned} \tag{10}$$

เลข 2 นี้ คือ จำนวนบิตข้อมูลของระบบ และแน่นอนว่าหากเราต้องการใช้บิตแสดงสถานะย่อยทั้งหมดที่เป็นไปได้เราต้องการ 2 บิตดังรูปที่ 12 การที่เอนโทรปีในกรณี 2 เหรียญนี้มากกว่ากรณี 1 เหรียญนั้นบอกว่าการเดาผลลัพธ์นั้นยากกว่าหรือความไม่รู้ในผลการออกหัวก้อยโตกว่านั้นเอง

รูปที่ 12 แสดงผลลัพธ์ทั้งหมดของการโยนเหรียญ 2 เหรียญ

ที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นกรณีที่ระบบเป็นระบบคลาสสิกแบบมหภาค หากเราต้องการศึกษาระบบควอนตัม การนิยามข้อมูลมีความแตกต่างกันเพราะพื้นฐานของการเข้าไม่ถึงนั้นมีธรรมชาติที่ต่างกัน กล่าวคือ ฟังก์ชันคลื่น (Wave Function) ของระบบนั้นสามารถเขียนในรูปของผลรวมเชิงเส้นของสถานะย่อยทั้งหมด $\{|\psi_1\rangle, |\psi_1\rangle, \ldots\}$ ที่เป็นไปได้เรียกว่า การซ้อนทับ (Superposition)

$$|\psi\rangle = \sum_i a_i |\psi_i\rangle \tag{11}$$

โดย a_i เป็นจำนวนเชิงซ้อนที่เป็นไปตามเงื่อนไข $\sum_i |a_i|^2 = 1$ และ $p_i = |a_i|^2$ คือความน่าจะเป็นที่สอดคล้องกับสถานะย่อย $|\psi_i\rangle$ เมื่อเราทำการตรวจวัดว่าระบบอยู่ในสถานะย่อยอันไหน จะทำให้เกิดการยุบตัว (Collapse) ของฟังก์ชันคลื่นให้ผลลัพธ์อย่างสุ่มออกมาเป็น 1 ในสถานะย่อยทั้งหมดที่เป็นไปได้ ซึ่งตรงนี้เป็นการเข้าไม่ถึง (หรือความไม่รู้) ของผลลัพธ์ที่จะออกมาและเป็นบ่งบอกถึงการมีอยู่ของข้อมูลที่บรรจุในระบบนั้นเอง สิ่งที่สำคัญต่อไปคือฟังก์ชันคลื่นนั้นวิวัฒน์ไปในเวลาผ่านตัวดำเนินการยูนิแทรี (Unitary Operator) U ดังสมการ

$$|\psi(t+\tau)\rangle = U(\tau)|\psi(t)\rangle \tag{12}$$

โดยที่เงื่อนไข $\sum_i |a_i|^2 = 1$ ยังคงเป็นจริง นั้นหมายความว่าการเข้าไม่ถึงข้อมูลของสถานะย่อยที่จะออกมาเป็นผลลัพธ์ยังคงอยู่เหมือนเดิมหรือพูดอีกอย่างว่า ข้อมูลไม่สูญหาย (กฎอนุรักษ์ข้อมูลในแบบควอนตัม)

เพื่อให้เห็นภาพข้างต้นมากขึ้น เราจึงขอยกตัวอย่าง การวัดสถานะสปินของอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็กซึ่งในตอนเริ่มต้นอยู่ในสถานะซ้อนทับกันระหว่าง ขึ้น และ ลง ด้วยความจะเป็นเท่ากันคือ ½

$$|s\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|\mathrm{UP}\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|\mathrm{DOWN}\rangle \tag{13}$$

เมื่อทำการคำนวณค่าแชนนอนเอนโทรปีสำหรับกรณีนี้เราจะได้เอนโทรปีเท่ากับ 1 นั้นบอกเราว่าระบบมีข้อมูลบรรจุอยู่ 1 บิตนั้นเอง ดังนั้นหากเราจะใช้บิตในการแสดงสถานะย่อยเราสามารถกำหนดให้ $0 = \mathrm{UP}$ และ $1 = \mathrm{DOWN}$ เราจะเขียนสถานะสปินของอิเล็กตรอนใหม่ได้เป็น

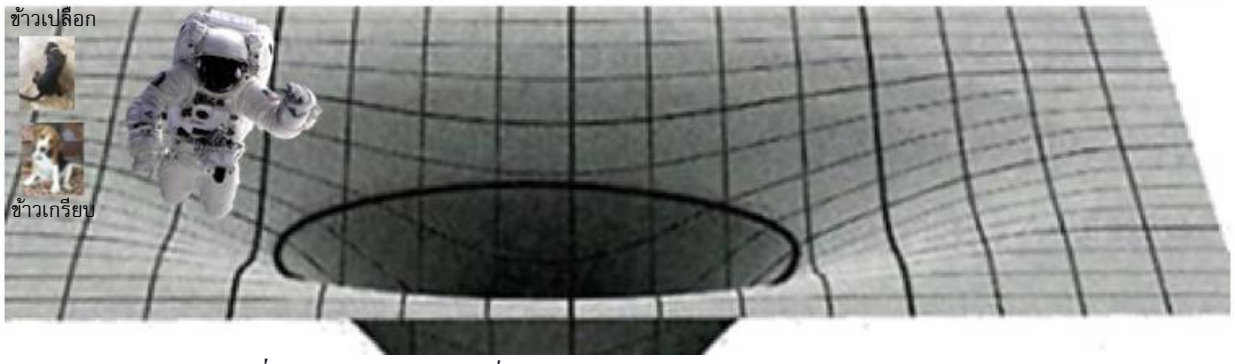
$$|s\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|1\rangle \tag{14}$$

ซึ่งบอกเราว่า 1 บิตเพียงพอที่จะแสดงผลสถานะย่อยทั้งหมดของสปินอิเล็กตรอน 1 ตัว

ข้อสังเกต แน่นอนว่าคำอธิบายการเข้าไม่ถึงสถานะย่อยนั้นไม่ต่างกันกับกรณีระบบคลาสสิกมหภาค แต่สิ่งที่พิเศษกว่าคือข้อมูลแบบควอนตัมนั้นอยู่ในสถานะซ้อนทับเรียกว่า คิวบิต (Qubit) โดย Qu นั้นย่อมาจาก Quantum นั้นเอง

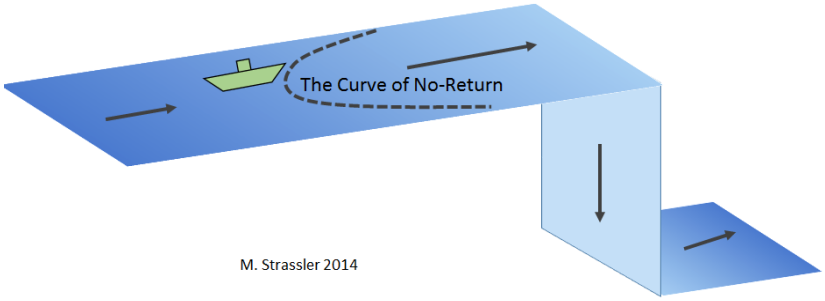
การก้าวข้ามขอบฟ้าเหตุการณ์ของหลุมดำ: คำอธิบายของทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป

ในหัวข้อที่แล้วเราได้ทำการอธิบายความหมายของข้อมูลไปพอสมควร ตอนนี้เรากลับมายังพระเอกของเราคือเจ้าหลุมดำนั้นเอง คำถามคือหากเราก้าวข้ามขอบฟ้าของเหตุการณ์จะเกิดอะไรขึ้น เราขอยกตัวอย่างดังต่อไปนี้ สมมุติให้มีนักบินอวกาศกำลังลอยเข้าใกล้เส้นขอบฟ้าเหตุการณ์ของหลุมดำ โดยมีข้าวเกรียบและข้าวเปลือก (ลูกรักอีกคนของผู้เขียน) เป็นผู้สังเกตอยู่ด้านนอกดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสดงสถานการณ์ที่นักบินอวกาศกำลังลอยเข้าใกล้เส้นขอบฟ้าเหตุการณ์

นักบินอวกาศจะพบว่าเขาลอยผ่านเส้นขอบฟ้าเหตุการณ์ไปอย่างปกติ (No Drama) (สำหรับหลุมดำขนาดใหญ่) ซึ่งเป็นผลจากทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปที่บอกเราว่า กาลอวกาศบริเวณรอยต่อด้านในขอบฟ้าเหตุการณ์ไม่ได้พิเศษไปกว่ากาลอวกาศด้านนอกเลย เราอาจจะเปรียบเทียบสถานการณ์ได้กับการที่เรานั่งเรือไปตามลำน้ำซึ่งด้านหน้าเป็นน้ำตกใหญ่ ขณะที่เรานั่งไปเราอาจจะไม่รับรู้ถึงว่าเราผ่านเส้นกันเขต (เส้นปะโค้ง) ที่เราจะหวนกลับไม่ได้ หรือหากเราข้ามเส้นปะนี้ไปถึงเราจะเร่งเครื่องเรือยังไงก็ไม่มีทางเอาชนะความแรงของกระแสได้น้ำ และแน่นอนว่าเราต้องมุ่งหน้าไปยังน้ำตก (เทียบได้กับจุดเอกฐาน) ดังรูปที่ 14

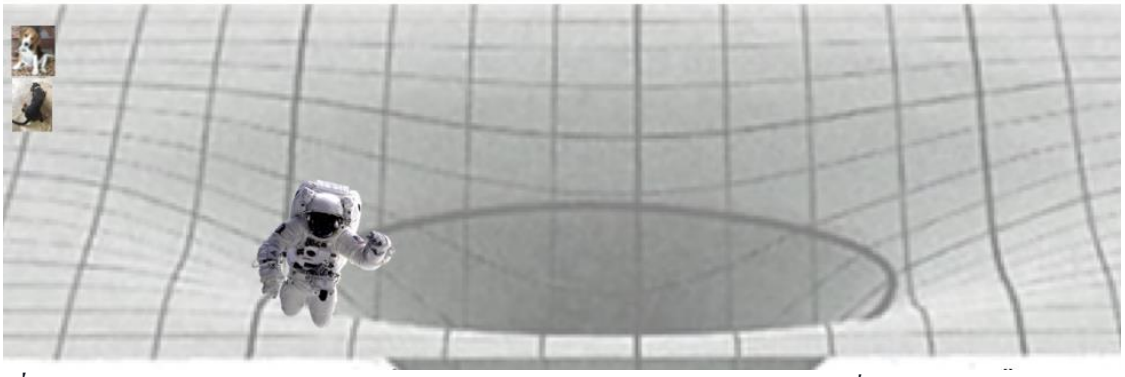


รูปที่ 14 แสดงภาพเปรียบเทียบของการก้าวข้ามเส้นขอบฟ้าเหตุการณ์ผ่านสถานการณ์น้ำตก

[https://profmattstrassler.files.wordpress.com/2014/02/bhip_waterfall.png]

เมื่อนักบินอวกาศไม่สามารถวกกลับออกมาได้และมุ่งหน้าเข้าหาจุดเอกฐาน แรงโน้มถ่วงจะเริ่มทำงาน โดยแรงโน้มถ่วงจะดึงบริเวณครึ่งล่างของนักบินอวกาศมากกว่าครึ่งบน (Tidal Force) ทำให้ตัวนักบินอวกาศนั้นยืดออก ยิ่งเคลื่อนที่เข้าใกล้จุดเอกฐานมากเท่าไรก็ยิ่งยืดออกมากเท่านั้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ปรากฏการณ์การยืดออกเป็นเส้นสปาเก็ตตี้ (Spaghettification Effect) และแน่นอนว่านักบินอวกาศจะมีจุดจบที่จุดเอกฐาน

สำหรับข้าวเกรียบและข้าวเปลือกที่เป็นผู้สังเกตด้านนอกนั้นจะเห็นว่านักบินอวกาศใช้เวลาเป็นอนันต์ (ผลของแรงโน้มถ่วงต่อเวลา) ในการที่จะข้ามขอบฟ้าเหตุการณ์ พูดง่ายๆ คือนักบินอวกาศไปติดอยู่ขอบฟ้าเหตุการณ์นั้นเองดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 ในมุมมองของผู้สังเกตภายนอกเส้นขอบฟ้าเหตุการณ์จะเห็นนักบินอวกาศติดอยู่ที่ขอบฟ้าเหตุการณ์ของหลุมดำ

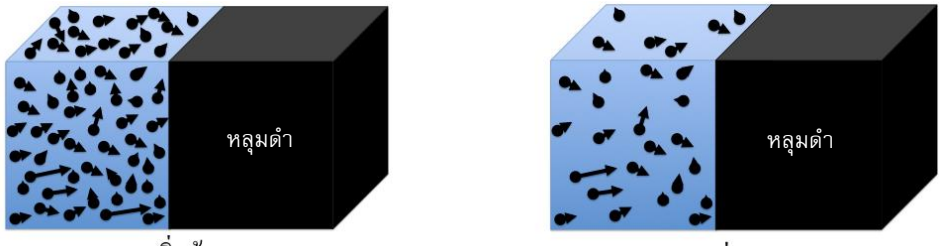
เราสรุปประเด็นได้ดังนี้

(1) สำหรับตัวนักบินเองเขาจะตกเข้าไปในหลุดดำผ่านขอบฟ้าเหตุการณ์แบบไม่รู้สึกผิดปกติอะไรที่ขอบฟ้าเหตุการณ์และไปพบจุดจบที่จุดเอกฐาน ดังนั้นข้อมูลที่เกี่ยวกับตัวเขาจะโดนล็อกอยู่ด้านในหลุดดำตลอดกาล

(2) สำหรับข้าวเกรียบและข้าวเปลือกซึ่งเป็นผู้สังเกตอยู่ภายนอกเส้นขอบฟ้าเหตุการณ์จะเห็นกว่านักบินอวกาศติดอยู่ที่ขอบฟ้าเหตุการณ์ ดังนั้นเขาไม่ได้หายไปไหนและข้อมูลเกี่ยวกับตัวเขาก็ไม่ได้หายไปไหนด้วย

เอนโทรปีที่ลดลงของระบบที่มีหลุมดำ

เป็นที่รู้กันที่ดีกว่าเอนโทรปีของระบบโดดเดี่ยวที่วิวัฒน์ไปในกระบวนการที่ผันกลับไม่ได้นั้นเอนโทรปีมีค่าเพิ่มขึ้นเสมอตามกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ ตอนนี้เราพิจารณาสถานการณ์ที่เราเอากล่องบรรจุแก๊สมาต่อกับกล่องที่ทำตัวเป็นหลุมดำ หากโมเลกุลวิ่งผ่านผนังรอยต่อระหว่างกล่องซึ่งทำตัวเป็นขอบฟ้าเหตุการณ์จะไม่สามารถกลับออกมาจากกล่องหลุมดำได้ เราพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปจำนวนโมเลกุลจะมีจำนวนลดลงตามลำดับดังรูปที่ 16 ซึ่งบ่งบอกถึงจำนวนรูปแบบการว่างตัวของโมเลกุลที่ลดลงด้วย ซึ่งเป็นผลทำให้เอนโทรปีของระบบลดลง แน่นอนว่าขัดกับกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์อย่างเห็นได้ชัดเจน



รูปที่ 16 แสดงการลดลงของเอนโทรปีผ่านการที่จำนวนโมเลกุลในกล่องลดลงเพราะต่อกับหลุมดำ

