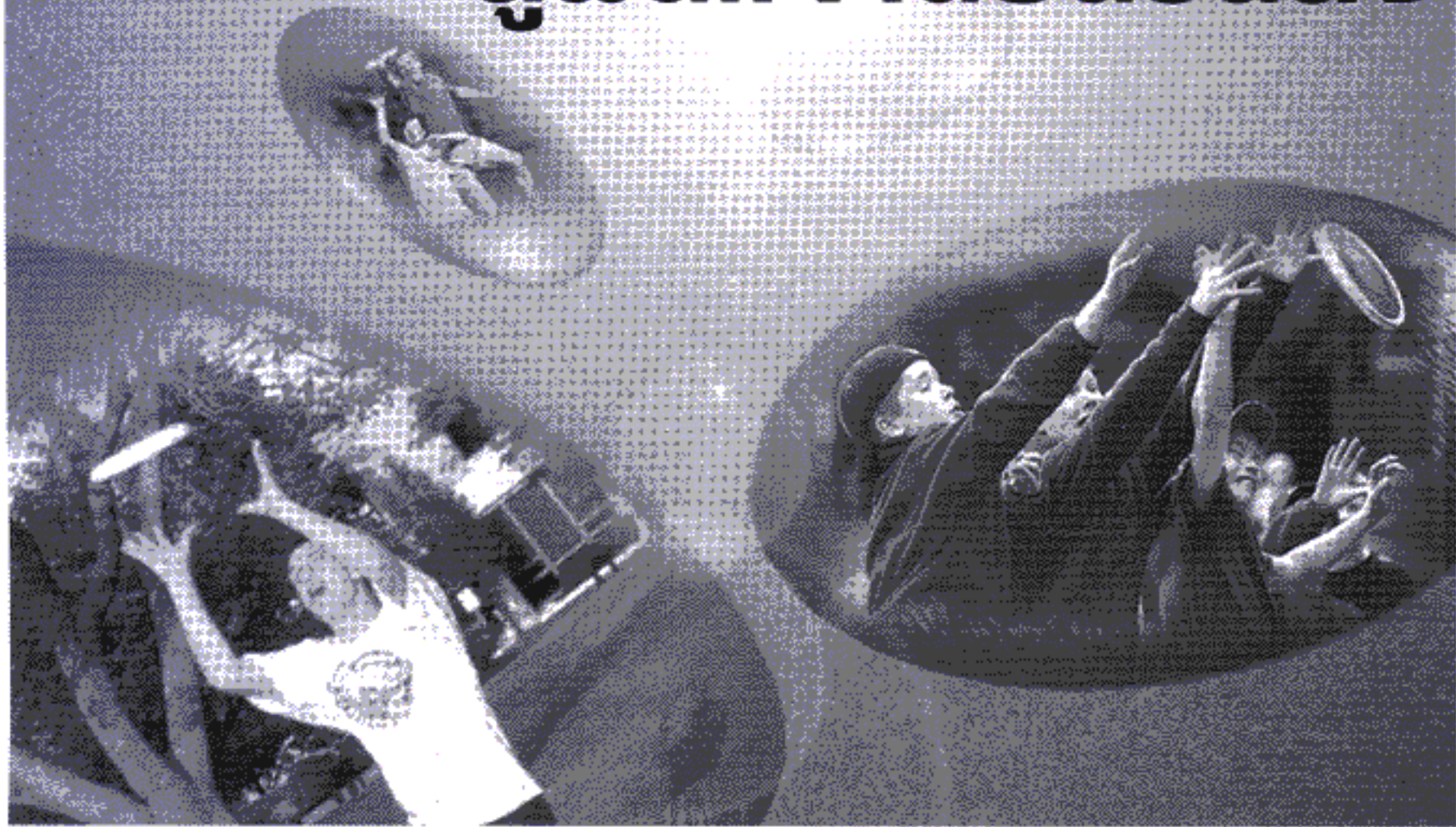


จากจานร้อนหตุหรรษ์.. สู่ฝัน..จานบินขนส่ง



การร้อนฟริสบี ดูจะเป็นเรื่องที่ธรรมดาสามัญ แต่รูปแบบการร้อนไปของมันมีความ
ซับซ้อนและน่าศึกษาเกินกว่าที่คาดคิด

