

การพัฒนา

แนวคิดหลักเกี่ยวกับประจุไฟฟ้า :
ไฟฟ้าตั้งแต่สมัยกรีกจนถึง
สมัยลอมบ์





**ประวัติวิทยาศาสตร์เชิงการทดลอง
กรณีศึกษาของมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด**

แปลจากหนังสือ

**HARVARD CASE HISTORIES
IN EXPERIMENTAL SCIENCE**

รวบรวมและเรียบเรียงโดย

James Bryant Conant

Leonard K. Nash

กรณีที่ 8

การพัฒนาแนวคิดหลักเกี่ยวกับประจุไฟฟ้า :

ไฟฟ้าตั้งแต่สมัยกรีกจนถึงสมัยคูลอมบ์

จรรยา สุจารีกุล แปล

สถาบันการแปลหนังสือ

กรมวิชาการ

กระทรวงศึกษาธิการ



**Harvard Case Histories in Experimental Science : The Development of the Concept
of Electric Charge : Electricity from the Greeks to Coulomb**

© 1957 by The President and Fellows of Harvard College.

Copyright © renewed 1958 by James B. Conant and Leonard K. Nash.

หนังสือแปลฉบับที่ 161 สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

จัดพิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2544 จำนวน 15,000 เล่ม

ลิขสิทธิ์เป็นของกระทรวงศึกษาธิการ

แปลและจัดพิมพ์โดย

สถาบันการแปลหนังสือ กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ

ถนนราชดำเนินนอก เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

โทร. 282-9222 ต่อ 509, 628-5341 โทรสาร 628-5336

www.moe.go.th/webdcid/dcid

E-mail : bdctran@emisc.moe.go.th

bdctran@yahoo.com

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

โคแนนต์, เจมส์ โบรแอนด์. และ แนช, ลิโอนาร์ด เค.

กรณีศึกษาที่ 8 : การพัฒนาแนวคิดหลักเกี่ยวกับประจุไฟฟ้า : ไฟฟ้าตั้งแต่สมัยกรีกจนถึงสมัยคูลอมบ์.---

กรุงเทพฯ : กรมวิชาการ, 2544.

127 หน้า.

1. ไฟฟ้า. I. จรียา สุจารีกุล, ผู้แปล. II. สละ กำทรัพย์, ผู้วาดภาพประกอบ. III. กรมวิชาการ.
IV. ชื่อเรื่อง.

537

ISBN : 974-268-8745



**ประกาศกระทรวงศึกษาธิการ
เรื่อง อนุญาตให้ใช้หนังสือในโรงเรียน**

ด้วยกรมวิชาการได้จัดทำหนังสือแปลเรื่อง ประวัติวิทยาศาสตร์เชิงการทดลอง : กรณีศึกษาของ มหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด ซึ่งแปลจากหนังสือภาษาอังกฤษเรื่อง HARVARD CASE HISTORIES IN EXPERIMENTAL SCIENCE เพื่อใช้เป็นหนังสือคู่มือการสอนวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาขึ้นไป กระทรวงศึกษาธิการพิจารณาแล้ว อนุญาตให้ใช้หนังสือนี้ในโรงเรียนได้

ประกาศ ณ วันที่ 22 พฤษภาคม พ.ศ. 2543

(นายทองคูณ หงส์พันธุ์)

รองปลัดกระทรวง ปฏิบัติราชการแทน

ปลัดกระทรวงศึกษาธิการ



คำนำ

หนังสือเรื่อง ประวัติวิทยาศาสตร์เชิงการทดลอง : กรณีศึกษาของมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด เล่มนี้ แปลจากหนังสือเรื่อง HARVARD CASE HISTORIES IN EXPERIMENTAL SCIENCE มีเนื้อหาให้ความรู้เกี่ยวกับการศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์โดยใช้วิธีการทดลองซึ่งเป็นการปฏิบัติแนวคิดครั้งสำคัญด้านวิทยาศาสตร์ สาระส่วนใหญ่สะท้อนให้เห็นการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ในสมัยก่อนที่ทำงานเป็นขั้นตอน ใช้กระบวนการคิดที่มีเหตุมีผล อันเป็นหลักการสำคัญยิ่งต่อการพัฒนาวิทยาศาสตร์ในสมัยก่อนจนสามารถสร้างทฤษฎีใหม่ๆ ที่มีคุณค่าต่อการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ และความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสมัยปัจจุบันเป็นอย่างมาก กรณีศึกษาที่เรียบเรียงอยู่ในหนังสือเล่มนี้ช่วยให้ผู้อ่านเกิดจินตภาพและเข้าใจพัฒนาการแห่งการคิดแบบกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพของมนุษย์ ตั้งแต่เกิดความคิด ค้นคว้าทดลอง จนเกิดความเข้าใจและกำหนดเป็นทฤษฎี เนื้อหาในเล่มนี้ประกอบด้วยสาระความรู้อันเป็นผลจากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียงหลายสาขา รวม 8 กรณี ได้แก่

1) การทดลองเกี่ยวกับความดันอากาศของโรเบิร์ต บอยล์ 2) การล้มเลิกทฤษฎีฟลอจิสตัน การปฏิบัติทางเคมีในช่วงปี ค.ศ. 1775-1789 3) การพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับอุณหภูมิและความร้อนในระดับ : การเกิดขึ้นและการเสื่อมลงของทฤษฎีแคลอรี 4) ทฤษฎีอะตอม-โมเลกุล 5) พืชและบรรยากาศ 6) การศึกษาเกี่ยวกับการหมักของปาสเตอร์ 7) การศึกษาเกี่ยวกับการเกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติของปาสเตอร์และทินดัล 8) การพัฒนาแนวคิดหลักเกี่ยวกับประจุไฟฟ้า : ไฟฟ้าตั้งแต่สมัยกรีกจนถึงสมัยคุลอมบ์

ด้วยเนื้อหาสาระอันมีประโยชน์ดังกล่าว หนังสือเล่มนี้จึงเหมาะสำหรับนักเรียน นักศึกษา ผู้สอนวิทยาศาสตร์ และประชาชนทั่วไปที่มีความสนใจในวิทยาศาสตร์ กรมวิชาการขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ จริยา สุจารีกุล ผู้แปล รองศาสตราจารย์พิระวรรณ พันธุมนาวิน รองศาสตราจารย์วิจิตร เล็งหะพันธุ์ ผู้ตรวจและผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายที่ร่วมจัดทำหนังสือนี้ไว้ ณ โอกาสนี้

อ.ร.ง. ✓

(นายอรุณ จันทวานิช)

อธิบดีกรมวิชาการ

19 พฤษภาคม 2543



สารบัญ

	หน้า
คำปรารภ	1
ถ้อยแถลง	2
1. แนวคิดหลักทางไฟฟ้าจนถึงปี ค.ศ. 1600 : ผลงานของวิลเลียม กิลเบิร์ต	15
2. ศตวรรษที่ 17	31
3. การทดลองของฟรานซิส ฮอคสบี	36
4. การทดลองของสตีเฟน เกรย์ เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำไฟฟ้า และการเกิดสมบัติทางไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ	49
5. การทดลองและการค้นพบของดูเฟย์	60
6. ผลการทดลองที่สำคัญของการเผยแพร่ผลงานทางวิทยาศาสตร์ ในศตวรรษที่ 18	72
7. การทดลอง ทฤษฎี และการประดิษฐ์ของเบนจามิน แฟรงคลิน	78
8. การนำวิธีการวัดเชิงปริมาณมาใช้ในวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับไฟฟ้า	92
ปัจฉิมลิขิต	107
คำถาม	109
บรรณานุกรม	120