ในปี 1972 จาคอป เบกเคนสไตน์ (Jacob Bekenstein) ได้เสนอทางออกว่าต้องรวมหลุมดำเข้าไปในระบบด้วยและตัวหลุมดำเองต้องมีเอนโทรปีซึ่งทำให้กฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกซ์กลับมาเป็นจริงอีกครั้ง $\Delta S_{\text{gas}} + \Delta S_{\text{BH}} > 0$ โดยที่เอนโทรปีของหลุมดำขึ้นกับพื้นที่ของขอบฟ้าเหตุการณ์ตามสมการ [2]

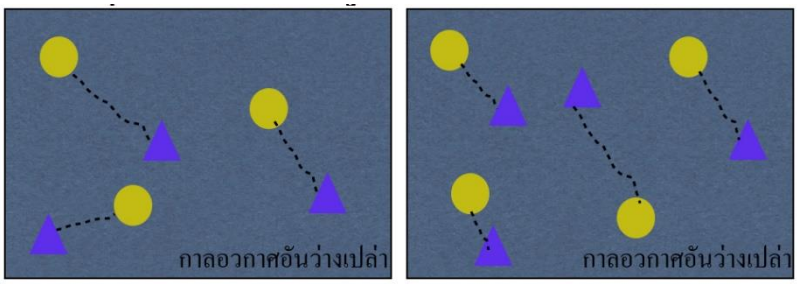
$$S_{\text{BH}} = \frac{A}{4l_{\text{p}}{}^2} \tag{15}$$

โดยที่ A คือพื้นที่ขอบฟ้าเหตุการณ์ และ l_{p} คือความยาวแพลงค์ (Planck Length)

การแผ่รังสีของหลุมดำ: ผลของควอนตัมฟิสิกส์

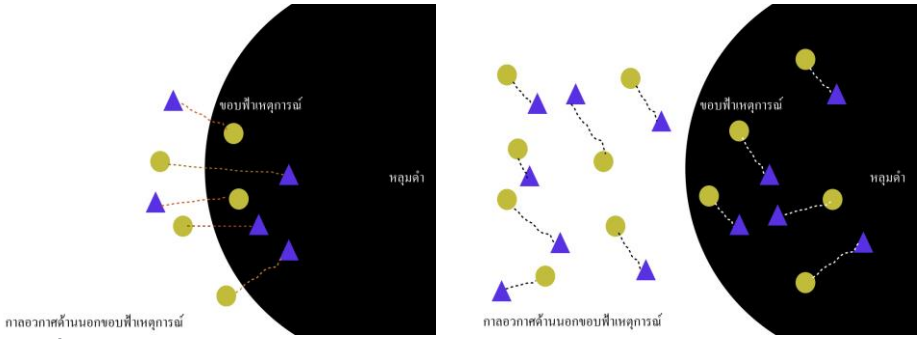
การเสนอว่าหลุมดำมีเอนโทรปีของเบกเคนสไตน์นั้น แก้ปัญหาข้อขัดแย้งกับกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ แต่กลับนำไปสู่ปัญหาที่ยิ่งใหญ่กว่า เพราะการเปลี่ยนเอนโทรปีนั้นบอกว่าระบบต้องมีอุณหภูมิค่าหนึ่ง: $\delta S = \delta Q/T$ และนำไปสู่การแผ่รังสี ประเด็นอยู่ที่ว่าปกติแล้วหลุมดำจะดูดกลืนทุกอย่างที่ก้าวข้ามผ่านเส้นขอบฟ้าเหตุการณ์แล้วจะปลดปล่อยรังสีออกมายังไง?

ในปี 1974 สตีเฟน ฮอร์คิง (Stephen Hawking) ได้เสนอว่าหลุมดำนั้นระเหยได้โดยผ่านกระบวนการแผ่รังสี ซึ่งต่อมารู้จักกันในชื่อ การแผ่รังสีของฮอว์คิง (Hawking's Radiation) [3] ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากความแปลกประหลาดของทฤษฎีควอนตัม กล่าวคือ ตามแนวคิดทฤษฎีควอนตัมนั้นสำหรับบริเวณกาลอวกาศที่มองว่าว่างเปล่าแต่อันที่จริงแล้วมีกิจกรรมอันยุ่งเหยิงเกิดขึ้นตลอดเวลา กิจกรรมนั้นคือ การเกิดคู่อนุภาคเสมือน (Virtual Particle Pair) ซึ่งเกิดในช่วงเวลาอันสั้นแล้วหายไปหรืออาจบอกได้ว่ามีการเกิดดับๆของคู่อนุภาคเสมือนจำนวนมากมายตลอดเวลาดังรูปที่ 17



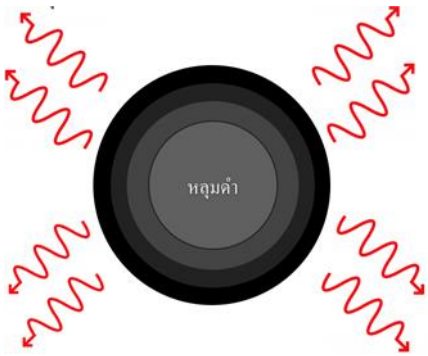
รูปที่ 17 *ภาพแสดงคู่อนุภาคเสมือนที่เกิดขึ้นบริเวณกาลอวกาศอันว่างเปล่า ณ เวลาต่างกัน*

แน่นอนว่ากาลอวกาศรอบๆ หลุมดำย่อมเกิดคู่อนุภาคเสมือนมากมายตลอดเวลา หากคู่ใดเกิดขึ้นด้านนอกหรือด้านในขอบฟ้าเหตุการณ์นั้นจะเกิดดับๆ ดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 *ภาพจำลองแสดงการเกิดคู่อนุภาคเสมือนรอบบริเวณขอบฟ้าเหตุการณ์ของหลุมดำ*

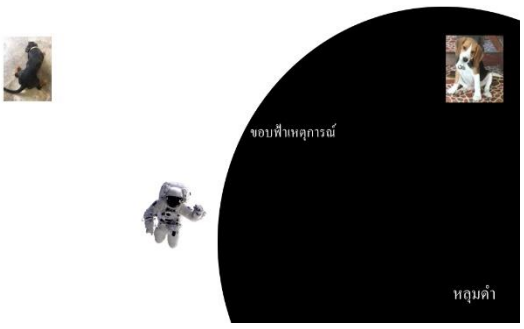
สำหรับกรณีที่คู่เสมือนที่เกิดแบบว่าตัวหนึ่งอยู่ด้านนอกขอบฟ้าเหตุการณ์และอีกตัวตกอยู่ด้านในขอบฟ้าเหตุการณ์ จะไม่สามารถกลับมารวมและหายไปได้ ทำให้อนุภาคที่อยู่ด้านนอกนั้นเป็นอิสระเกิดเป็นอนุภาคจริงขึ้นมา (Real Particle) หรือเรียกว่า อนุภาคฮอร์คิง (Hawking Particle) หนีออกไปจากหลุมดำดังรูปที่ 18 การที่จะทำให้คู่อนุภาคเสมือนกลายเป็นอนุภาคจริง 1 ตัวที่วิ่งออกจากหลุมดำนั้นต้องใช้พลังงาน ซึ่งแน่นอนว่าพลังงานและมวลนั้นสัมพันธ์กันดังนั้นกระบวนการดังกล่าวทำให้มวลของหลุมดำลดลงดังรูปที่ 19 เมื่อเวลาผ่านไปหลุมดำจะระเหยและหายไปในที่สุดเหลือไว้แต่รังสีฮอว์คิงที่เคยแผ่ออกมา ดังนั้นข้อมูลของสิ่งต่างๆ ที่ตกเข้าไปในหลุมดำก็จะหายไปตลอดกาล



รูปที่ 19 แสดงการหดตัวลงเนื่องจากหลุมดำนั้นแผ่รังสี

หลักการเติมเต็มของหลุมดำ

ในปี 1992 เจอราด ทูฟ (Gerard 't Hooft) และ ลีโอนาร์ด ซัสคินด์ (Leonard Susskind) และ ลารัส ทอร์ลาเชียส (Larus Thorlacius) ได้เสนอแนวคิด หลักการเติมเต็มของหลุมดำ (Principle of Black Hole Complementarity) [4,5,6] โดยมีใจความว่า หากมีผู้สังเกต 2 คน คนหนึ่งอยู่ด้านนอกขอบฟ้าเหตุการณ์ (ข้าวเปลือก) อีกคนอยู่ด้านในขอบฟ้าเหตุการณ์ (ข้าวเกรียบ) โดยทั้งคู่สังเกตนักบินอวกาศที่กำลังลอยข้ามเส้นขอบฟ้าเหตุการณ์

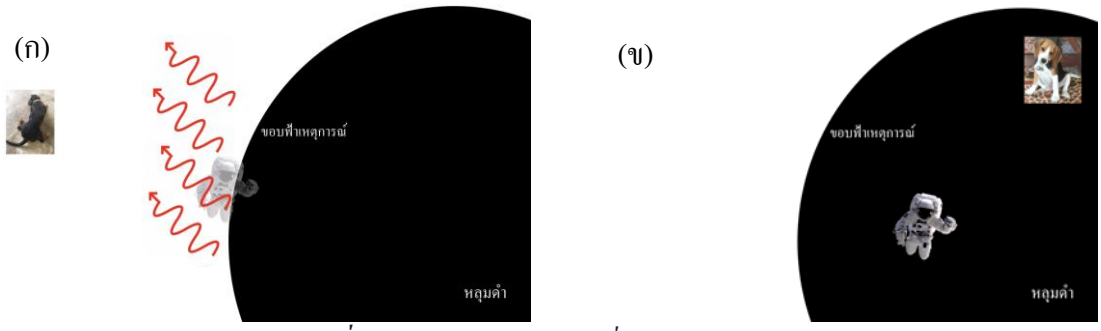


รูปที่ 20 ข้าวเปลือกและข้าวเกรียบสังเกตนักบินอวกาศกำลังลอยข้ามขอบฟ้าเหตุการณ์ของหลุมดำ

ในมุมมองของข้าวเปลือกที่อยู่ด้านนอกนั้น จะเห็นว่านักบินอวกาศติดอยู่ที่ขอบฟ้าเหตุการณ์แล้วแปลงสภาพไปเป็นรังสีฮอร์คิงในที่สุด ซึ่งข้อมูลของนักบินจะติดกลับออกมากับรังสีฮอร์คิงแต่เป็นข้อมูลที่เละเทะ (Scramble Information) ดังรูปที่ 21(ก)

ในมุมมองของข้าวเกรียบที่อยู่ด้านในนั้น จะเห็นว่านักบินอวกาศผ่านเส้นขอบฟ้าเหตุการณ์มาอย่างไม่มีอะไรเกิดขึ้นเป็นพิเศษ และไปเจอจุดจบที่จุดเอกฐานของหลุมดำ ข้อมูลของเขาจะถูกกักเก็บไว้ภายในหลุมดำ ดังรูปที่ 21(ข)

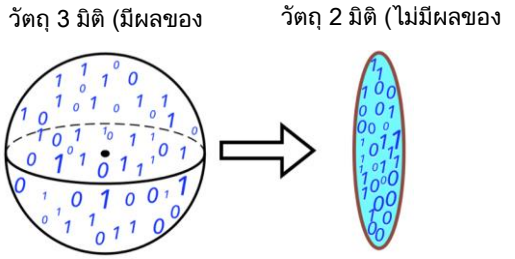
ถึงแม้ข้าวเปลือกและข้าวเกรียบสังเกตพบปรากฏการณ์ที่แตกต่างกันมาก แต่ขอบฟ้าเหตุการณ์ทำให้ไม่มีผู้สังเกตคนใดที่สามารถสังเกตเหตุการณ์ทั้งสองได้พร้อมกันโดยหลักการ จึงไม่มีปัญหาในการเปรียบเทียบกัน คล้ายๆ กับ หลักการเติมเต็ม (Principle of Complementarity) ในทฤษฎีควอนตัม ที่ผู้สังเกตไม่สามารถวัดค่าที่แน่นอนของตำแหน่งและโมเมนตัมพร้อมกันได้



รูปที่ 21 แสดงผลของผู้สังเกตที่มีต่อนักบินอวกาศ
(ก) ผู้สังเกตอยู่ด้านนอกขอบฟ้าเหตุการณ์ (ข) ผู้สังเกตอยู่ด้านในขอบฟ้าเหตุการณ์

หลักการโฮโลกราฟฟิก

แนวคิดของ ทูฟ และ ซัสคินด์ นั้นมีคำอธิบายสำคัญหนึ่งที่ต่อมาเรียกว่า หลักการโฮโลกราฟฟิก (Holographic Principle) [7] อธิบายได้ง่ายๆ ว่า วัตถุใน 3 มิติ (ที่มีผลของความโน้มถ่วง) สามารถอธิบายได้ด้วยวัตถุใน 2 มิติ (ไม่มีผลของแรงโน้มถ่วง) ดังนั้นเราอาจจะมองได้ว่า ข้อมูลที่บรรจุอยู่ด้านในหลุมดำ (สำหรับผู้สังเกตที่อยู่ด้านในเส้นขอบฟ้าเหตุการณ์) นั้น สามารถอธิบายได้เหมือนกับข้อมูลที่เก็บอยู่ที่ผิวของขอบฟ้าเหตุการณ์ (สำหรับผู้สังเกตที่อยู่ด้านนอกเส้นขอบฟ้าเหตุการณ์) และข้อมูลส่วนที่ผิวนี้จะถูกรังสีฮอว์คิงพาออกมานั้นเอง



รูปที่ 22 ภาพแสดงหลักการโฮโลกราฟฟิก

ดังนั้นข้อมูลของนักบินอวกาศไม่ได้หายไปแต่หลุดออกมาพร้อมกับรังสีฮอร์คิง ถึงแม้หลุมดำจะระเหยหายไปข้อมูลก็ไม่ได้หายไป

ข้อสังเกต ตอนนี้เรามีข้อมูล 2 ชุดที่เหมือนกัน แต่หลักการควอนตัมไม่อนุญาตให้เราโคลนข้อมูล (เละเทะ) ที่เหมือนกัน 2 ชุดได้ (No Cloning Theorem) อย่างไรก็ตามเมื่อผู้สังเกตทั้ง 2 สื่อสารกันไม่ได้ (เนื่องจากโดนกันด้วยขอบฟ้าเหตุการณ์) ก็ไม่เกิดปัญหาเพราะไม่สามารถนำเอาข้อมูลมาเปรียบเทียบกันได้ทำนองเดียวกับหลักการเติมเต็มของการวัดในกลศาสตร์ควอนตัม