การร้อนจานฟริสบีอย่างถูกวิธีเหมาะ
เหม็ง จะทำให้จานร้อนไปได้ไกลในท้อง
ฟ้าก่อนที่จะตกลงสู่พื้นดินเป็นระยะทาง
ไกลหลายสิบลเมตร แต่หากว่าการหมุนข้อ
มือในการร้อนจานหรือจังหวะในการขว้าง
ผิดเพี้ยนไป เราก็อาจจะได้เห็นภาพจาน
ร้อนที่แกว่งนิดๆ ก่อนที่จะบิดตัวพลิก
ตกลงสู่พื้นในท่าทางที่ไม่สวยงาม
เราจะมาดูกันว่าเหตุใดอาการเคลื่อนที่ของ
จานฟริสบีจึงมีโอกาที่จะผิดเพี้ยนไปได้
โดยง่าย

ก่อนอื่นต้องยอมรับกันอย่างหน้าขึ้น
ตาบ้านกันก่อนว่า ยังไม่มีวิชาใจวัยจับ
หรือใครหน้าไหนที่รู้อันจริงว่า ทำไมหนอการ
ร้อนจานฟริสบีให้เล่นไปได้ในแนวเส้นตรง
สวยและแม่นยำ จึงช่างยากเย็นเสียใจเสีย
นี้กระไร เพราะมันดูจะออกตัวไปในทิศทาง
และรูปแบบที่แตกต่างกันได้หลากหลาย
จึงนับว่าเป็นปัญหาที่ยุ่งยากยิ่งนักในการ
ศึกษาถึงรูปแบบในการเคลื่อนตัวของวัตถุ

รูปทรงจานร้อน รวมไปถึงความพยายามส่ง
เครื่องมือเพื่อการสำรวจไปยังดวงดาว
ไกลโพ้น ว่าจะสามารถใช้การส่งด้วยยาน
ในรูปแบบจานหมุนได้หรือไม่ พลศาสตร์
การเคลื่อนที่ของจานร้อนฟริสบีนั่นน่า
สนใจ และมีความเป็นไปได้ในการนำไป
ประยุกต์ในงานสร้างยานอวกาศเพื่อการ
ขนส่งได้หรือไม่เพียงใด

ชื่อของจานร้อนฟริสบีนั่นเป็นที่รู้จัก
กันมานานถึง 130 ปีมาแล้ว โดยเรียกตาม
ชื่อของคนทำขนมปัง ในมลรัฐคอนเนก-
ติคัต ในช่วงศตวรรษที่ 19 นามว่า
วิลเลียม ฟริสบี ผู้ผลิตขนมพายไส้ถาด
โลหะ เมื่อกินขนมหมดแล้ว ก็พลิกจาน
ให้คว่ำลง กลายเป็นจานร้อนยอดนิยม
และเรียกชื่อจานขนมพายของนายฟริสบี
ว่า จานร้อนฟริสบีตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา

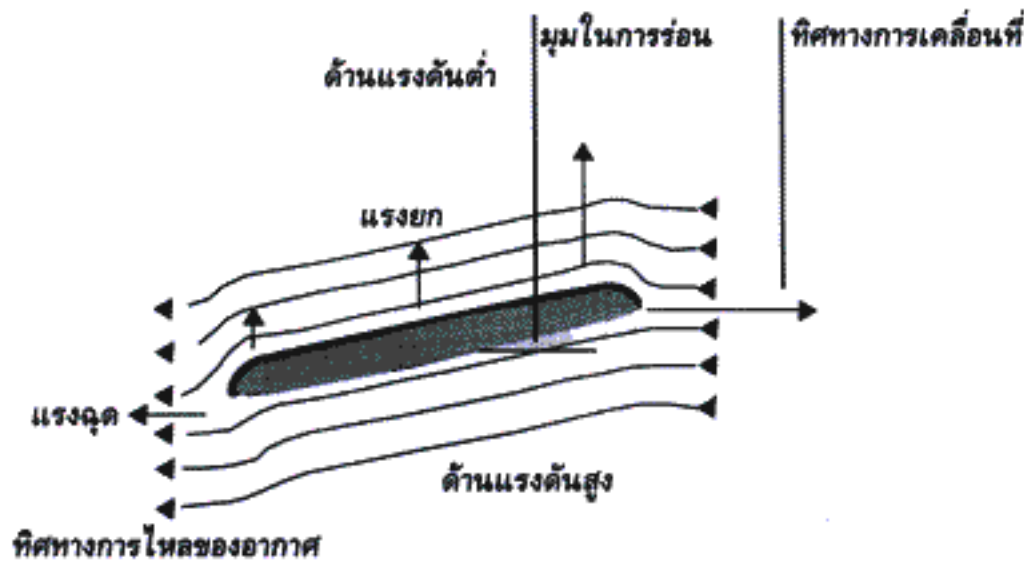
ปัจจัยที่เป็นเหตุให้จานร้อนฟริสบี
ร้อนได้เป็นอย่างดีคงเป็นที่รูปร่าง ด้วย
ลักษณะจานกลมแบนที่มีขอบโดยรอบ

และโค้งเว้าลง เมื่อจานฟริสบีเคลื่อนที่ไป
ข้างหน้า อากาศที่ไหลผ่านรอบขอบจาน
จะเกิดการอันกระจุกตัวในช่วงสั้นๆ ในขณะที่
ที่อากาศทางด้านบนจะไหลได้สะดวก
กว่า และไปได้เร็วกว่ามวลอากาศที่ไหลทาง
ด้านล่าง ทำให้แรงดันทางด้านบนมีค่าต่ำ
กว่า และเกิดแรงยกทางด้านล่างเป็นปรากฏ
การณ์ทางอากาศพลศาสตร์ (aerody-
namics) ช่วยพยุงให้จานร้อนฟริสบีลอย
ตัวอยู่ได้ในขณะเคลื่อนที่ไปในอากาศ

การร้อนจานยังมีความซับซ้อนตรงที่
จานร้อนจะเซ็ดหัวขึ้นทางด้านหน้าในขณะ
เคลื่อนที่ไปในอากาศ ลักษณะอาการเช่น
นี้เลยทำให้การเคลื่อนที่ของจานดูจะวูบวาย
ไม่ค่อยมั่นคง ต่างจากเครื่องบินที่มีส่วนหาง
ช่วยให้การเคลื่อนที่มีเสถียรภาพมั่นคงกว่า
จานร้อนฟริสบีไม่มีส่วนที่ควบคุมการ
กระจายของแรงบนจานให้เท่าเทียมกัน
จึงมักจะเกิดอาการแฉลบหรือพลิกได้โดย
ง่าย แต่จานร้อนก็มีลักษณะการเคลื่อนที่

การร่อนจานยังมีความซับซ้อนตรงที่จานร่อนจะเชิดหัวขึ้นทางด้านหน้า ในขณะที่เคลื่อนที่ไปในอากาศ ลักษณะอาการเช่นนี้เลยทำให้การเคลื่อนที่ของจานดูจะวูบวาบไม่ค่อยมั่นคง ต่างจากเครื่องบินที่มีส่วนหางช่วยทำให้การเคลื่อนที่มีเสถียรภาพมั่นคงกว่า