คำปรารภ

ประวัติวิทยาศาสตร์เชิงการทดลอง กรณีศึกษาของมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด

รวบรวมและเรียบเรียงโดย เจมส์ ไบรแอนด์ โคแนนต์

หนังสือประวัติวิทยาศาสตร์เชิงการทดลอง : กรณีศึกษาของมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ดนี้ได้มีการเรียบเรียงขึ้นเพื่อช่วยให้ผู้อ่านสามารถเชื่อมโยงการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์ธรรมชาติเข้ากับศาสตร์สาขาอื่นๆ ที่ใช้ในการดำเนินกิจการต่างๆของมนุษย์ได้

ไม่ว่าจะมีพื้นฐานการศึกษาและความสามารถเชิงสติปัญญาเพียงใด ผู้อ่านที่ไม่มีประสบการณ์ทางด้านการวิจัย ก็มักจะอับจนในการที่จะประเมินผลงานของนักวิทยาศาสตร์ ไม่ใช่เพราะขาดความรู้ทางวิทยาศาสตร์ แต่เพราะไม่มีความเข้าใจอย่างถ่องแท้ว่าการศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์จะสำเร็จหรือไม่สำเร็จได้เพราะเหตุใด การบรรยายถึงการทดลองที่ยิ่งใหญ่ต่อไปนี้อาจช่วยให้ผู้อ่านเกิดสิ่งที่ดร.โคแนนต์เรียกว่า “รู้สึก” “ถึงกลยุทธ์และลำดับขั้นตอนของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์”

การได้ศึกษาประวัติวิทยาศาสตร์เชิงการทดลองดังกล่าวเหล่านี้อย่างใกล้ชิดจะช่วยให้ผู้อ่านเกิดความเข้าใจทั้งวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสมัยใหม่ได้ดีขึ้น และจะช่วยให้เกิดความสนใจในอุปสรรคและความยากลำบากที่เกิดขึ้นในอดีตในการทดสอบแนวความคิดใหม่ๆ ที่นำความเจริญมาสู่ความรู้วิทยาศาสตร์ที่กำลังพัฒนากันอยู่ในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์และเคมีในปัจจุบัน

กรณีศึกษาเหล่านี้สร้างขึ้นโดยการเรียบเรียงและเสริมให้สมบูรณ์ของเจมส์ ไบรแอนด์ โคแนนต์ นักวิทยาศาสตร์ ศาสตราจารย์ นักปรัชญา และนักเขียนผู้มีชื่อเสียง โดยมีจุดมุ่งหมายในตอนแรกเพื่อให้นักศึกษาในคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ดได้ศึกษา ปัจจุบันได้มีการเผยแพร่ไปสู่ประชาชนทั่วไปอย่างกว้างขวางขึ้น โดยความเชื่อที่ว่าความรู้วิทยาศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นในช่วงเวลาของการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ที่สำคัญดังกล่าวเพียงไม่นานนั้นเป็นกุญแจสำคัญที่ทำให้เกิดความเข้าใจโลกยุคใหม่ได้ดีขึ้น



ด้อยแถลง

ประวัติวิทยาศาสตร์เชิงการทดลอง : กรณีศึกษาของมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด นี้สร้างขึ้นโดยมีจุดประสงค์เริ่มแรกเพื่อให้นักศึกษาในสาขามนุษยศาสตร์หรือสังคมศาสตร์ได้ศึกษา นักศึกษาเหล่านั้นจำเป็นต้องเข้าใจวิทยาศาสตร์ ซึ่งจะช่วยให้เขาสามารถเชื่อมโยงพัฒนาการของวิทยาศาสตร์ธรรมชาติเข้ากับศาสตร์สาขาอื่นๆ ที่ใช้ในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ได้ ทั้งนี้จำเป็นต้องเข้าใจทั้งวิธีการทดลองทางวิทยาศาสตร์และพัฒนาการของการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ในฐานะที่เป็นกิจกรรมร่วมที่สำคัญของสังคม มีหลักฐานยืนยันให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าผู้ที่ประสบความสำเร็จเป็นอย่างสูงในการศึกษาค้นคว้าในวิทยาศาสตร์เชิงการทดลองสาขาใดก็ตาม จะสามารถแก้ปัญหาวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์หรือแม้แต่ศาสตร์สาขาอื่นๆ ที่เขาไม่มีความรู้เลยด้วยแนวคิดและวิธีการที่เป็นพิเศษกว่าผู้อื่นได้ บางคนอาจจะเรียกแนวคิดและวิธีการที่เป็นพิเศษนี้ว่า “ความเข้าใจวิทยาศาสตร์” ซึ่งเป็นสิ่งที่แตกต่างจากความรู้เนื้อหาหรือเทคนิคใหม่ๆ ทางวิทยาศาสตร์ แม้แต่ผู้ที่ได้รับการศึกษาดีและมีสติปัญญาสูงถ้าไม่มีประสบการณ์ด้านการวิจัยมักจะไม่สามารถจับประเด็นสำคัญในการอภิปรายของนักวิทยาศาสตร์ที่กล่าวถึงวิธีการในการศึกษาค้นคว้าได้ ทั้งนี้ไม่ใช่เพราะคนเหล่านั้นขาดความรู้ทางวิทยาศาสตร์หรือไม่เข้าใจภาษาเฉพาะของนักวิทยาศาสตร์ แต่ส่วนมากแล้วเป็นเพราะไม่เข้าใจว่าการศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์จะสำเร็จหรือไม่สำเร็จได้เพราะเหตุใด และเกิดความสับสนกับวิธีการในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ เขาเหล่านั้นไม่มี “ความรู้สึก” ในสิ่งที่เรียกว่า “กลยุทธ์และลำดับขั้นตอนของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์”

กรณีศึกษาชุดนี้สร้างขึ้นสำหรับผู้อ่านที่เป็นประชาชนทั่วไป บางครั้งประชาชนทั่วไป นักธุรกิจ ข้าราชการ ทนายความ ครู หรือนักเขียน อาจจะต้องตรวจสอบผลงาน หรืออาจจะต้องพิจารณาโครงการวิจัยเพื่อรับทุนสนับสนุนของนักวิทยาศาสตร์ เขาอาจจะต้องพิจารณาด้วยว่าการศึกษาค้นคว้าอย่างเป็นระบบในวิทยาศาสตร์สาขาอื่นๆ จะประสบความสำเร็จมากกว่าหรือน้อยกว่าเพียงใดเมื่อเทียบกับวิทยาศาสตร์กายภาพที่ประสบความสำเร็จสูง แม้ว่ากรณีศึกษาส่วนใหญ่จะเน้นทางวิทยาศาสตร์กายภาพ ความเข้าใจในวิธีการที่หลากหลายในการพัฒนาวิทยาศาสตร์กายภาพดังกล่าวอาจจะเป็นฐานที่สำคัญที่ทำให้ผู้อ่านสามารถประเมินโครงการวิจัยและผลการศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์สาขาอื่นๆ และสังคมศาสตร์ได้เป็นอย่างดี