เราขอใช้พื้นที่ตรงนี้อธิบายหลักการว่าทำไมโคลนข้อมูลควอนตัมไม่ได้ สมมุติเริ่มต้นเราต้องการที่จะโคลน (สร้างอีกอัน) ของสถานะควอนตัมใดใด $|\Psi\rangle$ โดยมีเบสิส (basis: สถานะฐานหลักที่สามารถใช้เป็นฐานในการกระจายสถานะทั่วไป) คือ $|0\rangle$ และ $|1\rangle$ ผ่านลงไปยังสถานะเตรียมถูกโคลนซึ่งให้เป็น $|0\rangle$ (เป็นหนึ่งในเบสิสของสถานะ) ดังนั้นในตอนเริ่มต้น สถานะควอนตัมเขียนได้เป็นสถานะร่วม (Joint State) ผ่านการคูณแบบเทนเซอร์ (Tensor Product)

$$|\Psi\rangle\otimes|0\rangle\equiv|\Psi\rangle|0\rangle \tag{16}$$

สิ่งที่เราต้องการหาคือตัวดำเนินการยูนิแทรี่ U ที่ทำให้

$$U|\Psi\rangle|0\rangle=|\Psi\rangle|\Psi\rangle \tag{17}$$

จากเงื่อนไขด้านบนหากตัวดำเนินการ มีอยู่จริงเราสามารถโคลนเบสิสของระบบได้ดังต่อไปนี้

$$U|0\rangle|0\rangle = |0\rangle|0\rangle \tag{18.1}$$

$$U|1\rangle|0\rangle = |1\rangle|1\rangle \tag{18.2}$$

ซึ่งก็ดูไม่ได้มีปัญหาอะไร ตอนนี้เราต้องการโคลนสถานะควอนตัมใดใดอีกอัน $|\Phi\rangle$ (โดยมีเบสิส คือ $|0\rangle$ และ $|1\rangle$ เช่นกัน)

$$U|\Phi\rangle|0\rangle = |\Phi\rangle|\Phi\rangle \tag{19}$$

ประเด็นอยู่ที่ว่าหากเราเริ่มต้นพิจารณาผลคูณภายใน (Inner Product) ต่อไปนี้

$$\begin{aligned}&\left(\langle 0|\otimes\langle\Psi|\right)\left(|\Phi\rangle\otimes|0\rangle\right)\\&=\langle\Psi|\Phi\rangle\otimes\langle 0|0\rangle = \langle\Psi|\Phi\rangle\otimes I = \langle\Psi|\Phi\rangle\end{aligned} \tag{20}$$

อาศัยสมบัติของตัวดำเนินการยูนิแทรี่ $U^{\dagger}U = I$ เติมเข้าไปทางด้านซ้ายของสมการ (20) ได้ว่า

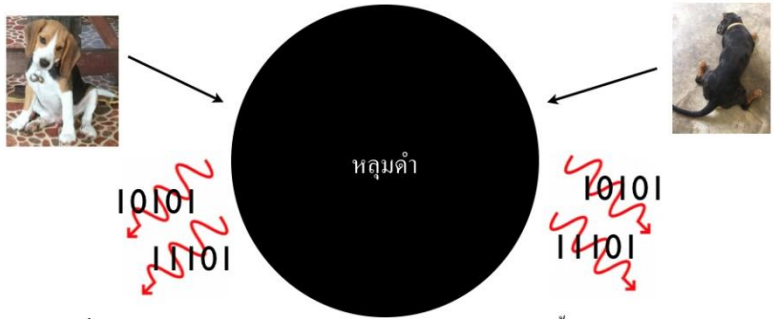
$$\begin{aligned}&\left(\langle 0|\otimes\langle\Psi|\right)U^{\dagger}U\left(|\Phi\rangle\otimes|0\rangle\right)\\&=\langle\Psi|\langle\Psi|\otimes|\Phi\rangle|\Phi\rangle\\&=\langle\Psi|\Phi\rangle\langle\Psi|\Phi\rangle = |\langle\Psi|\Phi\rangle|^2\end{aligned} \tag{21}$$

เทียบทางด้านขวาของสมการ (20) และ (21) จะได้ว่า

$$\begin{aligned}&|\langle\Psi|\Phi\rangle|^2 = \langle\Psi|\Phi\rangle\\&\Rightarrow\quad\left(\langle\Psi|\Phi\rangle - 1\right)\langle\Psi|\Phi\rangle = 0\end{aligned} \tag{22}$$

สมการที่ (22) เป็นจริงเมื่อ ก) $\langle\Psi|\Phi\rangle = 0$ หรือ ข) $\langle\Psi|\Phi\rangle = 1$ ดังนั้น ตั้งฉากหรือไม่ก็เป็นสถานะเดียวกับ $|\Phi\rangle$ ซึ่งขัดแย้งกับข้อสมมุติของการพิสูจน์ว่า $|\Psi\rangle$ และ $|\Phi\rangle$ เป็นสถานะใดใดก็ได้ ทำให้เราสรุปได้ว่ากระบวนการโคลนสถานะควอนตัมไม่สามารถทำได้อย่างทั่วไป หรือตัวดำเนินการ ดังกล่าวไม่มีอยู่จริง

ปัญหาข้อมูลที่หายไปเหมือนจะได้รับการแก้ไข แต่หากเราพิจารณาดีๆ แล้วนั้นเราจะพบว่าปัญหายังคงอยู่ เพราะว่าถึงแม้ข้อมูลไม่ได้หายไปกับหลุมดำและออกมากับรังสีฮอร์คิง แต่ก็เป็นข้อมูลที่ไม่มีประโยชน์บอกอะไรไม่ได้ เช่น หากข้าวเปลือกและข้าวเกรียบซึ่งสมมุติให้มีมวล 1 กิโลกรัมเท่ากันตกลงไปในหลุมดำ สิ่งที่เราจะได้กลับออกมาคือรังสีฮอร์คิงที่เละเทะเหมือนกัน ทำให้เราไม่สามารถบอกได้ว่าอันไหนเกิดจากข้าวเกรียบ อันไหนเกิดจากข้าวเปลือก ว่าง่ายๆ คือ สืบกลับไปไม่ได้นั้นเอง

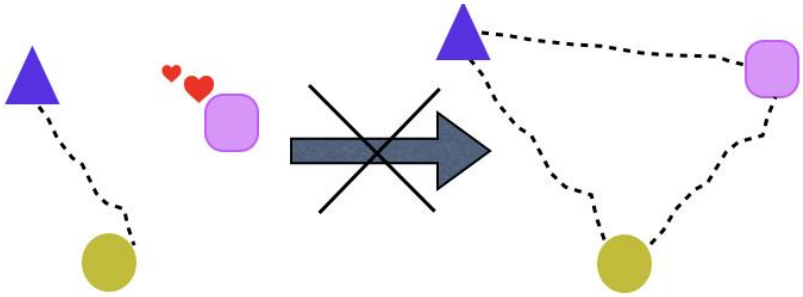


รูปที่ 23 *แสดงข้อมูลเละเทะที่ออกมาจากหลุมดำเหมือนกันของข้าวเกรียบและข้าวเปลือกที่ตกลงไป*

ปัญหากำแพงไฟ

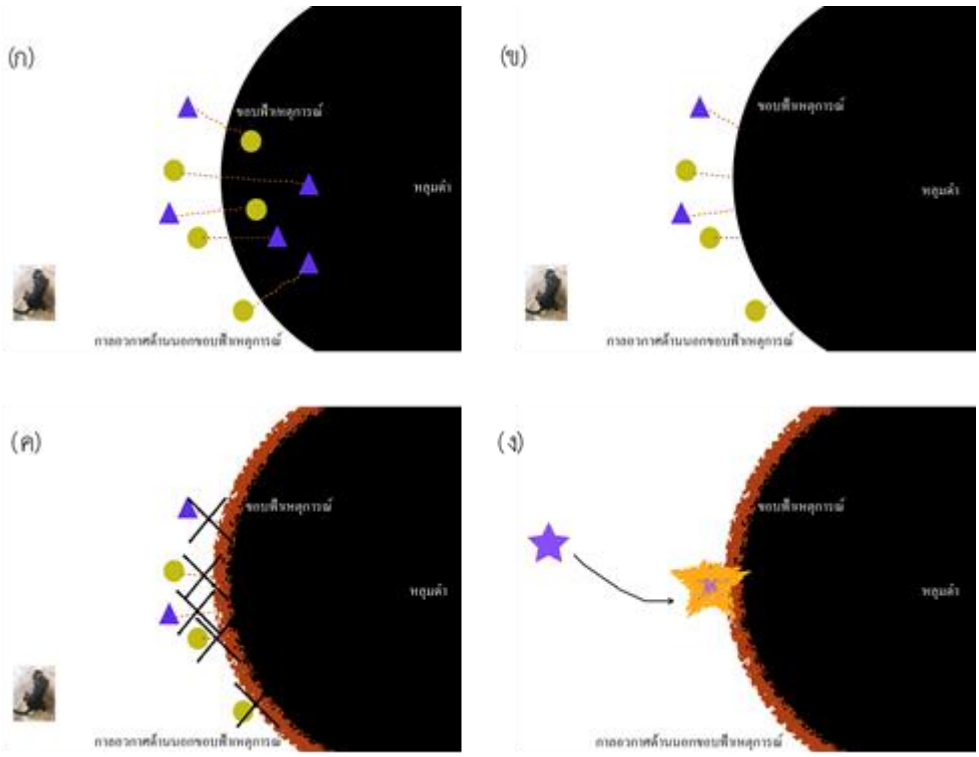
ปัญหาเก่าเรื่องข้อมูลที่เละเทะยังไม่ได้รับการแก้ไข ปัญหาใหม่ก็มา ในปี 2012 โจเซฟ โพลชินสกี (Joseph Polchinski) และเพื่อนร่วมงานได้เสนอแนวคิดว่า รังสีฮอร์คิงนั้นล่ะคือตัวปัญหา ซึ่งอาจจะนำไปสู่การทบทวนทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปหรือทฤษฎีควอนตัมกันใหม่เลยก็ว่าได้ [8]

เรากลับไปยังต้นตอของรังสีฮอร์คิง ซึ่งเกิดมาจากคู่อนุภาคเสมือน ความพิเศษของคู่เสมือนนี้คือเมื่อเกิดขึ้นมาทั้งคู่จะมีความสัมพันธ์พิเศษที่เรียกว่า เอนแทงเกิลเมนต์ (Entanglement) เชื่อมโยงกันอยู่ในสถานะเป็นแบบสูงสุด (Maximally Entangled state) ดังนั้นเปรียบเทียบทั้งคู่จะมีความสัมพันธ์เชิงผัวเดียวเมียเดียว (Monogamy) หรือพูดง่ายๆ คือ จะแชร์ความสัมพันธ์เอนแทงเกิลเมนต์นี้เฉพาะด้วยกัน 2 ตัว หากมีอนุภาคอีกตัวเข้ามา ทั้งสองก็จะไม่สนใจแชร์ความสัมพันธ์ให้เกิดเป็นรักสามเศร้า (Polygamy) ดังรูปที่ 24



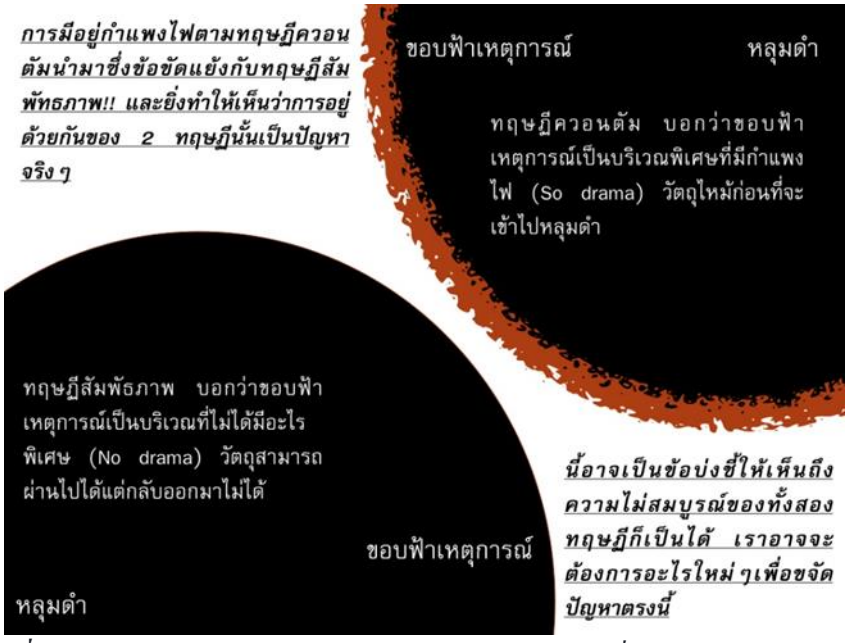
รูปที่ 24 *ภาพแสดงความสัมพันธ์ควอนตัมโมโนกามี่และควอนตัมโพลีกามี่*

ตอนนี้เรากลับไปพิจารณาคู่อนุภาคเสมือนที่เกิดขึ้นบริเวณขอบฟ้าเหตุการณ์ โดยตัวหนึ่งตกเข้าไปในเขตขอบฟ้าเหตุการณ์ แน่นอนว่าในแต่ละคู่อนุภาคเสมือนนั้นแชร์ความสัมพันธ์เอนเทงเกิลเมนต์กันอยู่ดังรูปที่ 25(ก) ดังนั้นสำหรับมุมมองของข้าวเปลือกซึ่งสังเกตอยู่ภายนอกเส้นขอบฟ้าเหตุการณ์ ย่อมเข้าไม่ถึงคู่อนุภาคที่ตกเข้าไปในหลุมดำ ทำให้เห็นว่าอนุภาคทั้งหมดที่เหลือนั้น เชื่อมความสัมพันธ์ กับ ขอบฟ้าเหตุการณ์ของหลุมดำ เหมือนกันหมดดังรูปที่ 25(ข) แต่อย่างที่ได้อธิบายก่อนหน้านี้ว่าแต่ละคู่นั้นรักเดียวใจเดียว ดังนั้นทางออกที่เป็นไปได้คือแต่ละคู่ต้องตัดความสัมพันธ์กันนำไปสู่การก่อตัวของพลังงานที่ขอบฟ้าเหตุการณ์ เกิดเป็น กำแพงไฟ (Fire Wall) ดังรูปที่ 25(ค) หากตอนนี้มีอะไรตกลงไปในหลุมดำ เมื่อถึงขอบฟ้าเหตุการณ์ชะตากรรมเดียวที่จะเจอคือโดนปิ้งสดเผาไหม้เป็นธุลี ดังรูปที่ 25(ง)



รูปที่ 25 *แสดงกระบวนการก่อเกิดกำแพงไฟที่ขอบฟ้าเหตุการณ์ของหลุมดำ*

การก่อกำแพงไฟที่ขอบฟ้าเหตุการณ์นั้นทำให้เวลานักบินอวกาศผ่านเส้นขอบฟ้าเหตุการณ์จะรับรู้ทันทีเพราะเขาจะโดนเผาไหม้ (So Drama) ทำให้เกิดข้อขัดแย้งกันระหว่าง 2 ทฤษฎี กล่าวคือ ทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปบอกว่านักบินอวกาศลอยผ่านเส้นขอบฟ้าเหตุการณ์ไม่ได้มีอะไรพิเศษแต่เมื่อผ่านเข้าไปแล้วกลับออกมาไม่ได้ ขณะที่ทฤษฎีควอนตัมบอกว่านักบินอวกาศจะโดนเผาเป็นจุลที่เส้นขอบฟ้าเหตุการณ์ไม่ได้เข้าไปข้างใน คำถามคือแนวคิดทฤษฎีไหนถูก ตอนนี้ยังไม่มีคำตอบ แต่นักฟิสิกส์หลายคนเชื่อว่าทางออกของปัญหานี้ต้องการทฤษฎีที่ทั่วไปยิ่งกว่าหรือทฤษฎีที่ผลการทำนายทางควอนตัมและสัมพัทธภาพทั่วไปสอดคล้องกัน



รูปที่ 26 *ภาพสรุปประเด็นข้อขัดแย้งระหว่างทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปและทฤษฎีควอนตัม*

ER=EPR

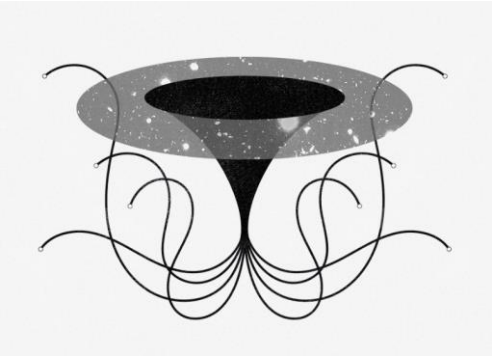
ในปี 2013 ลีโอนาร์ด ซัสคินด์ (Leonard Susskind) และ ฮวน มัลดาเซ่นา (Juan Maldacena) ได้เสนอแนวคิดอันแปลกประหลาดแต่น่าสนใจมากๆ โดยเป็นที่รู้จักกันในชื่อ ER=EPR [9]