การบินร่อนของจานfrisbee



การร่อนจานfrisbeeออกไปด้วยแรงเต็มพิกัด อาจไม่เพียงส่งมันให้หมุนและเคลื่อนที่สู่เป้าหมาย แต่ยังอาจทำให้มันพลิกหกคะเมนไม่เป็นท่าได้

พิเศษที่แตกต่างจากเครื่องบิน คือ การเคลื่อนที่ที่หมุนรอบตัวในแนวแกนตั้ง ซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญในการร่อนจานfrisbeeให้เคลื่อนที่ได้อย่างตีสมใจหรือไม่เพียงใด หลักการเช่นนี้เป็นหลักการเดียวกับที่เราปั่นลูกข่าง หากเราปั่นหรือหมุนลูกข่างในความแรงมุมและพิกัดระยะที่พอดี ลูกข่างก็จะหมุนฉิวและทรงตัวอยู่ได้เป็นนานสองนาน แต่ถ้าหากว่าเราปั่นหรือหมุนลูกข่างในมุมหรือระยะที่ขาดๆ เกินๆ แม้จะปั่นได้แรงแค่ไหน ลูกข่างก็อาจจะเสียนัยเซแซ่ดๆ ทรงตัวอยู่ได้ไม่นาน อันนี้แหละเรียกว่าฝีมือถึงขั้นหรือไม่ การร่อนจานfrisbeeก็เช่นเดียวกัน หากในขณะที่จานร่อนหมุนรอบตัวและเกิดแรงยกที่ไม่เสมอกัน ก็อาจเป็นเหตุให้จานเอียงกระเท่ไปทางด้านใดมากกว่า แล้วก็พาลพลิกหกคะเมนล่าหน้าเอาดี้อๆ

จุดเด่นที่สำคัญประการต่อมาของจานร่อนfrisbeeคือมีขอบที่หนา ทำให้มีมวลโดยรอบมากกว่าบริเวณตรงกลางจาน ซึ่งทำให้มันมีเสถียรภาพในขณะที่เคลื่อนที่ดีขึ้นกว่าจานร่อนแบบเรียบกลมทั่วไป ในการร่อนจานfrisbeeจึงเกิดแรงดูดทางอากาศพลศาสตร์ (aerodynamic drag) สูงกว่าจานร่อนแบบเรียบกลม วิศวกรการบินโดยทั่วไปอาจมองว่าแรงดูด

ทางอากาศพลศาสตร์ส่งผลเสียต่อการบิน เพราะจะไปทำให้เครื่องบินเคลื่อนที่ได้ช้าลง แต่สำหรับจานร่อนfrisbee นั้น แรงดูดทางพลศาสตร์ดังกล่าวจะเป็นการกระจายแรงบนผิวจานร่อนได้ดียิ่งขึ้น อากาศที่เคลื่อนตัวผ่านจานร่อนทางด้านล่างจะจับตัวกัน เป็นกลุ่มและสร้างแรงยกที่ถ่วงดุลกับทางด้านหน้าไม่ให้เกิดอาการพลิกของจานในขณะร่อนและการทรงตัวที่ดีมีเสถียรภาพกว่า และมีการเจาะร่องจานร่อนfrisbeeไว้ที่ตรงกลางทางด้านบน ซึ่งจะช่วยลดแรงดูดทางอากาศพลศาสตร์ ที่คอยรั้งไม่ให้จานเคลื่อนที่เร็ว

แรงยกและแรงดูดขณะเคลื่อนที่ของจานร่อนfrisbee ยังขึ้นกับมุมในการร่อน (angle of attack) ซึ่งคือมุมเอียงของจานทางด้านหน้าและด้านหลัง (ดูภาพประกอบ) โดยมุมที่เหมาะสมในการร่อนจานไปข้างหน้าได้ดีไม่มีอาการพลิกหกคะเมนอยู่ที่ประมาณ 10 องศา