1. ความเข้าใจวิทยาศาสตร์

เพื่อให้เข้าใจวิธีการของวิทยาศาสตร์เชิงการทดลอง จำเป็นที่จะต้องรู้เนื้อหาเชิงเทคนิคในสาขาฟิสิกส์และเคมีเสียก่อน แม้ว่าจะยังไม่สามารถเจาะจงสาขาวิทยาศาสตร์อื่นๆที่ต้องการจะศึกษาต่อไปได้แน่นอนก็ตาม เป็นที่ชัดเจนว่าไม่จำเป็นที่จะต้องรู้ฟิสิกส์หรือเคมีทั้งหมด หรือไม่จำเป็นที่จะต้องจดจำข้อมูลเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ที่เป็นพื้นฐานของอารยธรรมเทคโนโลยีสมัยใหม่ได้ทั้งหมด ถ้าเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่จะรู้ได้ว่าเมื่อใดที่ต้องการข้อมูลดังกล่าวจะสามารถหาได้ทันทีจากหนังสือหรือบทความที่เหมาะสมอย่างไร

การศึกษาวิธีการของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ได้โดยตรงนั้นเป็นเรื่องที่ยากมาก ผู้ที่เข้าเยี่ยมชมห้องปฏิบัติการนั้นถ้าไม่ใช่ นักวิทยาศาสตร์แล้วจะพบว่าเกือบจะเป็นไปไม่ได้เลยที่จะเข้าใจงานที่กำลังทำการวิจัยค้นคว้า และจะไม่เข้าใจทั้งวัตถุประสงค์หรือผลที่ได้จากการวัดและการสังเกตของการทดลองนั้นๆ ในการที่จะเข้าใจงานวิจัยต่างๆ ได้อย่างถ่องแท้ นั้น ความเข้าใจธรรมชาติของปัญหาที่กำลังศึกษาทดลองเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวนั้นมีความสำคัญมาก ทั้งในแง่ที่จะนำผลการทดลองไปใช้ทันทีหรือในแง่ของการวางรากฐานในการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ แต่ถ้าไม่ใช่ นักวิทยาศาสตร์ที่มีประสบการณ์ในการวิจัยทางวิทยาศาสตร์อย่างเพียงพอแล้ว ก็จะต้องงวยกับสิ่งที่เห็นและได้ยิน เพราะเกือบจะไม่มีข้อยกเว้นที่ปัญหาของงานวิจัยส่วนใหญ่ในปัจจุบันจะเกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ซึ่งมีความรู้ด้านเทคนิคที่สะสมมานานเป็นฐาน ในการที่จะสามารถติดตามผลงานวิจัยใหม่ๆ ได้เป็นอย่างดีนั้นจำเป็นต้องศึกษาพัฒนาการของวิทยาศาสตร์มาอย่างทะลุปรุโปร่ง รวมทั้งต้องมีความรู้ทางคณิตศาสตร์มามากพอๆ กับฟิสิกส์หรือเคมีหรือชีววิทยาทีเดียว

วิทยาศาสตร์สมัยใหม่นั้นเพิ่มความซับซ้อนมากขึ้นทุกทีจนไม่สามารถศึกษาวิธีการวิจัยในปัจจุบันได้โดยการเพียงแต่ใช้การสังเกตง่ายๆ หรือการเหลียวไปมองนักวิทยาศาสตร์ที่กำลังทำงานอยู่เท่านั้น อย่างไรก็ตามถ้ามีใครพาผู้เยี่ยมชมไปชมห้องวิทยาศาสตร์ที่นักวิทยาศาสตร์กำลังจะได้ผลงานที่สำคัญในยุคแรกของประวัติศาสตร์สาขาใดสาขาหนึ่ง สถานการณ์ก็จะแตกต่างไปจากที่กล่าวแล้วโดยสิ้นเชิง เพราะในขณะที่วิทยาศาสตร์อยู่ในระยะแรกเริ่มและความรู้ใหม่กำลังจะได้รับการบุกเบิกโดยนักวิทยาศาสตร์ผู้ยิ่งใหญ่ ข้อมูลที่ถูกสะสมมาก่อนในอดีตยังมีไม่มากนัก ที่จริงแล้วถ้ามีการใช้กระบวนการวิทยาศาสตร์เชิงการทดลองเป็นครั้งแรกกับปัญหาที่สำคัญในยุคนั้นๆ ความรู้ของนักวิทยาศาสตร์เองก็ไม่มากไปกว่าผู้เยี่ยมชมมากนัก เขาสามารถอธิบายการทดลองใหม่ของเขาให้ผู้เยี่ยมชมเข้าใจได้อย่างง่าย ๆ ในเวลาได้ผลการทดลองเพิ่มขึ้นและมีการวางแผนการทดลองใหม่ต่อไปเรื่อยๆ อย่างไม่สิ้นสุด ผู้มาเยี่ยมชมก็จะเข้าใจงานวิจัยนั้นได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามช่วงเวลาของการบุกเบิกความรู้ดังกล่าวในประวัติ



ของวิทยาศาสตร์ก็มีไม่มากนัก และผู้เขียนชมในยุคนั้นก็คงโชคดีมากที่ได้เป็นผู้รู้เห็นเป็นพยานในการสังเกตผลการทดลองและการก่อตั้งทฤษฎีสำคัญที่เป็นรากฐานของวิทยาศาสตร์ในปัจจุบัน ได้รู้สึกตื่นเต้นภูมิใจ ที่ไม่เพียงแต่ได้เป็นคนหนึ่งที่มีส่วนร่วมในการสังเกต ทดลองยืนยันหลักฐานข้อมูล และสนับสนุนการต่อสู้งานวิทยาศาสตร์ในการก่อตั้งและล้มล้างทฤษฎีในยุคนั้นเท่านั้น แต่ยังได้มีโอกาสเรียนรู้ด้วยตนเองถึงวิธีการและลำดับขั้นตอนของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

2. การใช้กรณีศึกษา

จุดประสงค์ของการเสนกรณีศึกษาชุดนี้ก็เพื่อช่วยให้ผู้อ่านย้อนกลับไประลึกถึงประสบการณ์ของนักวิทยาศาสตร์ผู้ซึ่งเคยร่วมในเหตุการณ์ที่น่าตื่นเต้นในประวัติศาสตร์ การศึกษากรณีศึกษาดังกล่าวอาจเปรียบได้กับการใช้อ่านาจอเวณมนตร์ที่สามารถพาคนทั่วไปที่ไม่รู้ตัวล่วงหน้าไปชมการแสดงในฉากของการปฏิวัติวิทยาศาสตร์ ที่แน่นอนก็คือโดยปกติแล้วจะต้องมีนักวิทยาศาสตร์มากกว่า 1 คนหรือห้องทดลองมากกว่า 1 ห้อง และช่วงเวลาของการแสดงอย่างน้อยก็เป็นเวลาหลายปี เพราะแม้จะมีการทดลองเดี่ยวอยู่บ้าง แต่ขั้นที่สำคัญของความก้าวหน้าของนักวิทยาศาสตร์เชิงการทดลองก็ไม่ได้อยู่ที่ผลงานของนักวิทยาศาสตร์ผู้หนึ่งผู้ใดแต่เพียงคนเดียว แต่กลับอยู่ที่การแลกเปลี่ยนความคิด การโต้แย้งเกี่ยวกับการทดลอง และการแปลผลการทดลองระหว่างนักวิทยาศาสตร์หลายคนในห้องทดลองที่ต่างกัน ซึ่งมักจะทำให้เกิดการสรุปร่วมกันมากกว่า อย่างไรก็ตาม โดยการศึกษาการทำการทดลองจริงของนักวิทยาศาสตร์ผู้ยิ่งใหญ่ในอดีตอย่างจริงจัง (รวมทั้งผลงานของนักวิทยาศาสตร์ร่วมสมัยในระยะนั้นโดยหลักๆ) ก็จะเข้าใจวิธีการทางวิทยาศาสตร์ได้แจ่มชัดขึ้น