โดย ER นั้นย่อมาจาก Einstein-Rosen Bridge หรือ รูหนอน (Wormhole) ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อกาลอวกาศ 2 บริเวณเข้าด้วยกันผ่านช่องทางพิเศษ ซึ่งเจ้าช่องทางพิเศษนี้เป็นไปได้ในกาลอวกาศโค้งดังรูปที่ 27(ก) กาลอวกาศโค้งแบบรูหนอนนั้นเป็นผลเฉลยชนิดหนึ่งของสมการไอน์สไตน์ในทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปโดยตรง

ขณะที่ EPR นั้นย่อมาจาก Einstein- Podolsky-Rosen paradox หรือ เอนแทงเกิลเมนต์ที่เชื่อมโยงคู่อนุภาคเอาไว้ดังที่ได้อธิบายไปในข้างต้นแล้วอันเป็นผลจากทฤษฎีควอมตัมฟิสิกส์โดยตรง ดูรูปที่ 27(ข)

รูปที่ 27 *(ก) ความโน้มถ่วงทำให้มีการเชื่อมโยงระหว่าง 2 บริเวณของกาลอวกาศผ่านรูหนอน*
(ข) ควอนตัมฟิสิกส์ทำให้เกิดความเชื่อมโยงเอนแทงเกิลเมนต์ระหว่างอนุภาคที่อยู่คนล่ะตำแหน่งในกาลอวกาศ (ดัดแปลงมาจาก [9])

แนวคิดสำคัญที่รวม ER และ EPR เข้าด้วยกันคือเราคิดว่าอนุภาคควอนตัมทั้ง 2 ที่มีความสัมพันธ์เอนแทงเกิลเมนต์นั้นเชื่อมโยงกันผ่านรูหนอนขนาดเล็ก (Tiny Wormhole) ดังนั้นอนุภาคที่ตกข้ามเข้าไปในขอบฟ้าเหตุการณ์ยังคงเชื่อมต่อกับอนุภาคที่อยู่ด้านนอกผ่านรูหนอนขนาดเล็กดังรูปที่ 28 ดังนั้นกำแพงไฟจึงไม่มีความจำเป็นอีกต่อไปและข้อมูลก็ไม่ได้สูญหายตามแนวคิดนี้



รูปที่ 28 *ภาพวาดแสดงการเชื่อมโยงระหว่างคู่อนุภาคเสมือนผ่านรูหนอนขนาดเล็กโดยในรูปนี้ถูกออกแบบให้มีลักษณะเหมือนปลาหมึก [https://www.quantamagazine.org/wormhole-entanglement-and-the-firewall-paradox-20150424]*

สรุป

ปัญหาข้อมูลที่หายไปของหลุมดำที่ฮอว์คิงจุดขึ้นมานั้นดูเหมือนจะยังไม่จบลงไปง่ายๆ นักฟิสิกส์ทั่วโลกยังคงให้ความสนใจเป็นถกเถียงกันในวงกว้าง อย่างไรก็ตามการพยายามในการแก้ปัญหาของนักฟิสิกส์หลายๆ ท่านก็ได้นำให้เราเห็นมุมมองใหม่ๆ ทั้งในแง่มุมของฟิสิกส์และคณิตศาสตร์ ถึงแม้จะยังไม่ได้นำมาซึ่งประโยชน์โดยตรงแต่การเข้าใจธรรมชาติในระดับรากฐานนั้นเป็นสิ่งจำเป็นในการขับเคลื่อนเทคโนโลยีในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชาญกิจ คันฉ่อง สำหรับข้อแนะนำและเสียสละเวลาในการช่วยแก้คำผิด อีกทั้งผู้เขียนขอขอบคุณคณะทำงานของวารสารฟิสิกส์ไทยที่เชิญให้เรียบเรียงบทความชิ้นนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ฟิสิกส์หมาหมา, "หลุมดำและข้อมูลที่หายไป...ไหน?? (Black Hole Information Paradox)," [https://www.facebook.com/pg/ฟิสิกส์หมาหมา-231145930802950/photos/?tab=album&album_id=231393184111558]

[2] J. D. Bekenstein, “Black holes and the second law,” Lettere al Nuovo Cimento 4, 737 (1972).

[3] S. W. Hawking, “Black hole explosions,” Nature 248(5443), 30 (1974).

[4] G.’t Hooft, “The black hole interpretation of string theory,” Nucl. Phys. B, 335, 138 (1990).

[5] G.’t Hooft, “On the quantum structure of a black hole,” Nucl. Phys. B, 256, 727 (1985).

[6] L. Susskind, L. Thorlacius and J. Uglum, “The stretched horizon and black hole complementarity,” Phys. Rev. D 48(8), 3743-3761 (1993).

[7] R. Bousso, “The holographic principle,” Rev. Mod. Phys. 74(3), 825 (2002).

[8] A. Almheiri, D. Marolf, J. Polchinski and J. Sully, “Black holes: complementarity or firewalls?” J. High Energ. Phys. 2013, 62 (2013).

[9] J. Maldacena and L. Susskind L, “Cool horizons for entangled black holes,” Fortsch. Phys. 61, 781 (2013).

บทความวิชาการ (Article)

ครอบครัว Hawking ผู้รักดนตรี

The Hawking: The Life as the Music Lovers

ชาญกิจ คันฉ่อง

ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทคัดย่อ

บทความนี้เรียบเรียงจากเนื้อหาที่นำเสนอในเสวนาวิชาการรำลึกถึง ศาสตราจารย์สตีเฟน ฮอว์คิง ที่เพิ่งจากไปในวันที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2561 ซึ่งจัด ณ วิทยาลัยเพื่อการค้นคว้าระดับรากฐาน (IF: The Institute for Fundamental Study) มหาวิทยาลัยนเรศวร สตีเฟน ฮอว์คิง เป็นนักฟิสิกส์ผู้ยิ่งใหญ่ในยุคปัจจุบัน และเป็นที่ทราบกันดีว่า เขาเป็นโรค ALS ที่ทำให้ขยับร่างกายส่วนใหญ่ไม่ได้ บทความนี้ไม่ได้เน้นผลงานทางฟิสิกส์ของฮอว์คิง แต่เน้น "ความรักในดนตรี" อันเป็นบุคลิกภาพสำคัญหนึ่งของครอบครัวฮอว์คิง รวมทั้งเล่าชีวิตเบื้องหลังการเป็นนักฟิสิกส์ผู้ยิ่งใหญ่ว่าเป็นการฟันฝ่าอุปสรรคต่างๆ ทั้งในทางจิตใจและโลกภายนอก จากอัตชีวประวัติที่ สตีเฟน ฮอว์คิง และ เจน ฮอว์คิง ผู้เป็นอดีตภรรยา เล่าไว้เอง

คำสำคัญ: สตีเฟน ฮอว์คิง, เจน ไวลด์ ฮอว์คิง, ดนตรีคลาสสิก, ชีวประวัติ, วิทยาลัยเพื่อการค้นคว้าระดับรากฐาน (IF)

Abstract

This article was arranged from the content present at an informal academic seminar held at Institute for Fundamental Study (IF), Naresuan University, for professor Stephen Hawking's memorial as he had just passed away on 14 March 2018. Stephen Hawking is a great physicist of the present time. He is also well known as a patient with ALS disease which causes him disability in moving the major part of his body. This article does not focus on his great works on physics but focuses on the "love of music" which is a remarkable personality of Hawking's family. This article also tells the life story behind the figure of the great physicist: the struggle of Hawking's family to encounter the obstacles in both mind and physical world, according to autobiographies which were told by Stephen and Jane Hawking, his ex-wife.

Key words: Stephen Hawking, Jane Wilde Hawking, Classical Music, Biography, Institute for Fundamental Study (IF)

> “Even if we found a complete theory of the universe, it wouldn't remove the need for music”
> (ถึงแม้เราได้ค้นพบทฤษฎีที่สมบูรณ์ของเอกภพ ก็จะไม่ลบความจำเป็นของดนตรี): Stephen Hawking [1]

Prof. Stephen Hawking (ค.ศ.1942-2018) ศาสตราจารย์ลูคาร์เซียน (Lucasian Professor of Mathematics) ของมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ (University of Cambridge) ผู้เป็นนักฟิสิกส์ทฤษฎีที่ยิ่งใหญ่ในยุคปัจจุบันที่มีคุณูปการสำคัญต่อการศึกษาทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป, จักรวาลวิทยา, และเป็นผู้หนึ่งที่บุกเบิกวิชาทฤษฎีสนามควอนตัมในอวกาศเวลาโค้ง (quantum field theory in curved spacetime) ซึ่งเป็นความพยายามเบื้องต้นในการเชื่อมโยงทฤษฎีควอนตัมเข้ากับความโน้มถ่วง ผู้เขียนได้เรียบเรียงบทความฉบับนี้จากเนื้อหาที่ใช้งานเสวนา

วิชาการ “Prof. Stephen Hawking: นักฟิสิกส์ทฤษฎีผู้มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาทฤษฎีของหลุมดำและควอนตัมของความโน้มถ่วง” เพื่อรำลึกถึง Hawking ในโอกาสที่เขาเพิ่งเสียชีวิตไปในวันที่ 14 มี.ค. 2561 ที่ **วิทยาลัยเพื่อการค้นคว้าระดับรากฐาน (IF: The Institute for Fundamental Study “The Tah Poe Academia Institute”)** มหาวิทยาลัยนเรศวร ในวันศุกร์ 23 มี.ค. 2561 [2]

ผู้เขียนเจตนาเขียนบทความรำลึกถึง Stephen Hawking บทนี้ในอีกแนวทางหนึ่งที่ไม่ค่อยได้ถูกหยิบยกขึ้นมาเล่าในเสวนาวิชาการที่รำลึกถึงเขาเท่าที่จัดในเมืองไทย โดยไม่ได้เน้นผลงานทางฟิสิกส์ แต่เน้น **“ความรักในดนตรี”** ซึ่งเป็นบุคลิกภาพสำคัญอีกด้านหนึ่งของ Stephen Hawking และครอบครัวที่ดูแลเขา ซึ่งเขาและอดีตภรรยาเล่าไว้เองในเอกสารหลักที่ผู้เขียนใช้ 2 ชิ้น คือ “สู่อนันตกาล: ชีวิตฉัน และสตีเฟ่น ฮอว์กิ้ง (Travelling to Infinity: My Life with Stephen)” [3] และ “ประวัติย่อของตัวผม (My Brief History)” [4] เล่มแรกเขียนโดย **Jane Wilde Hawking** อดีตภรรยาของ Hawking ที่ใช้ชีวิตร่วมกับเขา 30 ปี และเล่มถัดมาเป็นอัตชีวประวัติที่เขาเขียนเอง ทั้งสองเล่มเปรียบเสมือนเพลงอุปรากรที่ร้องคู่กัน (duet) ผู้สนใจควรอ่านคู่กันอย่างยิ่งเพื่อความครบถ้วนของเรื่องราวและบทเรียนชีวิตจากมุมมองของผู้อาวุโสทั้งสอง หมายเหตุว่า หนังสือของ Jane เล่าเรื่องราวละเอียดกว่ามาก ทำให้บทความนี้เป็นมุมมองจากคนรอบข้าง Hawking โดยเฉพาะจาก Jane มากกว่าตัวเขาเอง (ในบทความนี้จะเรียก Stephen Hawking ตามนามสกุลว่า Hawking อย่างที่คนทั่วไปคุ้นเคย ส่วนสมาชิกคนอื่นๆ ในครอบครัวจะเรียกชื่อแรกตามหนังสืออัตชีวประวัติของทั้งสอง ส่วนบุคคลอื่นๆ ที่ห่างออกไปก็จะเรียกตามนามสกุล)

Hawking ชอบดนตรีคลาสสิกและอุปรากร (opera) [1,3] คุณยายของเขาเป็นนักเปียโน Jane เล่าว่าการชมอุปรากรเป็นการใช้เวลาว่างตามปกติของครอบครัว Hawking สมัยหนุ่มๆ เขามีตั๋วชมอุปรากรเก็บไว้มากมาย สมัยหนึ่งที่ทั้งคู่ยังหนุ่มสาวนัดพบกัน Hawking พา Jane แอบเข้าไปในโรงละครตอนที่อุปรากรเลิกแล้ว โดยแอบขึ้นไปเล่นบนเวที โชคดีว่าประตูด้านข้างยังเปิดทำให้ทั้งคู่กลับออกไปได้ด้วยความสนุกสนาน ไม่โชคร้ายถูกขังไว้ในโรงละครที่ปิดไฟมืดทั้งคืน

Jane เล่าว่านอกจากปัญหาสุขภาพที่อันตรายของ Hawking แล้ว (Jane เปรียบปัญหาสุขภาพเป็น “มือที่สาม” ที่เข้ามาแทรกในชีวิตครอบครัว) ก็ยังมี ฟิสิกส์ ในฐานะ “มือที่สี่” ที่เอาเวลาของครอบครัวไปมาก Jane ได้นำคำบรรยายของ Mileva Maric ภรรยาคนแรกของ Einstein ในการฟ้องหย่ากับ Einstein มาเปรียบเทียบดังนี้ [3]:

“...ฉันรู้สึกว่ายังมีมือที่สี่ซึ่งได้เข้ามาครอบงำชีวิตสมรสที่แน่นขนัดของเราเพิ่มขึ้นอีก ตัวละครตัวที่สี่ได้เผยตัวในตอนแรกภายในรูปแบบของเพื่อนที่สงบและไว้ใจได้ คอยชี้แนะหนทางสู่ความสำเร็จ และช่วยเติมเต็มให้สำหรับใครก็ตามที่ยินดีทำตามคำสั่งของเธอ ซึ่งแท้จริงแล้ว เธอก็ได้พิสูจน์ว่าเธอเป็นศัตรูที่ไม่เคยอ่อนข้อ ราวกับบรรดาเมียน้อย หรือราวกับนางปักษีไซเรนจากตำนานเทพของกรีก ผู้ไม่เคยย่อท้อที่จะล่อลวงผู้ซึ่งภักดีต่อเธอให้พลัดตกลงไปสู่สายน้ำแห่งความหลงใหล เธอไม่ได้เป็นอะไรนอกไปเสียจาก ฟิสิกส์ ทั้งนี้ ตามข้อกล่าวหาจากภรรยาคนแรกของไอน์สไตน์ ที่บรรยายถึงชู้ของเขาในการฟ้องหย่า”

Hawking ทำงานฟิสิกส์ด้วยการนั่งนิ่งดิ่งลึกลงไปกับการคิดคำนวณในใจหลายๆ ชั่วโมงต่อวัน เขาไม่ชอบให้ใครรบกวน แม้แต่คนในครอบครัว เขาจะเปิดเครื่องเสียงเล่นแผ่นบันทึกดนตรีคลาสสิกด้วยระดับเสียงสูงสุด ส่วนใหญ่เป็นดนตรีของ Wagner (Hawking เคยให้สัมภาษณ์และบอกรายการ (list) ดนตรีชิ้นที่เขาชอบไว้ [5] สำหรับดนตรีชิ้นต่างๆ ที่ผู้เขียนกล่าวถึงในบทความนี้มาจากหนังสือของ Jane [3] และ Hawking [4] ซึ่งอาจไม่ตรงกับรายการดังกล่าวบ้าง) Hawking ไม่ชอบบัลเลต์ เขาเคยบอก Jane สมัยที่เริ่มคบกันว่า “บัลเลต์เป็นการใช้เวลาโดยเปล่าประโยชน์ และดนตรีประกอบการแสดงก็เป็นดนตรีแบบพื้นๆ ไม่คุ้มค่าที่จะฟัง” [3] Hawking เริ่มฟัง Wagner ตอนที่เขาเริ่มป่วยเป็น ALS ซึ่งตรวจวินิจฉัยพบตอนเขาอายุราวๆ 21 ปี เขาชอบฟังอุปรากรของ Wagner เรื่อง “The Ring Cycle” โดยเฉพาะขณะที่ทำงานฟิสิกส์ (อุปรากรเรื่องยาวนี้เป็น series มีอยู่ 4 ตอน ถ้าเปิดบันทึกเทปฟังทั้งหมด ก็จะมีความยาวนับ 10 ชั่วโมงทีเดียว)