ดูเหมือนการร่อนจานfrisbeeที่กล่าวมานั้นอาจดูเป็นเรื่องพื้นๆ และยังไม่ได้ให้อรรถาธิบายอย่างลึกซึ้งถึงแก่นการร่อนจานfrisbeeเท่าใดนัก โดยเฉพาะคำอธิบายที่เกี่ยวข้องกับการไอนแอนไซซัดไซเซของจานร่อน ภายหลังจากที่มีการเคลื่อนที่ไปได้ระยะหนึ่ง ล่าสุดมีงานวิจัยที่จะช่วยให้ความเข้าใจใน

ศาสตร์การร่อนจานเพิ่มมากขึ้น เมื่อสองปีก่อนวิศวกรอวกาศยานสองคน คือ จอห์น พอตต์ และ บิลล์ โครวเทอร์ จากมหาวิทยาลัยแมนเชสเตอร์ ในสหราชอาณาจักร ได้สนใจศึกษาการร่อนจานfrisbeeอย่างเอาใจจริงเอาใจ เพื่อนำไปสู่การสร้างอากาศยานที่ไม่ใช้คนขับ พวกเขาต้องการศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการเอียงของจานร่อนในขณะที่เคลื่อนที่ไปในอากาศ เพื่อค้นหาคำตอบ พวกเขาได้ติดตั้งfrisbeeไว้กับแกนหมุนของมอเตอร์ในอุโมงค์ลม ซึ่งได้แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนในการเอียงขึ้นกับสองปัจจัยหลัก ได้แก่ มุมในการร่อน และสัดส่วนความคืบหน้าในการร่อน (advance ratio) ซึ่งวัดจากอัตราความเร็วในการหมุนเทียบกับอัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ผ่านอากาศไปข้างหน้า

เมื่อร่อนจานfrisbeeออกไปจากมือซึ่งโดยทั่วไปจะมีอัตราความเร็วในการหมุนประมาณ 8 รอบต่อวินาที มันจะคงอัตราความเร็วในการหมุนไว้ที่ค่านี้ในขณะที่อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ตัวไปข้างหน้าของจานร่อนจะช้าลง ซึ่งก็หมายความว่า สัดส่วนความคืบหน้าในการร่อนจะเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่จานร่อนไปข้างหน้า ผลลัพธ์ที่ได้คือ อัตราการเอียงของจานร่อนมีการเปลี่ยนแปลงในทุกขณะที่ร่อนจานออกไปในอากาศ

การวัดบันทึกค่าที่ได้จากการทดลองของพอตต์และโครวเทอร์ ได้ช่วยเปิดเผยกลเม็ดเคล็ดลับสำคัญในการร่อนจานfrisbeeให้ได้ดี หลักการคือเมื่อเรารู้ว่าจะร่อนจานออกไปด้วยอัตราความเร็วในการหมุนเท่าไรแล้ว เราก็ใช้อุโมงค์ลมในการทดสอบเพื่อประเมินค่าให้ได้มุมในการร่อนจานได้อย่างเหมาะสมเพื่อให้สามารถร่อนจานไปได้ไกลสุดๆ

เทคนิคการร่อนจานfrisbee คงไม่ใช่แค่เพียงเป็นศาสตร์ที่มีไว้เพื่อให้การล่าแดงฝีมืออวดการร่อนจานในสวนสาธารณะให้ดีและไกลสุดๆ เท่านั้น เพราะองค์การอวกาศนาซาเองก็ยังส่ง

เทคนิคการร่อนจานฟริสบี คงไม่ใช่แค่เพียงเป็นศาสตร์ที่มีไว้เพื่อให้การสำแดงฝีมืออวดการร่อนจานในส่วนสาธารณะให้ดีและไกลสุดๆ เท่านั้น เพราะองค์การอวกาศนาซาเองก็ยังส่งยานสำรวจดาวอังคารมาร์สแพทไฟน์เดอร์ ด้วยการส่งอุปกรณ์สำรวจเข้าสู่ชั้นบรรยากาศด้วยวิธีการหมุนร่อน แต่ก็ยังห่างไกลกับกรรมวิธีการส่งแบบการร่อนจานฟริสบี