บางกรณีศึกษาในชุดนี้แสดงถึงการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ที่อยู่ในสมัยกว่า 300 ปีมาแล้ว บางกรณีศึกษาก็อยู่ในศตวรรษที่ 18 และ 19 แต่แม้ว่าจะเป็นการค้นคว้าทดลองที่ผ่านมานานแล้ว ตัวอย่างกรณีศึกษาที่เสนอนี้ได้แสดงถึงตัวอย่างของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ ในปัจจุบันการได้ศึกษากระบวนการทางวิทยาศาสตร์ดังกล่าวอย่างใกล้ชิดจะช่วยให้เข้าใจการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันได้ดีขึ้น ทำให้อ่านผลงานของนักวิทยาศาสตร์ด้วยความซาบซึ้งยิ่งขึ้น ในการพิจารณาโครงการวิจัยทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้ทุนสนับสนุนหรือจัดระบบงานวิจัยนั้น ผู้ประเมินจะต้องเจ็บแสบ มีความสามารถในการวิเคราะห์วิจารณ์ด้วยความเข้าใจอย่างลึกซึ้งถึงกระบวนการวิจัยเชิงการทดลอง ซึ่งบุคคลดังกล่าวได้แก่ผู้ที่อยู่ในองค์กรอุตสาหกรรมเอกชน สำนักงานประมาณ กระทรวงสาธารณสุข เป็นต้น นักวิทยาศาสตร์ที่ได้รับการฝึกฝนมาเป็นอย่างดี เมื่อต้องเผชิญกับปัญหาใหม่ๆ ที่ไม่มีความรู้ความชำนาญอยู่มักจะใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการแก้ปัญหาแทนทั้งสิ้น ผู้ที่ไม่ใช่นักวิทยาศาสตร์ก็มักจะใช้วิธี



การเดียวกันในระดับหนึ่งเช่นกัน การได้ศึกษาวิธีการดังกล่าวอย่างถ่องแท้จากกรณีศึกษาประวัติการพัฒนาวิทยาศาสตร์เหล่านี้เพียงไม่กี่เรื่อง ก็น่าจะเพียงพอที่จะช่วยให้เขาสามารถใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการค้นคว้าทดลองสมัยใหม่ที่ซับซ้อนได้ เพราะรู้มาแล้วว่าจะต้องทำอะไร

3. วิธีการทางวิทยาศาสตร์

เนื่องจากได้กล่าวมาแล้วว่าแนวความคิดหลักหรือโครงสร้างของแนวความคิดหลักได้มาจากการทดลองและการสังเกต และโครงสร้างแนวความคิดหลักดังกล่าวนี้จะนำไปสู่การทดลองและการสังเกตใหม่ต่อไป จากการทดลองและการสังเกตธรรมชาติอย่างระมัดระวังทำให้ได้ข้อเท็จจริงทางวิทยาศาสตร์ที่เมื่อนำมาสัมพันธ์กันจะเป็นแนวความคิดหลักและโครงสร้างของแนวความคิดหลักของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ การเกิดความสนใจอย่างใหญ่หลวงและรวดเร็วใน “ปรัชญาการทดลอง” ที่เกิดขึ้นใหม่ในศตวรรษที่ 17 นั้นมีประวัติมาจากการหันกลับไปสนใจผลงานของนักปฏิบัติที่มีความคิดปราดเปรื่องทั้งหลายในอดีต ตั้งแต่ด้านการแพทย์ การเหมืองแร่ ไปจนถึงการผลิตกระสุนปืน แต่ในขณะที่ปัญหาทางวิทยาศาสตร์มักจะเกิดขึ้นจากความสนใจของช่างผู้ชำนาญการเชิงปฏิบัติเหล่านั้น พัฒนาการทางวิทยาศาสตร์ก็เกี่ยวข้องกับการปัจจัยที่นอกเหนือไปจากการทดลองเชิงช่างที่มีมาก่อนหน้านั้นหลายศตวรรษ วิธีการให้เหตุผลเชิงตรรกะที่ใช้กันในวิชาคณิตศาสตร์ (เช่น เรขาคณิต) หรือการทดสอบความถูกต้องของแนวความคิดหลักที่ตั้งไว้โดยใช้ตรรกะซึ่งเรียกว่าการนิรนัยนั้น เมื่อนำมาใช้ร่วมกับวิธีการทดลองที่ได้มาจากการปฏิบัติเชิงช่างก็ทำให้วิทยาศาสตร์เจริญก้าวหน้าได้อย่างรวดเร็ว ปฏิสัมพันธ์ของกิจกรรมของมนุษย์ทั้งสองด้านดังกล่าวนี้เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดของพัฒนาการทางด้านฟิสิกส์และเคมี ความสนใจเบี่ยงเบนจากการปฏิบัติทดลองเฉพาะหน้าเพื่อปรับปรุงเครื่องจักรกลทั้งหลายไปสู่ความอยากรู้อยากเห็นว่าเครื่องจักรเหล่านั้นทำงานได้เพราะอะไร ความคิดหรือแนวความคิดหลักใหม่ๆ เริ่มมีความสำคัญในการที่จะทำให้เกิดสิ่งประดิษฐ์ใหม่ ความสอดคล้องประสานระหว่างการทดลองเชิงช่างกับการหาเหตุผลเกี่ยวกับการปฏิบัตินั้นๆ ทำให้เกิดเส้นใยของแนวความคิดหลัก โดยเส้นใยที่ลากหลายเหล่านั้นต่างก็สอดคล้อง สนับสนุน เชื่อมโยงซึ่งกันและกันมากขึ้นทุกทีพร้อมๆ กันไปกับที่ได้ข้อเท็จจริงจากการทดลองและการสังเกต ให้นำมาสอดคล้องประสานกันเพิ่มเติมมากขึ้นเรื่อย ๆ

แนวความคิดหลักและโครงสร้างของแนวความคิดหลัก กรณีศึกษาที่เสนอไว้ในชุดนี้แสดงให้เห็นวิธีบางวิธีในหลายๆ วิธีที่แนวความคิดหลักเกิดขึ้นจากการประสานข้อเท็จจริงที่ได้จากการสังเกตและทดลอง มีมากกว่า 1 กรณีศึกษาที่แสดงให้เห็นกระบวนการในการพัฒนาโครงสร้างแนวความคิดหลักใหม่หรือทฤษฎีใหม่ขึ้นแทนทฤษฎีเก่าหรืออาจชี้ให้เห็นความขัดแย้งของทฤษฎีเก่ากับใหม่ได้ การเปลี่ยนแปลง