สำหรับโรค **ALS** หรือ **Amyotrophic Lateral Sclerosis** หรือ **Lou Gehrig's disease** [6] เป็นโรคเกี่ยวกับความเสื่อมของระบบประสาทสั่งการ (motor neuron) กล้ามเนื้อลาย ทำให้ผู้ป่วยมีกล้ามเนื้ออ่อนแรงลงไปเรื่อยๆ จนขยับไม่ได้ และยังมีผลต่อการพูดและการหายใจด้วย โรคนี้ไม่ติดต่อ แต่ทำให้ผู้ป่วยมีอาการแย่ลงเรื่อยๆ จนเสียชีวิตภายในไม่กี่ปี สำหรับกรณี Hawking นับเป็นปรากฏการณ์ทาง

การแพทย์ที่เขาสามารถมีอายุยืนถึง 76 ปี ครอบครัวและหมอของ Hawking มีข้อสันนิษฐานว่า [3] Hawking อาจจะได้รับการฉีดยาจากเข็มที่ไม่สะอาดสมัยที่เขาไปเที่ยวประเทศอิหร่านในปีท้ายๆ ที่เรียนระดับปริญญาตรีที่มหาวิทยาลัยออกซ์ฟอร์ด ทำให้เขาติดไวรัสที่ทำลายระบบประสาทในเวลาต่อมา เป็นการบังเอิญว่าการผจญภัยในอิหร่านครั้งนั้น มีเหตุแผ่นดินไหว [4] ทำให้ Hawking ได้รับบาดเจ็บและต้องพักรักษาตัวระหว่างเดินทางกลับ

สำหรับ **Richard Wagner** (ค.ศ.1813–1883) คีตกวีที่ Hawking ชื่นชอบนั้น เป็นคีตกวีโรแมนติกยุคหลัง ผู้เขียนขอปริทัศน์ (review) ยุคดนตรีคลาสสิกคร่าวๆ ให้เห็นภาพดังนี้ (ผู้เขียนใช้คำบรรยายคร่าวๆ จากความรู้สึกในฐานะผู้ฟัง ส่วนคำนิยามเชิงเทคนิคจริงๆ สามารถค้นได้จาก wikipedia [7])

1. ดนตรีบาโรค (baroque music ราวๆ ค.ศ.1600–1750) เช่น คีตกวี Purcell, Vivaldi, Bach เป็นต้น มักเป็นแนวรื่นรมย์ น่ารัก เล่นได้เหมือนไม่มีที่สิ้นสุด หรือให้ความรู้สึก ศรัทธา (serene) ยำเกรงพระเจ้า

2. ดนตรียุคคลาสสิก (classical period ราวๆ ค.ศ.1750–1820) เช่น คีตกวี Haydn, Mozart, Beethoven (ในช่วงต้น) มักเป็นแนวดนตรีไพเราะ น่ารัก สง่างาม เป็นช่วงรอยต่อกับยุคถัดไป

3. ดนตรีโรแมนติกยุคต้น (early romantic music ราวๆ ค.ศ.1780–1850) เช่น คีตกวี Beethoven (ในช่วงหลัง), Schubert, Mendelssohn เป็นต้น ดนตรีมักจะหวานซึ้ง กรีดอารมณ์ อ่อนไหว งดงาม

4. ดนตรีโรแมนติกยุคหลัง (late romantic music ราวๆ ค.ศ.1850-1910 [8]) เช่น คีตกวี Wagner, Tchaikovsky, Rachmaninoff เป็นต้น ดนตรีมักจะอลังการ แสดงอารมณ์แปรผันรุนแรง (emotional) เต็มไปด้วยไฟปรารถนา และใช้เทคนิคการเล่นขั้นสูง

Jane เล่าว่าสมัยหนึ่งที่ทั้งคู่ยังหนุ่มสาวนัดพบกันไปดูอุปรากรเรื่อง “The Flying Dutchman” (ดูตัวอย่างการแสดงได้ในคลิปวิดีโอ [9]) ของ Wagner ที่ตัวเอกเป็นกัปตันเรือ [10] พยายามจะ **ต่อสู้ดิ้นรน (struggle)** ทำสิ่งที่แทบไปไม่ได้ เขาต้องการแล่นเรือผ่านแหลมกู้ดโฮป (Cape of Good Hope) สาบานกับปิศาจว่าถ้าเขาทำไม่ได้ เขาจะถูกสาปให้แล่นเรือ ต่อสู้ดิ้นรน ติดกับอยู่กลางพายุตลอดกาล เว้นแต่ว่าจะมีผู้หญิงที่รักเขาอย่างจริงใจ เขาถึงพบกับความสงบได้ เขาได้รับอนุญาตให้ขึ้นฝั่งทุก 7 ปีเพื่อตามหาผู้หญิงคนนั้น Hawking ยังเล่าถึงฉากคล้ายๆ กันในงานวิจัยของเขาที่ตรวจสอบความเป็นไปได้ของการเดินทางท่องเวลา (time travel) ตามทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปและทฤษฎีควอนตัมในหนังสืออัตชีวประวัติของเขาเองว่า [4]:

“...แม้จะไม่มีใครสนใจว่า อนุภาคแสงหนึ่งๆ นั้นจะวิ่งวนครบรอบประวัติศาสตร์ของมันอย่างสมบูรณ์ในเวลาจำกัดหรือไม่ก็ตาม แต่ผมก็ยังได้พิสูจน์ว่ามีเส้นวิถีซึ่งมีช่วงเวลาจำกัดหลายเส้นที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำกว่าความเร็วของแสงด้วย เส้นวิถีเหล่านี้อาจเป็นประวัติศาสตร์ของผู้สังเกตซึ่งจะติดอยู่ในบริเวณจำกัดก่อนถึงขอบฟ้าโคชี โดยจะวนไปรอบแล้วรอบเล่าเร็วขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งมีความเร็วเท่ากับความเร็วแสงในเวลาจำกัดค่าหนึ่ง ดังนั้น หากมีมนุษย์ต่างดาวสาวสวยคนหนึ่งเชิญคุณเข้าไปใน “จานบิน” ของเธอแล้วละก็ จงระวัง เพราะคุณอาจเข้าไปติดอยู่ในกับดักแห่งประวัติศาสตรที่วิ่งวนไม่หยุดภายในระยะเวลาจำกัดก็เป็นได้”

Jane เล่าว่าครั้งหนึ่งสมัยที่ทั้งคู่ยังหนุ่มสาวนัดพบกัน Hawking พา Jane ไปสอนเล่น croquet (กีฬาชนิดหนึ่ง มีอุปกรณ์ไม้ตีลูกบอลเข้าประตูเล็กๆ ในสนามหญ้า ถ้าใครเคยดูแอนิเมชั่นคลาสสิกเรื่อง “Alice in Wonderland” ของ Walt Disney ก็จะพบฉากที่ Alice กับ Queen of Hearts เล่น croquet กัน) ตอนนั้น Hawking เริ่มป่วยด้วยโรค ALS ทำให้เขาตีลูกไม่ได้ดังใจ เขาก็ยึดไม้ไว้คนเดียว ต่อสู้ดิ้นรนกับการตีลูกอยู่อย่างนั้นจนกว่าเขาจะพอใจผลการตี เขาเป็นคนต่อสู้ดิ้นรนไม่ยอมแพ้ง่ายๆ Jane บอกว่า Hawking เหมือนกับตัวเอกในอุปรากรเรื่อง “The Flying Dutchman” ที่เขาพา Jane ไปชม

ถึงแม้ Hawking ป่วยหนัก อาการแย่ลงเรื่อยๆ จนสุ่มเสี่ยงที่จะเสียชีวิตได้ทุกเมื่อ แต่ก็สามารถทำงานฟิสิกส์และจัดงาน (events) ต่างๆ รวมทั้งงานเคลื่อนไหวทางสังคมได้อย่างไม่รู้จักหยุดหย่อน ก็เพราะ “ความมุ่งมั่น” ของเขาที่พยายาม ต่อสู้ดิ้นรน ที่จะมีชีวิต เขาพยายามทำสิ่งที่เขาพอทำได้อย่างเต็มที่ ในช่วงแรกๆ ของการป่วย เขาพยายามทำกิจวัตรประจำวันด้วยตนเอง ถึงแม้ยากลำบากและช้ามากๆ แต่ก็เป็นผลดีให้อาการทรุดช้าลง [11] สำหรับในช่วงหลัง เขามีทีมพยาบาลและทีมเลขาประจำในการดูแลช่วยเหลือเขา

แต่การต่อสู้ดิ้นรนของเขาก็มีด้านกลับเหมือนกัน เขาดื้อมาก และมีความเชื่อฝังหัวในบางเรื่อง บางเรื่องก็ถูก และบางเรื่องก็ผิด การดูแลเขาไม่ใช่เรื่องง่ายๆ โรค ALS มีผลต่อการหายใจ บางครั้งเขาจะเกิดอาการ “ไอสำลัก” หายใจไม่ออก เหมือนมีมัจจุราชมาบีบคอ ซึ่งเกิดขึ้นเป็นครั้งคราว อย่างไม่แน่นอน และอาจทำให้เขาเสียชีวิตได้ทุกเมื่อ แต่แล้วมัจจุราชก็ปลดปล่อยให้เขามีชีวิตต่อไป เขาไม่ยอมกินยาหรืออาหารบางชนิด เช่น ยาเพนนิซิลลิน ด้วยเชื่อว่าจะแสลงหรือแพ้ทำให้อาการป่วยแย่ลงหรือแสลงต่ออาการไอสำลักดังกล่าว เขาเชื่อมือ Jane ที่รู้วิธีปฐมพยาบาลภาวะไอสำลักและจัดการกับภาวะฉุกเฉินต่างๆ ได้ดี ในช่วงแรกๆ เขาไม่ยอมจ้างพยาบาลพิเศษเลย เขาคิดว่าเขารู้เกี่ยวกับร่างกายเขาเองมากกว่าหมอและพยาบาลเสียอีก แต่ลองคิดถึง Jane ว่า ต้องดูแล Hawking ตลอด 24 ชั่วโมงอย่างยากลำบาก เช่น การกินข้าว เข้านอน ฯลฯ และอาจเกิดเหตุระทึกขวัญได้เป็นครั้งคราว ในขณะที่ Jane ยังมีลูกเล็กๆ ที่ต้องดูแล และลูกๆ ก็ซนและป่วยบ่อย โดยที่เสาหลักของครอบครัวสามารถล่มสลายลงเมื่อไหร่ก็ได้

นอกจากนี้ Hawking ยังไปทำงานและสัมมนาต่างประเทศบ่อยๆ คราวละนานๆ บางประเทศก็ไปยากและที่อยู่อาศัยไม่สะดวกสำหรับสุขภาพของ Hawking บรรดาลูกศิษย์และ Jane ต้องอุ้มเขาและแบกรถเข็นที่หนักมากขึ้นบันได เช่น ในภาวะสงครามเย็น ช่วงทศวรรษ 1960s และ 1970s นักฟิสิกส์ใน โลกเสรี กับ โซเวียต สามารถพบปะกันได้ทางเดียวที่ประเทศโปแลนด์ที่เป็นพรมแดนของสองโลกการเมือง, ในภายหลัง Hawking ยังได้ไปสัมมนาฟิสิกส์ที่รัสเซียหลายครั้ง Hawking ต้องการให้ Jane ติดตามไปดูแลทุกครั้งที่เขาไปทำงานต่างประเทศ ในขณะที่ลูกๆ ต้องไปโรงเรียนหรือฝากไว้กับญาติหรือเพื่อนบ้าน ค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพ Hawking มีมาก Jane ต้องประหยัด เช่น ทำงานเป็นช่างตกแต่งภายในบ้านเอง ตอนที่ Hawking ไม่สามารถใช้รถเข็นที่เข็นด้วยมือได้แล้ว เขาได้เปลี่ยนไปใช้รถเข็นไฟฟ้าที่มีความเร็วพอสมควร ให้สามารถทำเวลาไปทำงานได้ด้วยตนเอง ที่ Jane ต้องประสานงานอย่างยุ่งยากให้รัฐยอมอนุมัติให้คนพิการอย่าง Hawking ได้ใช้ พอลูกชายคนแรก Robert โตขึ้น ก็ช่วย Jane ดูแลพ่อได้ เช่น ป้อนข้าว เอาพ่อเข้านอน ฯลฯ ทำให้ Robert ถูกผูกภาระติดกับพ่อ ไม่ได้ทำกิจกรรมกับเพื่อนที่โรงเรียนเลย Jane เสนอหาพยาบาลมาช่วยดูแล Hawking ก็ไม่ยอม เขาคิดว่า Robert แข็งแรงพอที่จะทำได้ แต่ Jane กังวลมากกับอนาคตของลูก, Hawking อุ่นใจที่จะให้ครอบครัว ลูกศิษย์ และญาติมิตรดูแลเขา ลูกศิษย์ Hawking แต่ละคนเป็นนักฟิสิกส์ที่โดดเด่น และนิสัยดีมากเช่นกัน หลายคนถูกส่งมาจากนักฟิสิกส์เพื่อนร่วมงานของ Hawking ทั่วโลก มีหลายคนที่แบ่งห้องอาศัยอยู่ในบ้านของ Hawking นั่นเอง ทั้งทำวิจัยและช่วยดูแลปรนนิบัติอาจารย์ไปด้วย ราวกับบรรยากาศในโลก “นิยายจีนกำลังภายใน” Jane ได้เผชิญกับโรคซึมเศร้าหลายปี แต่บางครั้งการไปทำงานต่างประเทศ ก็ทำให้ Jane และครอบครัวรู้สึกดีขึ้นเช่นกัน เช่น ตอนที่ Hawking ไปทำงานที่ Caltech (California Institute of Technology) ที่ Kip Thorne ที่เป็นศาสตราจารย์ทางฟิสิกส์ทฤษฎีที่นั่นเป็นผู้รับรอง (Kip Thorne ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์เมื่อปีที่แล้ว ค.ศ.2017 จากเรื่องคลื่นความโน้มถ่วง (gravitational wave) เพื่อนผู้หญิงผู้อาวุโสของ Jane ในมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ เห็น Jane ทรุดโทรมมากและอมทุกข์ แนะนำว่า Jane ไม่ควรทุ่มเทหมดทั้งชีวิตไปกับ Hawking และลูกๆ ควรหาความสมดุลและ space ของตนเองบ้าง Jane ก็เลยไปฝึกร้องเพลงคลาสสิกยุคบาโรคในโบสถ์ ทำให้ Jane ได้เป็นเพื่อนกับนักดนตรี ชื่อ **Jonathan Jones** ที่เป็นครูสอนเปียโนและเป็นผู้ชำนาญดนตรีบาโรค Jonathan ได้เข้ามาแบ่งห้องเช่าอาศัยในบ้านของ Hawking เขาเป็นคนดีมาก ได้เข้ามาช่วยดูแล Hawking ปลดเปลื้องภาระของ Robert และความกังวลของ Jane ลง ทำให้ Robert ได้มีเวลาไปทำกิจกรรมกับเพื่อนมากขึ้น