ยานสำรวจดาวอังคารมาร์สแพทไฟน์เดอร์ ด้วยการส่งอุปกรณ์สำรวจเข้าสู่ชั้นบรรยากาศด้วยวิธีการหมุนร่อน แต่ก็ยังห่างไกลกับกรรมวิธีการส่งแบบการร่อนจานฟริสบี

เพื่อให้ได้คำตอบทางด้านอากาศพลศาสตร์ที่แม่นยำก่อนการส่งเครื่องมือสำรวจอวกาศโดยการหมุนร่อนไปยังดาวเป้าหมายนั้น บรรดาวิศวกรต้องใช้เวลาหลายสัปดาห์เพื่อทดสอบต้นแบบในอุโมงค์ลม จากหลากหลายสภาวะความหนาแน่นของมวลอากาศที่ทดสอบ และต้องมีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ทางอากาศพลศาสตร์ (aerodynamic coefficients) ด้วยสมการกลศาสตร์ของไหล เมื่อทดสอบจนได้ที่แล้วจึงได้ส่งอุปกรณ์เครื่องมือสำรวจของจริงไปยังเป้าหมาย

ข้อมูลที่ต้องนำมาวิเคราะห์ร่วมกันเพื่อการสังเคราะห์กระบวนการส่งเครื่องมือสำรวจอวกาศไปยังดาวเป้าหมายด้วยกรรมวิธีการร่อน คงเริ่มต้นจากสภาวะความหนาแน่นของบรรยากาศที่อาจได้ข้อมูลที่ส่งมาโดยเครื่องมือสำรวจอวกาศและยานสำรวจอวกาศที่ส่งไปก่อนหน้านี้

ทฤษฎีการส่งยานอวกาศรูปจานร่อนฟริสบีอาจจะส่อเค้าที่สวยสดงดงาม แต่ยังคงต้องตระหนักว่าในทางปฏิบัตินั้น การส่งเครื่องมือสำรวจอวกาศไปกับยานที่หมุนร่อนไปอย่างรวดเร็วนั้นจะส่งผลอย่างไรกับเครื่องมือบ้าง ความเพี้ยนของ

เครื่องมือที่เกิดในขณะที่ยานตัวจะมีผลมากน้อยเพียงใด แรงจุดที่เกิดขึ้นในขณะที่ยานร่อนไปนั้นจะส่งผลกระทบต่อเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ หรือไม่อย่างไร ทั้งปัญหาจิปาถะในการส่งยานสำรวจอวกาศไปในบรรยากาศของดวงดาวที่อาจแตกต่างกันมากกับอุโมงค์ลม จนทำให้ผลการคำนวณทิศทางและความเร็วในการเคลื่อนที่ของยานอวกาศรูปจานร่อนผิดพลาดไป ไม่ลงยังจุดหมายปลายทางที่ต้องการ

ศาสตร์การบินร่อนของจานฟริสบีนั้นเป็นสิ่งที่จะมีคุณค่าเป็นอย่างมากในแวดวงอากาศยาน เพื่อที่จะให้ได้คำตอบและแนวทางที่ชัดเจนมากขึ้น ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์บันทึกการบิน ซึ่งเทียบได้กับกล่องดำของเครื่องบินไปกับยานแบบจานร่อนฟริสบีด้วย อุปกรณ์ที่ติดตั้งในกล่องดำประกอบด้วย เครื่องวัดอัตราเร่ง (accelerator) เพื่อที่จะวัดแรงที่เกิดขึ้นบนจานร่อน เครื่องวัดสนามแม่เหล็ก (magnetometer) เพื่อวัดปริมาณความเข้มของสนามแม่เหล็ก เครื่องวัดแสง (light sensor) เพื่อวัดรังสีจากดวงอาทิตย์เพื่อประเมินทิศทางการเคลื่อนที่ของจาน เครื่องมือคำนวณพลังงานแบตเตอรี่เพื่อเพียงพอต่อการใช้งาน รวมถึงไมโครชิปที่ติดตั้งไว้เพื่อการเก็บบันทึกข้อมูลการบินในแต่ละเที่ยว