จากทฤษฎีเก่าเป็นทฤษฎีใหม่นั้นเกิดขึ้นได้ยากมาก เพราะทฤษฎีเก่าก็จะพยายามยืนยันความถูกต้องของตน เมื่อมองย้อนไปในประวัติศาสตร์แขนงใดก็ตาม เราจะเห็นได้ว่าทฤษฎีใหม่เป็นที่ยอมรับก็เพราะอย่างน้อยที่สุด สามารถเชื่อมโยงแนวคิดหลักย่อยๆ เข้าด้วยกันได้อย่างน่าพอใจ ด้วยวิธีการที่ง่ายกว่า และเป็นทฤษฎีที่ใช้ประโยชน์ได้มากกว่า ซึ่งผลที่จะตามมานั้นเป็นเรื่องของอนาคตจึงไม่มีทางที่จะระบุไว้ล่วงหน้าว่าทฤษฎีใหม่จะเป็นประโยชน์ได้มากน้อยแค่ไหน หรือไม่อาจจะคาดการณ์ล่วงหน้าว่าจะต้องใช้เวลานานเท่าใดในการพัฒนาทฤษฎีใหม่จนกว่าจะเป็นที่ยอมรับ การศึกษากรณีศึกษาเหล่านี้ จะเห็นได้ว่าไม่สามารถทำเช่นนั้นได้ด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ เพราะไม่ได้มีแนวความคิดหลักอยู่เพียงแนวคิดเดียว ไม่มีกฎตายตัวที่จะชี้บ่งว่าความเจริญก้าวหน้าที่จะได้จากข้อเท็จจริงที่รวบรวมได้จากการปฏิบัติเชิงช่าง ร่วมกับการสังเกตทดลองเชิงวิทยาศาสตร์นั้นจะเป็นอย่างไรในอนาคต

ความคิดคาดเดา (speculative ideas) และสมมติฐานแบบกว้างที่ตรวจสอบเชิงประจักษ์ได้ (broad working hypothesis)

ความสัมพันธ์ระหว่างความคิดคาดเดากับสมมติฐานที่สามารถตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ด้วยหลักฐานเชิงประจักษ์นั้นเป็นสิ่งที่น่าสนใจมาก ตัวอย่างที่ดีในเรื่องนี้จะเห็นได้จากกรณีศึกษาเรื่องทฤษฎีอะตอม การที่นักวิทยาศาสตร์สมัยโบราณเสนอแนวคิดไว้ว่าสสารทั้งหลายประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐานที่เล็กที่สุดนั้นจัดได้ว่าเป็นการคิดคาดเดา จนเมื่อมาถึงดอลตันจึงได้มีการตั้งเป็นสมมติฐานที่ระบุความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เป็นตัวแทนของปรากฏการณ์อย่างหลากหลาย สามารถตรวจสอบได้ด้วยหลักฐานเชิงประจักษ์จากการทดลอง ซึ่งต่อมาเมื่อพิสูจน์ได้แล้วได้พัฒนาเป็นโครงสร้างแนวความคิดหลักหรือทฤษฎีในปี 1800 ซึ่งจะได้ถึงการตรวจสอบสมมติฐานด้วยการทดลองทางเคมีเชิงปริมาณจนสามารถนำไปสู่การปฏิบัติทางเคมีได้

ทฤษฎีอะตอมของดอลตันเป็นตัวอย่างที่เราสามารถวิเคราะห์ย้อนรอยไปถึงต้นตอของโครงสร้างแนวความคิดหลักในระยะแรกเริ่มได้ สำหรับกรณีศึกษาอื่นๆ นั้นเราไม่แน่ใจที่มาของความขัดแย้งของแนวคิดเก่ากับใหม่ได้ เช่น กรณีศึกษาเรื่องความดันอากาศนั้นดูเหมือนทอริเชลลีจะเป็นคนแรกที่เสนอแนวคิดที่ว่าเราอาศัยอยู่ใน “ทะเลอากาศ (sea of air)” ที่มีแรงกดดันต่อวัตถุที่อยู่ภายในนั้นคล้ายกับแรงกดดันของน้ำหลายประการ แต่กระนั้นเราก็มีความรู้ไม่เพียงพอที่จะกล่าวว่าเขาได้แนวความคิดนี้มาจากไหน การทดลองที่มีชื่อเสียงของเขาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของความดันบรรยากาศกับความสูงของลำปรอทในหลอดแก้วซึ่งเขาเป็นผู้สร้างบารอมิเตอร์หรือเครื่องวัดความกดดันบรรยากาศได้เป็นคนแรกนั้นอาจเป็นจุดแยกที่สำคัญ หรืออาจเป็นจุดที่ชี้ให้เห็นถึงการทดสอบแนวความคิดรวบยอดที่ตั้งไว้โดยวิธีการตั้งสมมติฐานที่ระบุความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เป็นตัวแทนของปรากฏการณ์อย่างหลากหลาย ที่สามารถตรวจสอบได้ด้วย



หลักฐานเชิงประจักษ์จากการทดลอง ซึ่งประวัติศาสตร์ไม่ได้บันทึกไว้ก็ได้ จากเหตุการณ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในช่วงนั้นของการที่เขาพยายามที่จะสร้างโครงสร้างแนวความคิดหลักหรือทฤษฎีในเรื่องนี้ นำไปสู่การทดลองของนักวิทยาศาสตร์อีกหลายคนที่อาศัยแนวคิดของเขาเป็นหลัก โดยต่างมุ่งเน้นที่จะทดสอบความถูกต้องของแนวความคิดของเขามากกว่าจะขัดแย้ง ทำให้สมมติฐานของเขากลายเป็นโครงสร้างแนวความคิดหลักใหม่หรือทฤษฎีใหม่ได้ในเวลาอันรวดเร็วและคงอยู่ได้นาน

กรณีศึกษาในชุดนี้เน้นที่ความสำคัญประการแรกของสมมติฐานที่ตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ด้วยหลักฐานเชิงประจักษ์ คือความสามารถที่จะเปลี่ยนเป็นโครงสร้างแนวความคิดหลักใหม่หรือทฤษฎีใหม่ได้ กรณีศึกษาเหล่านั้นได้แสดงตัวอย่างให้เห็นถึงกระบวนการเชิงปัญญาที่หลากหลาย ที่นักวิทยาศาสตร์ผู้บุกเบิกได้ใช้กันในอดีต แต่จะต้องย้ำว่า สมมติฐานที่ตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ด้วยหลักฐานเชิงประจักษ์ที่กล่าวถึง ซึ่งเกิดขึ้นในใจของนักวิทยาศาสตร์ผู้บุกเบิกในอดีตนั้นเป็นสมมติฐานที่เรียกว่า “การคาดเดาด้วยแรงบันดาลใจ” (inspired guess) หรือ การทำนายด้วยความหยั่งรู้ (intuitive hunch) หรือ “จินตนาการที่เฉียบแหลม” (brilliant flash of imagination) ต้นตอของสมมติฐานที่ตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ด้วยหลักฐานเชิงประจักษ์นั้น ไม่มีข้อยกเว้นสำหรับเกือบทุกกรณี ว่าเคยเป็นการคาดเดาด้วยความคิดที่ไม่มีหลักฐานยืนยันมาก่อน หรือเคยเป็นผลของการสังเกตและการทดลองที่มีมาก่อนแทบทั้งสิ้น อย่างไรก็ตามน้อยมากที่สมมติฐานดังกล่าวอาจเกิดขึ้นได้จากการตรวจสอบข้อเท็จจริงอย่างระมัดระวังและจากการวิเคราะห์เชิงตรรกะด้วยวิธีการต่างๆ ของการสร้างหลักการใหม่