Jane เล่าว่าช่วงแรกๆ Hawking ก็ท้าทายภูมิปัญญา Jonathan เหมือนที่ท้าทายลูกศิษย์ เขาชอบทดสอบลูกศิษย์ด้วยภูมิปัญญาให้ยอมรับนับถือกันก่อนที่จะทำงานด้วยกัน ลูกศิษย์ Hawking มักเป็นนักวิจัยที่เก่งกาจอยู่แล้ว ได้ฝึกทักษะมาหลายอย่าง แต่ยังไม่รู้จะใช้ในด้านไหนที่สำคัญ การมาหา Hawking เหมือนหา “The Oracle” [11] เขาฟังงานลูกศิษย์แล้วจะถอดภาพเป็นแก่น concept ออกมาจากการคำนวณที่ซับซ้อน เนื่องจาก Hawking สื่อสารได้ช้า เขาแนะนำลูกศิษย์ด้วยคำชี้แนะสั้นๆ ที่คลุมเครือ ให้ลูกศิษย์ไปตีความ และทำการคำนวณ realize ข้อแนะนำของเขาให้เห็นว่าจริงหรือไม่ แต่ Hawking ท้าทาย Jonathan ไม่สำเร็จ เพราะ Jonathan เป็นคนใจดี ไม่ชอบแข่งขัน ในที่สุด Hawking ก็ชอบ Jonathan, Jane กับ Jonathan ก็ซ้อมดนตรีในบ้าน ซ้อมร้องเพลงแนวบาโรคโดยมี Hawking เป็นผู้ชมและให้ความเห็นต่อการแสดง และในที่สุด Hawking ก็ช่วย Jonathan ก่อตั้งวงออร์เคสตรา “The Cambridge Baroque Camerata” ซึ่งเป็นความฝันของ Jonathan ที่จะมีวงออร์เคสตราของตนเอง ตอนแรก Jonathan ได้ขอทุนสนับสนุนจากรัฐ แต่เมื่อถึงสมัยรัฐบาลแธทเชอร์

(Margaret Thatcher นายกรัฐมนตรีอังกฤษสมัยนั้น) ได้ตัดงบประมาณสนับสนุนด้านศิลปะวัฒนธรรมลง วงดนตรีของ Jonathan ก็ถูกตัดเงินสนับสนุนทั้งๆ ที่เซ็นสัญญาไว้แล้ว Jonathan ติดหนี้จำนวนมากจากการก่อตั้งวง ส่วนครอบครัว Hawking นอกจากทำงานด้านวิทยาศาสตร์แล้ว ยังทำงานการกุศลและงานเคลื่อนไหวทางสังคมจำนวนมากด้วย เช่น การต่อสู้เพื่อสิทธิคนพิการ, การต่อต้านระเบิดนิวเคลียร์, การสนับสนุนสมาคมผู้ป่วยโรคระบบประสาท เป็นต้น พอมีงาน (event) ที่ครอบครัว Hawking ร่วมจัดก็เอาวงดนตรี Jonathan มาเล่น จนกระทั่งวงมีชื่อเสียงพอที่จะตั้งอยู่ด้วยตนเองได้

บ้านนี้ก็เลยมีผู้ใหญ่ 3 คน เป็นเหมือนระบบนิเวศน์ใหม่ที่สมดุล Jonathan กลายเป็น “กิ๊ก” ของ Jane สำหรับ Jane กับ Jonathan เป็นคริสเตียนที่เคร่งครัดทั้งคู่ ทั้งคู่ยืนยันในความรักที่บริสุทธิ์ ไม่มีความคาดหวัง และไม่มีความสัมพันธ์ทางกายกัน Jane ยังคงรักและอุทิศให้ Hawking ในฐานะภรรยาและแม่ของลูก ในขณะที่ Hawking เป็น atheist (อเทวนิยม หรือ ไม่มีศาสนา) เขาไม่ได้ว่าอะไร เป็นสมดุลใหม่ของบ้านนี้

Jane เขียนว่า [3]:

“ในความสงัดของคืนหนึ่ง ฉันสามารถบอกความลับกับสตีเฟ่น ด้วยท่าทีอย่างที่ไม่เคยเป็นมาก่อน เขายอมรับอย่างเปิดใจกว้างและอ่อนโยน รับรู้ว่าเราทั้งหมดต้องการความช่วยเหลือ โดยเฉพาะตัวเขาเอง หากมีใครบางคนพร้อมที่จะช่วยเหลือฉัน เขาก็จะไม่คัดค้านตราบเท่าที่ฉันยังรักเขาอยู่ เวลาที่สตีเฟ่นเต็มใจที่จะแสดงออกถึงความเข้าใจ และเต็มใจที่จะสื่อสารกับฉัน ฉันก็ย่อมอดที่จะรักเขาไม่ได้ บางครั้ง เมื่อโจนาธานมีอาการหดหู่เศร้าหมอง สตีเฟ่นก็จะเป็นคนที่คอยยืนยันกับฉันว่า โจนาธานจะไม่ทำให้ฉันผิดหวัง และเรื่องที่สตีเฟ่นและฉันตกลงกันไว้ก็จะไม่มีการรื้อฟื้นมาพูดคุยกันอีก...”

Hawking บอกว่า [4]:

“...เธอกังวลว่าผมจะอายุสั้นและต้องการใครสักคนที่จะดูแลเธอและลูกๆ และแต่งงานด้วยเมื่อผมจากไป เจนได้พบกับโจนาธาน โจนส์ นักดนตรีคนหนึ่งซึ่งเป็นนักออร์แกนที่โบสถ์ในท้องถิ่น และได้จัดห้องหนึ่งในบ้านให้เขามาอยู่กับเรา ผมควรจะคัดค้าน แต่ตอนนั้นผมเองก็คิดว่าคงอยู่ได้อีกไม่นานและอยากให้ลูกๆ มีคนดูแลหลังจากที่ผมไม่อยู่แล้ว”

และแล้วเรื่องก็เกิดขึ้นเมื่อปี 1985 ที่ Hawking ไปสัมมนาที่ CERN (ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์อนุภาคที่ใหญ่ที่สุดในโลก) ที่กรุงเจนีวากับทีมลูกศิษย์ เขากับลูกศิษย์ขึ้นเครื่องบินล่วงหน้าไปที่งานสัมมนา และอนุญาตให้ Jane กับ Jonathan แยกเดินทางไปส่งลูกชายคนเล็ก Timothy หรือ Tim ไปค่ายลูกเสือ แล้วไปเจอกันที่งานสัมมนา และทั้งหมดจะไปดูอุปรากรของ Wagner เรื่อง “The Ring Cycle” ด้วยกัน ปรากฏว่าระหว่างสัมมนา Hawking เกิดไอสำลัก หายใจไม่ออก ลูกศิษย์และผู้ร่วมสัมมนาตกใจ พาเขาส่งโรงพยาบาล ในที่สุดเขามีอาการปอดบวมและทรุดลงจนโคมา Jane สันนิษฐานว่าหมอที่นั่นไม่คุ้นเคยกับการป่วยของ Hawking ไม่รู้ว่าจะจัดการปฐมพยาบาลในช่วงแรกอย่างไร หมอได้ใส่เครื่องช่วยหายใจและให้ยานอนหลับเพื่อให้ Hawking ไม่ดื้อรั้นต่อการรับยาที่เขาไม่เห็นด้วย ในที่สุดต้องเจาะคอ ทำให้เขาสูญเสียเสียงไป เขาเฉียดตายแต่สามารถกลับมาได้ และคราวนี้เป็นการบังคับให้เขาใช้ทีมพยาบาลมืออาชีพ และมีการประดิษฐ์โปรแกรมและคอมพิวเตอร์ (จากบริษัทของ Walter Woltosz ในแคลิฟอร์เนีย) ติดตั้งกับรถที่นั่งของเขาให้เขาสามารถสื่อสารได้ ทำให้ Hawking ได้เสียงอิเล็กทรอนิกส์สำเนียงอเมริกันที่เป็นเอกลักษณ์ของเขาในเวลาต่อมา ระบบการดูแลเขาใช้ค่าใช้จ่ายจำนวนมาก Jane ต้องยุ่งกับการขอทุนสนับสนุนค่าใช้จ่ายโดยได้ทุนสนับสนุนชั่วคราวจากมูลนิธิแมคอาเธอร์ในอเมริกาที่มี Murray Gell-Mann (นักฟิสิกส์ทฤษฎีรางวัลโนเบลผู้เสนอ quark model ในการอธิบายอนุภาคมูลฐานและ strong interaction) เป็นกรรมการมูลนิธิ Hawking จึงต้องรีบเขียนหนังสือวิทยาศาสตร์สำหรับคนทั่วไป (popular science) ชื่อ “A Brief History of Time” ให้เสร็จเพื่อเป็นค่าใช้จ่ายในการจ้างทีมพยาบาลและทีมเลขา เขาได้เริ่มต้นเขียนหนังสือเล่มนี้มาก่อนหน้านี้เพื่อต้องการสื่อสารความรู้ฟิสิกส์ระดับแถวหน้า (frontier) ให้กับคนทั่วไป และยังเป็นแผนหาทุนให้ Lucy ลูกสาวของเขาเรียนโรงเรียนเอกชน เมื่อหนังสือได้ตีพิมพ์ประสบความสำเร็จอย่างดีมากจนสามารถช่วยเหลือค่าใช้จ่ายสำหรับการพยาบาลและทีมเลขาได้ และกลายเป็นหนังสือ popular science ในตำนาน ที่กระตุ้นให้นักวิทยาศาสตร์ที่โดดเด่นในแต่ละวงการเขียนหนังสือสื่อสารวิทยาศาสตร์ระดับแถวหน้าให้คนทั่วไป รวมทั้งเป็นแรงบันดาลใจให้กับเด็กหลายคนอยากเป็นนักฟิสิกส์

Hawking เริ่มชอบการมีทีมพยาบาลและทีมเลขา ซึ่งอยู่ในบังคับบัญชาของเขา ทำให้เขาห่างเหินจาก Jane และลูกๆ มากขึ้น Hawking ต้องการชื่อเสียงเพื่อผลักดันผลงานและความคิดของเขา ทำให้เขารับ events มากมายที่ต้องใช้ทีมเลขาประสานงานและทีมพยาบาลคอยดูแลเขา การเชิญ Hawking ไปงานต่างๆ นั้นเป็นเรื่องยุ่งยาก เพราะต้องรับรองทั้งทีมเลขาและทีมพยาบาลที่ไปด้วยกัน ตึกที่ Hawking ไปพูดก็ต้องมีเส้นทางให้คนนั่งรถเข็นขึ้นได้ [11] ยิ่งเขาป่วยมากเท่าไหร่ เขาก็ยิ่งพยายามใช้ทุกนาทีของเขาโฟกัสกับงานที่สำคัญเท่านั้นในทำนองเดียวกับ วิธีคิดแบบลดทอนในฟิสิกส์ [3] (reductionism: ตัดสิ่งที่ไม่จำเป็นออกไปในการวิเคราะห์ด้วยเหตุผล เพื่อให้สามารถค้นพบความสัมพันธ์ของปัญหาที่สนใจ) **Elaine Mason** หัวหน้าพยาบาลได้เข้ามาควบคุมการดูแล Hawking มากขึ้น และทำให้เขาเหินห่างจากครอบครัวมากขึ้น การพูดคุยทำความเข้าใจกันก็ยากมากขึ้น ทั้งๆ ที่อยู่บ้านเดียวกัน อาจกล่าวว่า จุดแตกหักภายในครอบครัวเริ่มจากการถ่ายทำสารคดี ทีมงานสารคดีได้ปรับเปลี่ยนการตกแต่งภายในบ้าน Hawking ให้ดูเหมาะสมกับบทของสารคดี ซึ่งผิดสัญญาการทำสารคดีว่าจะไม่ยุ่งเกี่ยวกับเรื่องส่วนตัวของครอบครัว แต่ Hawking ก็ยินยอมทีมงานสารคดี ทำให้รบกวนลูกสาว Lucy ที่ต้องใช้สมาธิสอบเข้ามหาวิทยาลัย หลังจาก Lucy สอบเข้า Oxford ได้ ทั้งคู่ก็แยกกันอยู่ ส่วน Hawking บอกว่าเขาเริ่มทนไม่ได้ถึงความสนิทสนมที่มากขึ้นทุกทีของ Jane และ Jonathan แล้ว Hawking ได้แก้ปัญหาความอึดอัดของครอบครัวโดยย้ายออกไปกับทีมพยาบาล [4]

งานใหญ่ท้ายๆ ที่ Hawking, Jane และ Jonathan ทำร่วมกันอย่างน่าประทับใจ คือ การรำลึก 300 ปี **Sir Isaac Newton** ที่มหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ในปี 1987 (Newton ตีพิมพ์หนังสือที่เรียกชื่อย่อๆ ว่า “Principia” ที่ถือเป็นการวางรากฐานของวิชาฟิสิกส์ครั้งแรกในปี ค.ศ.1687) โดยมีการประชุมวิชาการที่ Hawking เป็นศูนย์กลาง Jane และ Jonathan ช่วย Hawking ปริทัศน์ผลงาน Newton พบว่านอกจากหนังสือ “Principia” และ “Opticks” ที่มีความสำคัญในระดับวางรากฐานของวิชา (เล่มแรกเป็นตำรากลศาสตร์ ส่วนเล่มที่สองเป็นตำราทัศนศาสตร์เชิงเรขาคณิต (geometrical optics)) นิวตันยังได้ตั้งทฤษฎีเชื่อมโยงสีกับดนตรีในบทความชื่อ “Of Musika” ด้วย แต่ไม่ได้มีความสำคัญในระดับเป็นรากฐานของวิชาดนตรี, Jane ได้ค้นพบงานเขียนของ Roger North ลูกศิษย์สายตรงคนหนึ่งของนิวตัน North ให้การยกย่องอย่างสูงต่อ Newton ในด้านฟิสิกส์ และต่อ Purcell ในด้านดนตรี **Henry Purcell** เป็นคีตกวียุคบาโรค ชาวอังกฤษ ค.ศ.1659-1695 ร่วมสมัยกับ Newton แนวดนตรีของ Purcell เป็นรากฐานสำคัญของวงดนตรีของ Jonathan ในงานรำลึก Newton นี้ วงดนตรีของ Jonathan ได้จัดการแสดงดนตรียุคนิวตันในหัวเรื่อง (theme) “Principia Musica” ที่ Trinity College มหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ด้วย

หลังจากที่ทั้งคู่แยกกันอยู่ในปี 1990 เมื่อถึงปี 1995 ทั้งคู่ได้หย่ากัน Hawking แต่งงานกับหัวหน้าพยาบาล Elaine Mason และต่อมา Jane ได้แต่งงานกับ Jonathan สำหรับ Elaine ภรรยาคนที่ 2 ถึงแม้ว่าเป็นพยาบาลก็ตาม ก็ได้เผชิญอุปสรรคแสนเข็ญในการดูแล Hawking เช่นกัน Hawking เกิดโคมาครั้งที่ 2 และ Elaine ได้ตัดสินใจเกี่ยวกับการแก้ปัญหาสุขภาพ Hawking ที่อยู่ในระดับความเป็นความตายได้อย่างเฉียบคม [4,10] เป็นผลให้ Elaine เครียดมาก เช่นเดียวกับที่ Jane เคยเผชิญ Elaine ไม่อาจทนไหวทำให้ทั้งคู่หย่ากันในปี 2006 ลูกๆ ก็เริ่มโตหมดแล้ว Hawking และ Jane กลับมาเป็นเพื่อนมิตรกัน ทั้งคู่และลูกๆ นัดพบกินข้าวด้วยกันทุกสัปดาห์ในฐานะครอบครัวพ่อ-แม่-ลูก แต่ไม่ใช่ในฐานะสามีภรรยา

Jane สรุปบทเรียนว่า [3]:

“การแต่งงานของเราซึ่งบัดนี้กลายเป็นโครงสร้างที่ใหญ่และซับซ้อน เคยเป็นคำจำกัดความของชีวิตแบบผู้ใหญ่สำหรับฉัน ผนวกกันเป็นการบรรลุผลที่สำคัญที่สุดของฉัน ซึ่งก็คือ สตีเฟ่นยังรอดชีวิต, ลูกๆ, ครอบครัว และบ้าน มันเป็นประวัติศาสตร์ที่ยาวนานของการต่อสู้ร่วมกัน...”