สิ่งหนึ่งที่ได้จากการทดสอบการบินแบบจานร่อนฟริสบีคือ พบว่าเกิดแรงจุดอย่างมากในการบินแบบนี้ โดยแรงจุดจะเพิ่มในอัตราส่วนยกกำลังสองของมุมในการร่อนที่เปลี่ยนแปลงไป นั้นย่อมแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าจะอาศัยเพียงการควบคุมมุมในการร่อนแต่เพียงอย่างเดียวคงยากที่จะควบคุมการร่อนให้ไปถึงเป้าหมาย เพราะมุมในการร่อนเป็นตัวแปรที่ส่งผลอย่างมากและรวดเร็ว ความเสถียรของยานแบบจานร่อนจึงต้องพิจารณาถึงสภาพบรรยากาศที่จะส่งยานขนส่งนี้ผ่านไปให้ต้องแท้เสียก่อน เรียกว่าถึงขนาดต้องจัดทำแผนที่นำทางจากสภาพบรรยากาศที่ยานจะเคลื่อนผ่านกันอย่างละเอียดถี่ถ้วนกันเลยทีเดียวเพื่อให้ยานเคลื่อนที่ไปได้

อย่างฉลุย

คงไม่อาจปฏิเสธได้ว่า การออกไปทดสอบการบินด้วยจานร่อนฟริสบีในสวนมองดูแล้วเป็นเรื่องความรื่นเริงบันเทิงใจ แต่ก็ถือได้ว่าเป็นการทดสอบการบินต้นแบบที่มีความประหยัดสามารถนำไปวิเคราะห์ก่อนออกแบบสร้างยานจริง เพื่อเตรียมความพร้อมในการแก้ปัญหา รวมถึงเมื่อมีการออกแบบสร้างจริงจะได้เครื่องมืออุปกรณ์ที่กะทัดรัดใช้งานได้ดี และติดตั้งได้โดยไม่มีปัญหา


ก้าวต่อไปคือการค้นหาคำตอบที่เกี่ยวข้องเนื่องด้วยสภาวะบรรยากาศที่ใกล้เคียงกับสภาพจริง โดยเฉพาะการหาค่าสัมประสิทธิ์ทางอากาศพลศาสตร์ และการประเมินค่าความดันที่เกิดขึ้นในขณะที่ยานรูปจานร่อนไป ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของจานได้ดีขึ้นในอนาคต

ราล์ฟ ลอเรนซ์ ผู้เชี่ยวชาญจากห้องปฏิบัติการดวงจันทร์และดาวเคราะห์ แห่งมหาวิทยาลัยอะริโซนาที่เมืองทูซอน ผู้เขียนเรื่องนี้ และเป็นหนึ่งในผู้ที่เพียรฝ่าหาแนวทางในการสร้างยานขนส่งยานอวกาศแบบจานร่อนฟริสบี ได้กล่าวในตอนท้ายว่า เขาเองยังไม่มีฝีมือที่เพียงพอในการร่อนจานพลาสติกฟริสบีให้ทะยานไกลได้สุดๆ เขาปรารถนาหากได้รู้ค่าสัมประสิทธิ์ทางอากาศพลศาสตร์อย่างแม่นยำแล้ว เขาจะสามารถสร้างแบบจำลองการร่อนของจานฟริสบีและสามารถทำนายทิศทางการเคลื่อนที่ได้อย่างแม่นยำ แต่รูปแบบจำลองบนจอคอมพิวเตอร์หรือจะนำเสนอใจเท่ากับได้ออกไปร่อนจานจริงๆ กลางแจ้ง

R



หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