การตรวจสอบแนวความคิดหลักหรือทฤษฎีที่มีมาก่อนโดยการตรวจสอบโครงสร้างแนวความคิดหลักของทฤษฎีนั้นๆ ในระยะแรกนั้นโครงสร้างแนวความคิดหลักของทฤษฎีก็เป็นเพียงสมมติฐานที่สามารถตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรที่หลากหลายได้ด้วยหลักฐานเชิงประจักษ์เท่านั้น อย่างไรก็ตามจากสมมติฐานดังกล่าวเราสามารถเปลี่ยนเป็นโครงสร้างแนวความคิดหลักของทฤษฎีและเป็นทฤษฎีได้ โดยใช้วิธีการทดลองตรวจสอบความถูกต้องของความสัมพันธ์ของตัวแปรหลากหลายนั้นที่ละตัวแปร ถ้าถูกต้องมากตัวแปรเท่าใดก็จะมีหลักฐานเชิงประจักษ์ที่จะสนับสนุนความถูกต้องของสมมติฐานดังกล่าวได้มากขึ้นเพียงนั้น ซึ่งสามารถจะทำให้สมมติฐานดังกล่าวได้รับการยอมรับให้เป็นโครงสร้างแนวความคิดหลักใหม่ได้ โดยอาจจะมีความคงทนสั้นหรือยาวก็ได้ เพราะจะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องโดยการทดลองต่อไปเรื่อยๆ

ในขณะที่กำลังพัฒนาโครงสร้างแนวความคิดหลักใหม่หรือทฤษฎีใหม่นั้น สมมติฐานที่สามารถตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ด้วยหลักฐานเชิงประจักษ์นั้นก็เปลี่ยนแปรไปเรื่อยๆ ซึ่งวิธีการในการตรวจสอบสมมติฐานดังกล่าวก็จะเป็นไปอย่างเป็นระบบในทำนองเดียวกัน จนมีรูปแบบค่อนข้างเฉพาะและคงที่ ได้มีผู้พยายามจะสรุปแสดงกระบวนการเฉพาะดังกล่าวออกมาเป็นแผนผัง แต่อย่างไรก็ตาม



เป็นที่น่าเสียดายว่าความสัมพันธ์ภายในระหว่างกันของกระบวนการดังกล่าวนั้นซับซ้อนเกินกว่าจะสรุปเป็นแผนผังตายตัวได้ ซึ่งถ้าจะสรุปเป็นแผนผังเช่นนั้น อาจจะทำให้สับสนมากกว่าที่จะช่วยให้เข้าใจได้ดีขึ้น ในขณะที่ความต้องการจะสรุปกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นแผนผังเดียวเป็นไปไม่ได้ เราก็อาจจะยกตัวอย่างเฉพาะจากบางส่วนของกรณีศึกษาที่แสดงถึงกระบวนการวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในการทดสอบความถูกต้องของโครงสร้างแนวความคิดหลักได้ ดังในขั้นตอนหนึ่งของพัฒนาการของความรู้เกี่ยวกับเรื่องความดันอากาศ ปาสกาลอ้างแนวความคิดหลักของทอริเชลลีเกี่ยวกับการมี “ทะเลอากาศ” อยู่รอบตัวเรา ในการตั้งสมมติฐานที่สามารถตรวจสอบได้ด้วยข้อมูลเชิงประจักษ์ คือความดันอากาศที่ยอดเขาน่าจะน้อยกว่าที่เชิงเขา การอ้างหลักการมาสร้างสมมติฐานดังกล่าวอาจเขียนเป็นคำพูดได้ว่า ถ้าการทดลองแบบทอริเชลลีเช่นได้ทำขึ้นที่สถานที่ใดที่หนึ่งก็ตาม ในวันเวลาเดียวกัน และสถานที่เดียวกัน ความสูงของลำปรอทในหลอดแก้วเมื่ออยู่ในที่สูงกว่าควรจะต่ำกว่าในที่ๆต่ำกว่า ซึ่งการตรวจสอบคำทำนายนี้จะได้คำตอบที่มาจากการวัดและสังเกตจริงได้

อย่างไรก็ตาม ดังที่กรณีศึกษาได้แสดงตัวอย่างให้เห็นนั้นก็อาจจะมิขัดแย้งว่ามีสมมติฐานที่มีหลักการหรือทฤษฎีสนับสนุนซ่อนอยู่ภายในโดยไม่ปรากฏและไม่ได้นำมาพิจารณา โดยทั่วไปแล้วการย้อนไปพิจารณาทฤษฎีที่ซ่อนอยู่ของสมมติฐานที่ตรวจสอบได้เชิงประจักษ์นั้นเป็นสิ่งที่ทำได้ยากมาก หลักการหรือทฤษฎีที่ซ่อนอยู่ภายในสมมติฐานที่ว่าความดันของเหลวและความหนาแน่นของปรอท (และอาจจะเป็นอย่างอื่น ๆ ทำนองนี้อีกหลายอย่างก็ได้) โดยตัวของมันเองแล้วจะไม่เปลี่ยนตามความสูงนั้นถูกค้นพบและถูกปรับเปลี่ยนไปเรื่อย ๆ (อย่างน้อยก็คือการปรับวัตถุประสงค์ของการทดลองในกรณีศึกษานี้) จนพบว่า คือกฎอุทกสถิตศาสตร์ (hydrostatics) นั่นคือต้องอาศัยการขยายความ การเพิ่มความซับซ้อน และการปรับความเชื่อมโยงที่ยังไม่ชัดเจนเนื่องจากการใช้ “วิธีการทางวิทยาศาสตร์” อย่างง่ายและผิวเผินจนเกินไปให้ดีขึ้น

การทดลอง การทดลองเพื่อทดสอบทฤษฎีโดยวิธีสร้างสมมติฐานที่สามารถทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรโดยการทดลองเชิงประจักษ์นั้น มักจะเกิดขึ้นในกิจกรรมการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันของทุกคน เมื่อใดก็ตามที่มีทางเลือกสำหรับการแก้ปัญหาอยู่หลายทางแต่จะต้องเลือกเพียงวิธีเดียว ก็มักจะกล่าวว่า “ต้องทดลองวิธีนี้ดูก่อน” นั่นก็คือ การพร้อมที่จะทำการทดลองในการหาสาเหตุต่างๆ ของการที่รถยนต์เสียก็นับเป็นจุดเริ่มต้นของการทดลองในสถานการณ์จริง ในทำนองเดียวกันถ้าระบุสาเหตุของวิทยุเสียว่าอาจเป็นเพราะลวดขาดหรือหลอดวิทยุเสีย ก็จะต้องเปลี่ยนวิธีทดลองไปเรื่อยๆ โดยเริ่มจากสาเหตุแรกก่อน ถ้าไม่ใช่ก็เปลี่ยนเป็นสาเหตุอื่นๆไป ในการเลือกว่าจะลองผิดลองถูก (ทดลอง) อะไรก่อนนั้นต้องอาศัยความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับรถยนต์หรือวิทยุที่มีมาก่อน ประกอบกับการสังเกตลักษณะหรือพฤติกรรมของ