ในระหว่างที่ดูแล Hawking และลูกๆ หลายปี Jane ก็ได้ทำปริญญาเอกที่มหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ ด้านวรรณคดียุคกลาง หลังจบปริญญาเอก Jane ได้เป็นครูติวเตอร์ด้านภาษาสำหรับเด็กเข้ามหาวิทยาลัย และได้รวบรวมความทรงจำและตัวตนของตนเองเขียนหนังสือบันทึกชีวิตที่ได้อยู่ร่วมและต่อสู้ดิ้นรนกับ Hawking ในฉบับพิมพ์ครั้งแรกปี 1999 ให้ชื่อว่า “Music to Move the Stars: A Life with Stephen” (ดนตรีเขยื้อนดาว) [3,12] สำหรับฉบับขยายและพิมพ์ต่อมาปี 2007 เปลี่ยนชื่อเป็น “Travelling to Infinity: My Life with Stephen” [3]

ผู้เขียนไม่ได้เป็นผู้ชำนาญในเรื่องดนตรีคลาสสิกเพียงแต่ชอบฟังเท่านั้น และไม่ได้ชอบ Wagner ด้วย จึงไม่สามารถปริทัศน์ตัวอย่างดนตรีที่ Hawking ชอบมาให้ชมได้ครับ ผู้เขียนจึงขอปิดการนำเสนอด้วยดนตรียุคบาโรค “Sound the Trumpet” ของ Purcell ที่มีบทร้องที่ Jane อาจจะชอบ ให้ทุกคนลองฟังดูดังนี้

ALISON BALSOM - Sound the Trumpet (Royal Music of Purcell & Handel)

Warner Classics

Published on Oct 6, 2012

https://www.youtube.com/watch?v=Wa2vzx-aNrw

กิติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อ.ชัชวาล ปุญปัน ที่ช่วยชี้แนะแนวทางการเรียบเรียงเนื้อหาบทความนี้ และขอขอบคุณ ผศ.ดร.ศิรามาศ โกมลจินดา, อ.ดร.ทศพร อังสาชน และ คุณ พรอิศรา วงศ์สุภาพ สำหรับคำชี้แนะต่อบทความครับ

เอกสารอ้างอิง

[1] BBC Radio 3, Music Matters, “Stephen Hawking's love affair with classical music - in his own words,” 14 March 2018 [Available online: http://www.bbc.co.uk/programmes/p06136y3]

[2] เสวนาทางวิชาการ “Prof. Stephen Hawking: นักฟิสิกส์ทฤษฎีผู้มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาทฤษฎีของหลุมดำและควอนตัมของความโน้มถ่วง,” ศุกร์ 23 มี.ค. 2561, ห้องอคาดิเมีย (TA212) วิทยาลัยเพื่อการค้นคว้าระดับรากฐาน มหาวิทยาลัยนเรศวร, 14:00-16:00 น.

[3] เจน ฮอว์คิง-เขียน, โคจร สมุทรโชติ-แปล, 2553. **สู่อนันตกาล: ชีวิตฉัน และสตีเฟ่น ฮอว์คิ้ง (Travelling to Infinity: My Life with Stephen)**, โพสต์บุ๊กส์, กรุงเทพฯ.

[4] สตีเฟ่น ฮอว์กิ้ง-เขียน, บุรินทร์ กำจัดภัย และ นรา สุภัคโรจน์-แปล, 2558. **ประวัติย่อของตัวผม (My Brief History)**, มติชน, กรุงเทพฯ.

[5] T. Mills, “Stephen Hawking picks the music (and one novel) He’d spend eternity with: Stream the playlist online in music,” 15 March 2018 [Available online: http://www.openculture.com/2018/03/stephen-hawking-picks-the-music-and-one-novel-hed-spend-eternity-with-stream-the-playlist-online.html]

[6] Wikipedia, “Amyotrophic lateral sclerosis,” [Available online: https://en.wikipedia.org/wiki/Amyotrophic_lateral_sclerosis]

[7] Wikipedia, “Classical music,” [Available online: https://en.wikipedia.org/wiki/Classical_music]

[8] N. Gasser, “Period: Late- Post-Romantic,” [Available online: https://www.classicalarchives.com/period/7.html]

[9] Arte Música-uploader, “Der fliegende Holländer 1986,” Published on Oct 7, 2013, [Available online: https://www.youtube.com/watch?v=b9b97PZUykE]

[10] R. Wagner, “The Flying Dutchman (Der fliegende Holländer),” OPERA, [Available online: https://www.medici.tv/en/operas/wagner-der-fliegende-hollander-thielemann-gloger-bayreuth-festival/]

[11] R. Penrose, “Mind over matter': Stephen Hawking – obituary by Roger Penrose,” The Guardian, Wed 14 Mar 2018, [Available online: https://www.theguardian.com/science/2018/mar/14/stephen-hawking-obituary]

[12] Wikipedia, “Jane Hawking," [Available online: https://en.wikipedia.org/wiki/Jane_Hawking]

Thai Journal of Physics Vol. 35 No. 2 (2018) 56-60

บทความวิชาการ (Article)

การสอนฟิสิกส์แบบ Thai-Active Physics ระดับมัธยมศึกษา

มีชัย เทพนุรัตน์

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

บทคัดย่อ

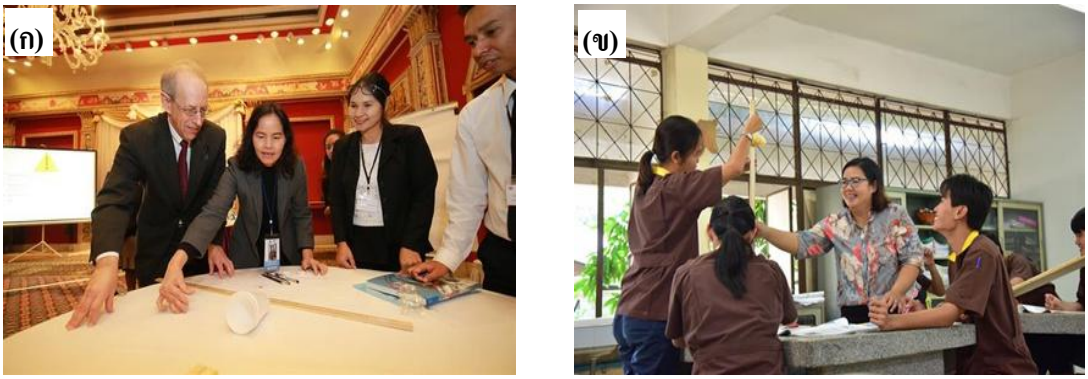
บทความนี้นำเสนอรูปแบบการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ในโรงเรียนที่น่าจะทำให้นักเรียนเกิดความสนุกในการเรียนฟิสิกส์ ซึ่งความสนุกนี้จะเป็นต้นกำเนิดของความชอบ ความหลงใหล และแรงบันดาลใจ ที่จะก่อให้เกิดจิตนาการอย่างสร้างสรรค์และความเชื่อ ก่อเกิดนวัตกรรมที่จะนำไปสู่ไทยแลนด์ 4.0

คำสำคัญ: ฟิสิกส์ศึกษา, โรงเรียนมัธยมศึกษา, การเรียนรู้เชิงรุก, นวัตกรรม

นักฟิสิกส์สามารถอธิบายธรรมชาติได้ด้วยสมการเฉกเช่นจิตรกรที่อธิบายธรรมชาติด้วยการวาดรูป แต่หากจะเป็นนักฟิสิกส์ผู้ยิ่งใหญ่ที่สามารถอธิบายธรรมชาติได้ด้วยสมการที่ลึกซึ้งนั้น นักฟิสิกส์ผู้นั้นต้องผ่านการเรียนรู้จากธรรมชาติจริง ๆ ในหลายมิติและผ่านการสร้างจินตนาการที่ไร้ขอบเขต จึงจะเกิดการค้นพบสิ่งใหม่ที่เกิดขึ้นในโลกได้ เปรียบได้กับจิตรกรที่ต้องหาแรงบันดาลใจจากการสัมผัสธรรมชาติในรูปแบบต่าง ๆ แต่การเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ในปัจจุบันของไทยในโรงเรียนผู้เขียนมีความเห็นว่ายังไม่เหมาะสมกับการสร้างโอกาสให้เกิดนักฟิสิกส์ที่ยิ่งใหญ่ระดับโลกได้ ทั้งที่ทรัพยากร โอกาส และเสรีภาพ ของไทยเรามีมากพอ ไม่น้อยกว่าประเทศใดในโลก ดังนั้นบุคลากรทางการศึกษาควรกลับมาทบทวนว่าที่ผ่านมาได้เตรียมความพร้อม และอำนวยความสะดวกแก่นักเรียนที่จะเรียนรู้ฟิสิกส์ได้อย่างมากพอหรือยัง ภายใต้ดาวโลก จักรวาล และเอกภพ เดียวกันอาจมีคำถามจากคนไทยหลาย ๆ คนว่าทำไมคนต่างชาติถึงคิดสร้างสรรค์สิ่งต่าง ๆ ได้มากมาย ดูเหมือนว่าความฉลาดคงไม่พอที่จะสร้างนักเรียนคนหนึ่งให้เป็นนักฟิสิกส์ที่ยิ่งใหญ่ได้ จะต้องมีปัจจัยอื่นมาประกอบ อาจจะเริ่มจากความสนุกจากการเรียน [1,2] รู้สึกในสิ่งที่เรียน ความชอบ ความสุข ความหลงใหล จะสร้างแรงบันดาลใจในการเรียนรู้ จะนำไปสู่ความเข้าใจธรรมชาติ (ฟิสิกส์) แล้วสิ่งเหล่านี้จะทำให้นักเรียนคนนั้นข้ามผ่าน ความกลัวในใจของเขาได้ ความกลัวนี้อาจจะเป็น กลัวทำผิด กลัวคนอื่นต่อว่า กลัวเสียหน้า เป็นต้น แล้วครูฟิสิกส์จะสอนอย่างไรจึงจะให้ผู้เรียนเกิดสิ่งดังกล่าวขึ้น

Active Physics [3] คือ วิธีการเรียนการสอนที่นักเรียน เรียนรู้ฟิสิกส์ผ่านการปฏิบัติหรือทดลองในหัวข้อที่ตนสนใจ ในกระบวนการ 7E [4] เป็นแนวทางหนึ่งที่จะนำผู้เรียนไปสู่ STEM แล้ววิธีการนี้ก็นำมาปรับใช้กับสถาบันอาชีวศึกษาโดยเฉพาะ เนื่องจากบุคลากรสายอาชีพจะเป็นฟันเฟืองสำคัญในการขับเคลื่อนภาคอุตสาหกรรมไทยสู่ยุทธศาสตร์อุตสาหกรรม 4.0 ในอนาคต โดยเป็นหลักสูตรที่เน้นการเรียนรู้ผ่านกระบวนการสอนแบบสืบเสาะโดยใช้โครงงานเป็นฐาน (a project-based inquiry approach) และแต่ละหัวข้อของกิจกรรมในหลักสูตรจะเริ่มต้นด้วยภารกิจที่ท้าทาย ที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงหลักวิทยาศาสตร์เข้ามาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้ โดยใช้วงจรการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design Cycle) และความคิดสร้างสรรค์มาช่วยทำภารกิจในการทดลองให้สำเร็จ จากโครงการ “Chevron Enjoy Science: สนุกวิทย์ พลังคิด เพื่ออนาคต” [5,6] มุ่งพัฒนาการศึกษาสายอาชีพด้วยการเสริมศักยภาพครูผู้สอนในสถาบันอาชีวศึกษาให้รู้จักกระบวนการเรียนการสอนแนวใหม่ที่จะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนสนใจและสนุกกับการเรียนวิทยาศาสตร์มากขึ้น เพื่อวางรากฐานการสร้างแรงงานรุ่นใหม่ที่มีความรู้ ทักษะ และคุณลักษณะที่ตรงกับความต้องการของภาคอุตสาหกรรม สำหรับโรงเรียนมัธยมศึกษาในสังกัด สพม. และสพฐ. ไม่ปรากฏว่ามีการจัดการเรียนการสอนรูปแบบนี้อย่างชัดเจนและยังไม่ได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐ ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับรูปแบบการสอนวิชาฟิสิกส์ในโรงเรียนมัธยมศึกษาในปัจจุบัน

ของไทย ดังตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า เป็นรูปแบบการสอนแบบบรรยาย การทดลองจากเครื่องมือราคาสูง และที่เน้นการแก้ปัญหาการทำโจทย์ฟิสิกส์มากกว่าร้อยละ 70



รูปที่ 1 *โครงการ Chevron Enjoy Science: สนุกวิทย์ พลังคิด เพื่ออนาคต ได้จัดอบรม Active Physics แก่ครูจากโรงเรียนอาชีวะ[5,6] (ก) ครูผู้เข้าอบรมกำลังทดสอบเสียงที่ได้สร้างขึ้นจากเส้นเชือกกับแก้วพลาสติกซึ่งอาศัยหลักการของการสร้างเครื่องดนตรีชนิดดีดเพื่อให้วิทยากรชม (ข) ภาพบรรยากาศของห้องเรียนในวิชาฟิสิกส์ที่ครูผู้ผ่านการอบรมในโครงการดังกล่าวนำกลับไปสอนในโรงเรียนอาชีวะ*