รทยณต์และวทยในขณะนั้นช่วยในการตัดสินใจ เมื่อเลือกได้แล้วก็จะทดลองดูผลของสาเหตุนั้น เรียกว่า กำลังทดสอบสมมติฐานที่เจาะจงตัวแปรที่สามารถตรวจสอบได้เชิงประจักษ์ ตัวอย่างที่ง่ายและเด่นชัดของการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวก็คือ เมื่อพยายามที่จะเปิดประตูโดยใช้กุญแจที่ยังไม่ได้ลอง และบอกตัวเองว่า “ลองดูนี่ละ ถ้าใช่ ประตูก็จะเปิดเอง” ผลของการลองผิดลองถูกนี้เป็นได้ทั้งการยอมรับและไม่ยอมรับสมมติฐานแบบเจาะจงตัวแปร ซึ่งในขั้นสุดท้ายของวิทยาศาสตร์การทดลองก็จะเป็นเช่นนี้ทั้งสิ้น

ความแตกต่างระหว่างการทดลองในชีวิตประจำวันและในวิทยาศาสตร์นั้น ที่สำคัญก็คือ ในการทดลองในชีวิตประจำวันนั้นการตั้งสมมติฐานตั้งจากสามัญสำนึก เป็นสมมติฐานแบบเจาะจงตัวแปร และทำการทดลองในสถานการณ์จริงเป็นหลัก แต่การตั้งสมมติฐานในทางวิทยาศาสตร์นั้นเป็นสมมติฐานที่ทดสอบตัวแปรที่หลากหลาย (broad working hypothesis) ก่อนแล้วจึงเป็นสมมติฐานที่เจาะจงตัวแปร (limited working hypothesis) ตัวอย่างของความแตกต่างดังกล่าวข้างต้นนั้น สามารถศึกษาได้จากกรณีศึกษาเหล่านี้ ขั้นตอนที่ใช้ในการพัฒนางานข้างตลอดชีวิตของเขานั้นต้องผ่านขั้นตอนของการทดลองทั้งสิ้น อย่างไรก็ตาม ในกรณีศึกษาเหล่านี้ ก็เช่นเดียวกับการพัฒนางานข้างในชีวิตประจำวัน คือเกือบทุกกรณีจะตั้งสมมติฐานจากสามัญสำนึกและประสบการณ์จริง ที่ไม่ใช่สมมติฐานแบบตัวแปรหลากหลาย หรือสมมติฐานที่อาศัยโครงสร้างแนวความคิดหลักเป็นพื้นฐานแทบทั้งสิ้น ยิ่งกว่านั้น ดังที่ได้ชี้ให้เห็นแล้วในตอนต้นว่า การทดลองในเชิงช่างมีวัตถุประสงค์เชิงช่าง ส่วนการทดลองทางวิทยาศาสตร์เป็นผลมาจากการรวมศิลปะในการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ในสมัยก่อนๆ เข้ากับความคิดเชิงตรรกะในการตั้งทฤษฎีแนวความคิดหลักหรือหลักการไว้ แล้วทดสอบด้วยกระบวนการเชิงเหตุผลคือ ตั้งสมมติฐานแบบทดสอบตัวแปรที่หลากหลายแล้วทำการทดลองทดสอบสมมติฐานดังกล่าวเพื่อพัฒนาเป็นโครงสร้างแนวความคิดหลักหรือทฤษฎีในภายหลัง การทดลองในตัวของมันเองนั้นไม่สามารถทำให้เกิดวิทยาศาสตร์ได้ แม้ว่าจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการทำให้เกิดความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ก็ตาม

การที่วิทยาศาสตร์หลายสาขาพัฒนาไปได้นั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการเอาชนะความยากลำบากต่างๆในการทดลองได้ ซึ่งบางทีก็โดยการประดิษฐ์เครื่องมือใหม่ๆ และการค้นคว้าหาวัสดุอุปกรณ์ใหม่ๆ มาช่วย การศึกษาถึงความยากลำบากในการทดลองที่เกิดขึ้นในอดีตว่าเป็นอุปสรรคในการพัฒนาการทดสอบโครงสร้างแนวความคิดหลักใหม่ๆอย่างไรมันช่วยฉายแสงนำทางสู่เทคนิคกระบวนการในการทดลองที่ใช้อยู่ในห้องปฏิบัติการทางเคมีและฟิสิกส์ในปัจจุบัน ยิ่งกว่านั้นในขณะทีวิทยาศาสตร์ก้าวหน้าไป การระบุปัญหาตามโครงสร้างแนวความคิดหลักอันใดอันหนึ่ง และโดยเฉพาะในการออกแบบการทดลองเพื่อพิสูจน์แนวความคิดดังกล่าวก็จำเป็นจะต้องปรับแนวคิดที่อาศัยสามัญสำนึกอย่างเลื่อนลอยให้ชัดเจนและเที่ยงตรงขึ้นเรื่อยๆ ที่สำคัญที่สุดก็คือที่เกี่ยวกับการวัดเชิงปริมาณ อาจจะเป็นการปรับแนวคิดทำให้กระจ่างขึ้นหรือ



เสนอแนวคิดใหม่ที่เที่ยงตรงชัดเจนกว่ามาแทน ซึ่งสำคัญพอๆกับการสร้างโครงสร้างแนวความคิดหลักแบบกว้างๆ ตัวอย่างเช่น คีพต์คำว่า ความดัน ความเร่ง มวล อุณหภูมิ อะตอม ในปัจจุบันมีความหมายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ชัดเจนขึ้น ในขณะที่มีการพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ใหม่ๆ ขึ้นในศตวรรษที่ 17, 18 และ 19 นั้นก็เปรียบเหมือนกับในสมัยใหม่ที่มีการพัฒนาแนวคิดใหม่เกี่ยวกับนิวตริโนและเมซอนขึ้นในสาขานิวเคลียร์ฟิสิกส์นั่นเอง

ความสนใจอย่างใกล้ชิดเกี่ยวกับความยากลำบากที่นักวิทยาศาสตร์ได้รับในการทดลองตรวจสอบทฤษฎีให้เที่ยงตรงของนักวิทยาศาสตร์รุ่นก่อนนั้น ทำให้นักวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันพยายามหาทางแก้ไขความยากลำบากเหล่านั้นให้งานวิจัยมีความถูกต้องเที่ยงตรงขึ้นเรื่อยๆ การวิจัยในปัจจุบันจึงมีความซับซ้อนมาก และสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อทดสอบตัวแปรที่หลากหลายนั้นก็ยังคงถูกตรวจสอบต่อไปเรื่อยๆ จนกว่าจะประสบผลสำเร็จที่ดีที่สุด จึงจะตั้งเป็นทฤษฎีได้