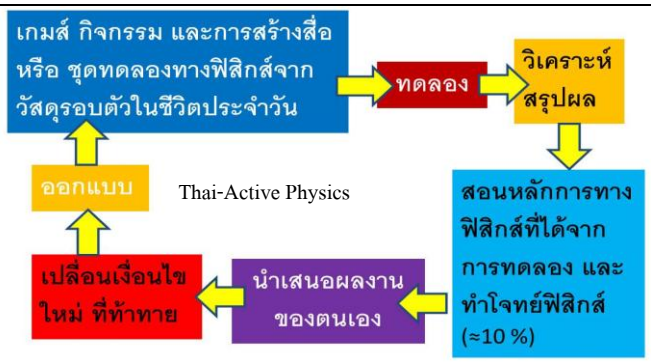
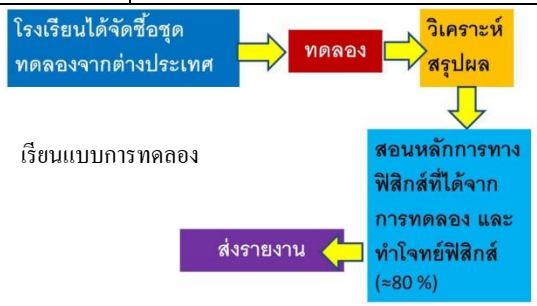
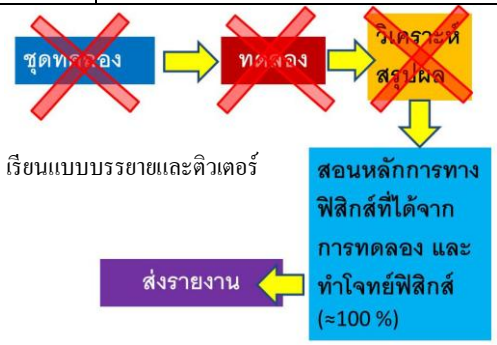
วิถีชีวิตรวมทั้งพื้นฐานของครอบครัวไทย ที่มีความแตกต่างจากประเทศอื่น ๆ เช่น การเลี้ยงลูกของคนไทย การสอนในโรงเรียนระดับชั้นอนุบาล และประถมศึกษา ในอดีตที่ผ่านมาได้ใช้ความกลัว เป็นเครื่องมือในการควบคุม และตีกรอบให้เด็ก เมื่อเด็กนักเรียนขึ้นชั้นมัธยมศึกษาจำเป็นต้องฝึกใช้จินตนาการ และความคิดสร้างสรรค์ ความกลัวที่ถูกปลูกฝังมาตั้งแต่เด็ก จะมีผลต่อนักเรียน ถ้าครูในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น และตอนปลายยังใช้ความกลัวเป็นเครื่องมือต่อเนื่องไปอีก จะทำให้นักเรียนไม่เกิดความกล้าคิดสร้างสรรค์และจินตนาการที่ยิ่งใหญ่ได้ การประยุกต์ใช้ Active Physics ให้เข้ากับบริบทของไทย ควรคำนึงถึงความแตกต่าง ในด้านวิถีชีวิตรวมทั้งพื้นฐานของครอบครัวไทย สภาพอากาศ ภูมิศาสตร์ ทรัพยากร ภูมิปัญญาที่หลากหลายอันเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของตนเอง ภาษา วัฒนธรรม นิสัย ความชอบ ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นบริบทที่จะต้องนำมาเป็นสิ่งแวดล้อมในการจัดการเรียนรู้แบบ Active Physics ในรูปแบบของเราเอง จึงกลายเป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ Thai-Active Physics เช่น บริบทของแต่ละโรงเรียนที่อยู่ในแต่ละพื้นที่ เช่น โรงเรียนในชุมชนมีไม้ไผ่มาก อาจจะใช้ไม้ไผ่มาจัดกิจกรรมการเรียนด้านเสียง หรือโรงเรียนอยู่บนดอยซึ่งมีระดับความสูงต่ำของพื้นที่เหมาะสำหรับการจัดกิจกรรมการเรียนด้านกลศาสตร์ฟิสิกส์ ซึ่งอาศัยการออกแบบและสร้างสรรค์ปฏิบัติการทางฟิสิกส์เพื่อการเรียนรู้ร่วมกันระหว่างครูและนักเรียน หรือโรงเรียนในภาคใต้ที่ใกล้ทะเลอาจต้องอาศัยทะเลเป็นองค์ประกอบในการออกแบบสร้างสรรค์การเรียนรู้ทางฟิสิกส์ได้ เช่น ออกแบบและสร้างสรรค์ปฏิบัติการทางฟิสิกส์เกี่ยวกับนาเกลือกับวัสดุศาสตร์ฟิสิกส์ เกี่ยวกับลมบกลมทะเล และโลกดาราศาสตร์ฟิสิกส์ เป็นต้น โดยครูฟิสิกส์ควรเน้นกระบวนการออกแบบ กระบวนการสร้างการประดิษฐ์ และการนำเสนอแนวคิดไม่น้อยกว่า 50% การทดลองวิเคราะห์และสรุปผลประมาณ 30-40% และควรเน้นการบรรยายหลักการทางฟิสิกส์เพียงแค่ 10% เพื่อให้นักเรียนมีการแสวงหาความรู้และหลักการทางฟิสิกส์ด้วยตนเอง อาจทำได้โดยการใช้เทคโนโลยีในปัจจุบันเช่น การสืบค้นผ่านอินเตอร์เน็ต หรืออื่น ๆ แล้วฝึกให้ผู้เรียนสามารถวิเคราะห์แหล่งอ้างอิงของข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้ หรือจะใช้การตั้งคำถามจากครูในรูปแบบการเป็นพี่เลี้ยงเป็นหลัก นอกจากนี้ผู้สอนควรเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดและทบทวนหลักการทางฟิสิกส์ผ่านการคิดวิเคราะห์ด้วยตัวนักเรียนเอง โดยที่

ครูยังไม่ตัดสินความคิดของนักเรียนว่าถูกหรือผิด สำหรับการวัดและประเมินผลนั้น ควรประเมินจากการนำเสนอ และผลงานของนักเรียนเป็นหลัก ถ้าผลงานที่นักเรียนได้สร้างสรรค์ขึ้นมีความโดดเด่นหรือมีศักยภาพที่จะพัฒนาต่อ ครูก็ควรส่งเสริมให้นักเรียนสามารถต่อยอดผลงานนั้นสู่นวัตกรรมในเชิงพาณิชย์ หรือส่งเข้าประกวดในเวทีต่างๆ ได้ เพื่อสร้างความภูมิใจให้นักเรียน เพิ่มแรงบันดาลใจให้พวกเขามากขึ้น จนทำให้พวกเขาได้ค้นพบตัวเองที่ยิ่งใหญ่ต่อไป

รูปที่ 2 *ครูจากหลายโรงเรียนได้จัดการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์แบบ Thai-Active Physics ในโรงเรียนมัธยมศึกษาหลังจากผ่านการอบรมโครงการคูปองพัฒนาครู หลักสูตรเทคนิคการจัดการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ในรูปแบบ Active Physics สำหรับครูมัธยมศึกษาตอนปลาย ประจำปีงบประมาณ 2561 (ก) นักเรียนกำลังตัดท่อพีวีซีเป็นส่วนประกอบสำหรับทำเลนส์ (ข) นักเรียนกำลังทดสอบความเร็วของจรวดยางยืดที่แต่ละกลุ่มออกแบบและสร้างขึ้นเอง (ค และ ง) นักเรียนกำลังออกแบบการทดลองหา g ร่วมกับประยุกต์ใช้แอพพลิเคชันในสมาร์ทโฟนเป็นตัวจับเวลา และ(จ) นักเรียนกำลังนำลำโพงกระดาษซึ่งใช้หลักการทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตนเองได้ออกแบบมาทดสอบเสียงกับครูผู้สอน*

จากตารางที่ 1 หากมีนักเรียนเข้ามาในระบบจำนวน 100 คน ผู้เขียนประมาณว่าถ้ายังมีจัดการเรียนการสอนแบบเดิมอยู่ จะส่งผลให้มีจำนวนนักเรียนที่ไม่ชอบวิชาฟิสิกส์ไม่น้อยกว่า 70 คน และอาจเป็นไปได้ว่านักเรียนบางส่วนในกลุ่มนี้มองไม่เห็นประโยชน์ของวิชาฟิสิกส์เลย แต่ถ้าเราสามารถทำให้นักเรียน 70 คนนั้น สนุก และสนใจวิชาฟิสิกส์ได้ ถึงแม้นักเรียนเข้าใจหลักการทางฟิสิกส์ในระดับพื้นฐานไม่ครอบคลุม หรือไม่ลึกซึ้ง แต่พวกเขายังได้ฝึกทักษะฝีมือและทักษะอื่น ๆ เช่น การออกแบบ ทักษะเครื่องมือกล และทักษะการนำเสนอ จากประสบการณ์การเรียนรู้แบบ Thai-Active Physics ที่ผู้สอนจัดขึ้น เมื่อพวกเขาต้องการแก้ปัญหาบางอย่างในอนาคต ที่ต้องอาศัยหลักการทางฟิสิกส์เขาจะเปิดใจศึกษา พยายามที่จะทำความเข้าใจในหลักการฟิสิกส์ และสามารถสร้างสรรค์จินตนาการ เพื่อต่อยอดสู่นวัตกรรมได้ และพวกเขาพร้อมที่จะสนับสนุนวงการฟิสิกส์ได้ในอนาคต

ตารางที่ 1 รูปแบบการเรียนการสอน 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบ Thai-Active Physics เรียนแบบการทดลอง เรียนแบบบรรยายและติวเตอร์ และผลที่เกิดกับผู้เรียนจากการจัดการเรียนการสอนแต่ละแบบ

<table>
<tr><td>รูปแบบการจัดการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์</td><td colspan="2">ลักษณะของรูปแบบ</td></tr>
<tr><td> 
</td><td colspan="2">- เน้นความสนุก และท้าทาย
- เน้นการออกแบบ
- เน้นการกระบวนการสร้าง
- เน้นนวัตกรรม
- เน้นความเข้าใจหลักการฟิสิกส์และการประยุกต์ใช้
- เน้นการนำวัสดุอุปกรณ์จากสิ่งรอบตัว ซึ่งมีราคาถูกมาใช้ในกระบวนการเรียนรู้</td></tr>
<tr><td>ผลต่อผู้เรียนในอนาคต</td><td colspan="2"><u>นักเรียนที่สามารถเรียนได้ดี (30 คน)</u> ไปเรียนในมหาวิทยาลัยต่างๆ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิศวกรรม และแพทย์ เป็นต้น
<u>นักเรียนที่สามารถเรียนได้ไม่ดี แต่ยังจะมีเจตคติที่ดีต่อวิชาฟิสิกส์ และวิทยาศาสตร์ (70 คน)</u>
จะสามารถต่อยอดในสายอาชีพได้ เป็นแรงงานที่มีทักษะและฝีมือจากการฝึกฝนผ่านการเรียนฟิสิกส์ และสามารถคิดต่อยอดออกแบบนวัตกรรมสู่สตาร์ทอัพได้</td></tr>
<tr><td> 
</td><td colspan="2">- เน้นการทดลองที่แม่นยำถูกต้อง
- เน้นการวิเคราะห์ข้อมูล
- เน้นเนื้อหา และบรรยาย
- วัสดุอุปกรณ์มากจากต่างประเทศที่ไม่เคยเห็นมาก่อน
- ราคาแพง</td></tr>
<tr><td>ผลต่อผู้เรียนในอนาคต</td><td colspan="2"><u>นักเรียนที่สามารถเรียนได้ดี(30 คน)</u> ไปเรียนในมหาวิทยาลัยต่างๆ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิศวกรรม และแพทย์ เป็นต้น
<u>นักเรียนที่สามารถเรียนได้ไม่ดี(70 คน)</u>
จะมีเจตคติที่ไม่ดีต่อวิชาฟิสิกส์ และวิทยาศาสตร์ ไม่เกิดการต่อยอดใดๆ</td></tr>
<tr><td> 
</td><td colspan="2">- เน้นการทำข้อสอบให้ได้คะแนนสูงๆ
- เน้นผลประเมิน
- ไม่ใช้วัสดุอุปกรณ์</td></tr>
<tr><td>ผลต่อผู้เรียนในอนาคต</td><td colspan="2"><u>นักเรียนที่สามารถเรียนได้ดี(30 คน)</u> ไปเรียนในมหาวิทยาลัยต่างๆ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิศวกรรม และแพทย์ เป็นต้น
<u>นักเรียนที่สามารถเรียนได้ไม่ดี(70 คน)</u> จะมีเจตคติที่ไม่ดีต่อวิชาฟิสิกส์ และวิทยาศาสตร์ ไม่เกิดการต่อยอดใดๆ</td></tr>
</table>

ในส่วนของนักเรียนที่สามารถเรียนวิชาฟิสิกส์ได้ดีซึ่งมีประมาณ 30 คน นักเรียนจำนวนนี้มีความสนใจในฟิสิกส์อยู่แล้วอีกทั้งยังพร้อมที่จะเรียนรู้และพัฒนาตนเองต่อไป เมื่อนักเรียนเหล่านี้รู้ถึงความสนุกของวิชาฟิสิกส์มากขึ้น บวกกับได้ผ่านการฝึกทักษะฝีมือ และทักษะอย่างอื่นๆ จาก Thai-Active Physics นี้ จะส่งเสริมจินตนาการให้พวกเขา ก่อเกิดความหลงใหลในฟิสิกส์ และความเชื่อมั่นที่จะสร้างสิ่งที่ยิ่งใหญ่ทางฟิสิกส์ได้ต่อไปในอนาคต เราจะต้องมีนักฟิสิกส์ที่ยิ่งใหญ่จากการศึกษาของประเทศเราได้ เหมือนที่เรามีศิลปินที่ยิ่งใหญ่ระดับโลกหลายท่านในปัจจุบันที่มาจากบรรยากาศ สิ่งแวดล้อม และการศึกษาในประเทศเราเอง เช่นกัน

นักเรียนในทุกประเทศ ยังจะมีการเปลี่ยนแปลงต่อไปไม่หยุดยั้ง ในสังคมที่เปลี่ยนแปลงต่อไปอย่างรวดเร็วและพลิกผัน คือเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบไม่แน่นอน ดังนั้นวิธีจัดการเรียนรู้หรือวิธีสอนของครู อาจารย์ ก็ต้องมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงต่อไปไม่หยุดยั้งเช่นเดียวกันวิธีการจัดการเรียนรู้แบบ Thai-Active Physics ก็จะเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งที่ผู้เขียนแนะนำให้ครูพิจารณานำไปปรับใช้ในการเรียนการสอนของตนเองในโรงเรียน ดังนั้นรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่คุณครูเลือกนำมาจัดให้นักเรียนจึงเป็นเรื่องสำคัญจะสร้างแรงบันดาลใจในการเรียนรู้ให้ลึกขึ้น ขวนขวาย จดจ่อ ในสิ่งที่เรียน เป็นอาการของยิ่งเรียน ยิ่งคิด ยิ่งค้น ยิ่งทำ ยิ่งรู้สึก ยิ่งมั่นใจ นำพาไปสู่การเข้าใจธรรมชาติอย่างลึกซึ้ง และจะสามารถสร้างสรรค์สิ่งใหม่ ๆ ในวงการฟิสิกส์ไทยสู่วงการฟิสิกส์โลกได้ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] วิจารณ์ พานิช. สนุกกับการเรียนในศตวรรษที่ 21. กรุง เทพ ฯ: มูลนิธิสดศรี-สฤษดิ์วงศ์, (2556)

[2] คู่มือสำหรับพ่อแม่ เพื่อเผยแพร่ความรู้ด้านการดูแลและพัฒนาเด็กวัยรุ่น ไม่ยากอย่างที่คิด. กรุงเทพฯ: ราชวิทยาลัยกุมารแพทย์แห่งประเทศไทย สมาคมกุมารแพทย์แห่งประเทศไทย (2557)

[3] A. Eisenkraft, “Active Physics: A Project-Based Inquiry Approach”, It's About Time; 3rd edition, 2010.

[4] พฤกษ์ โปร่งสำโรง. ผลของการใช้รูปแบบการเรียนการสอน 7E ในวิชาฟิสิกส์ ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะครุศาสตร์ (2549)

[5] เสริมศักยภาพครูช่าง ปั้นเด็กอาชีวะรองรับอุตสาหกรรม 4.0 หน้า https://www.ryt9.com/s/prg/2784891 (สืบค้นเมื่อวันที่ 14 สิงหาคม พ.ศ. 2561)

[6] โครงการ Enjoy Sci.: สนุกวิทย์ พลังคิด เพื่ออนาคต หน้า http://www.chevronthailand.com/social/EnjoyScience.asp (สืบค้นเมื่อวันที่ 24 สิงหาคม พ.ศ. 2561)