4. ความก้าวหน้าของวิทยาศาสตร์และกระบวนการในการปฏิบัติเชิงช่าง

ความสัมพันธ์ระหว่างความก้าวหน้าของกระบวนการปฏิบัติเชิงช่าง (เช่น การทำเหมือง การกลั่นกรอง การอุตสาหกรรม) กับกระบวนการทางวิทยาศาสตร์นั้นซับซ้อนเกินกว่าที่ปรากฏให้รับรู้ได้ เพื่อให้เข้าใจสถานการณ์ในปัจจุบันเกี่ยวกับเรื่องนี้ การมีความรู้เกี่ยวกับประวัติของชัยชนะของมนุษย์ในกิจกรรมทั้งสองด้านดังกล่าวจะช่วยได้มาก หลังจากที่เกิดปรัชญาวิทยาศาสตร์ใหม่ขึ้นแล้วในศตวรรษที่ 17 เป็นเวลาหลายชั่วคน ผลที่เกิดขึ้นของปรัชญาวิทยาศาสตร์ดังกล่าวที่มีต่อการปฏิบัติเชิงช่างจึงปรากฏและเป็นที่ยอมรับอย่างเด่นชัด เหตุผลไม่ได้อยู่ที่นักวิทยาศาสตร์ในสมัยแรกๆไม่ให้ความสนใจในการปฏิบัติเชิงช่าง แต่เป็นเพราะความรู้ที่มีอย่างกระต่อนกระแต่นั้นเป็นเรื่องๆ แยกๆ กัน และการตรวจสอบความถูกต้องของโครงสร้างแนวความคิดหลักที่ไม่เพียงพอ ความก้าวหน้าในการปฏิบัติเชิงช่างในการทำเหมือง การทำโลหะ การเกษตรกรรม กระบวนการทางอาหารและการแพทย์ในศตวรรษที่ 18 และต้นศตวรรษที่ 19 นั้นดำเนินไปโดยมิได้มีความรู้ทางวิทยาศาสตร์นำทางโดยตรงแต่อย่างใด (ยกเว้นศิลปะในการเดินเรือ)

วิธีการทดลองเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดจากปฏิบัติการเชิงช่างในสมัยโบราณ ที่เป็นการตั้งสมมติฐานแบบลองดูว่าจะเป็นอย่างไรนั้น ใช้น้อยอยู่หลายร้อยปีโดยได้ผลดีอย่างน่าประหลาด กระบวนการในการพัฒนาในลักษณะดังกล่าวซึ่งมักจะเรียกกันว่า "การทดลองเชิงประจักษ์อย่างบริสุทธิ์ (pure empiricism)" นั้นไม่มีหลักการหรือแนวคิดหลักใดที่จะนำทางช่างปฏิบัติหรือผู้ประดิษฐ์คิดค้นเลย แม้แต่ในปัจจุบัน ในกลางศตวรรษที่ 20 ซึ่งหลักการทางวิทยาศาสตร์ได้เข้าไปฝังรากลึกอยู่ในอุตสาหกรรมเช่นนี้ ก็ยังคงต้องอาศัยการทดลองเชิงประจักษ์อย่างบริสุทธิ์ของการปฏิบัติการเชิงช่างอยู่มาก เช่นในอุตสาหกรรมการทำเหล็กกล้า



เป็นต้น แม้จะไม่มีจุดมุ่งหมายไปสู่การนำไปปฏิบัติได้จริง วิธีการทางวิทยาศาสตร์เชิงปฏิบัติการก็อาจจะมีวิธีปฏิบัติและกฎเกณฑ์ที่ไม่สัมพันธ์กับทฤษฎีเลย กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือมีการทดลองเชิงประจักษ์อยู่ในกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เสมอแม้ในปัจจุบัน ในการอธิบายถึงระดับของการทดลองเชิงประจักษ์นั้นสามารถอธิบายให้เข้าใจได้ง่ายเมื่อยกตัวอย่างกระบวนการทางอุตสาหกรรม คือในการทดลองหรือออกแบบเครื่องมือ (เช่น กล้องจุลทรรศน์หรือโทรทัศน์นั้นสามารถใช้หลักการหรือทฤษฎีช่วยได้มาก ให้การทดลองเชิงประจักษ์น้อย ตรงกันข้ามในการทำให้เครื่องมือทำงานได้นั้นต้องทดลองให้เห็นจริงแล้วแก้ไขใหม่ ลองไปเรื่อยๆ (cut-and-try experiment) ซึ่งเป็นการทดลองเชิงประจักษ์ที่มักใช้หลักการหรือทฤษฎีน้อย)

5. วิทยาศาสตร์บริสุทธิ์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์

การวิจัยประยุกต์ คือการวิจัยที่ลดระดับของการทดลองเชิงประจักษ์ลงเรื่อยๆ และเพิ่มระดับของหลักการหรือทฤษฎีขึ้นเรื่อยๆ ในการปฏิบัติเชิงช่าง กิจกรรมที่เน้นการพัฒนาและปรับปรุงโครงสร้างแนวความคิดหลักและเพิ่มเติมความรู้ให้สมบูรณ์ขึ้นเพียงอย่างเดียว เรียกว่าวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ วิทยาศาสตร์สมัยใหม่เป็นผืนผ้าที่เนื้อผ้าดักทอขึ้นมาจากแนวความคิดหลักและโครงสร้างแนวความคิดหลักจำนวนมากมาย ปัจจุบันนี้ความถูกต้องของแต่ละโครงสร้างแนวความคิดหลักจะถูกทดสอบด้วยความรู้ทั้งหมดที่เรามีอยู่ที่ผสมผสานกัน กรณีศึกษาที่เสนอในชุดนี้จัดอยู่ในประเภทวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ อย่างไรก็ตาม ส่วนใหญ่ล้วนเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับประวัติพัฒนาการทางวิทยาศาสตร์ที่มีอิทธิพลต่อความเจริญทางด้านวิทยาศาสตร์ประยุกต์เป็นอย่างมาก โครงสร้างแนวความคิดหลักที่ได้ตรวจสอบแล้วโดยนักวิทยาศาสตร์จะเป็นหลักการสำหรับการศึกษาค้นคว้า และเป็นทฤษฎีของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ต่อไป ด้วยความช่วยเหลือของแนวความคิดหลักและทฤษฎีที่ได้สร้างขึ้นเมื่อ 300 ปีก่อนร่วมกับความรู้เดิมที่สะสมไว้แล้วในช่วงนั้น นักวิทยาศาสตร์ประยุกต์ในปัจจุบันสามารถที่จะปรับปรุงศิลปะในด้านอุตสาหกรรม และสร้างกระบวนการผลงาน และเครื่องมือใหม่ได้ง่ายและรวดเร็วกว่าบรรพบุรุษของเขา ในช่วงศตวรรษที่ 17 และ 18 วิทยาศาสตร์ในปัจจุบันนี้เชื่อมโยงอย่างใกล้ชิดกับเทคโนโลยี เพราะทฤษฎีและการปฏิบัติสอดคล้องกันเป็นอย่างดี ระดับของข้อเท็จจริงเชิงประจักษ์นั้นสามารถจะได้อามาโดยทุกๆ คน และยิ่งได้มาง่ายขึ้นอีกโดยการศึกษา ค้นคว้าในห้องปฏิบัติการของนักวิทยาศาสตร์ ทั้งวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ในปัจจุบันนี้นักวิทยาศาสตร์ประยุกต์หรือวิศวกรสามารถสร้างสิ่งที่นักประดิษฐ์ทั้งหลายเคยสร้างขึ้นด้วยการลองผิดลองถูกหรือด้วยการทดลองนั้นได้อย่างรวดเร็ว การวิเคราะห์วิทยาศาสตร์เชิงการทดลองที่เสนอไว้ในถ้อยแถลงและการศึกษากรณีศึกษาชุดนี้มุ่งหวังว่า อาจทำให้บุคคลทั่วไปสามารถที่จะเข้าใจทั้งวิทยาศาสตร์สมัยใหม่และเทคโนโลยีสมัยใหม่ได้ดีขึ้น ถ้ากรณีศึกษาชุดนี้สามารถทำให้ผู้อ่านอยากศึกษาค้นคว้าประวัติวิทยาศาสตร์



เรื่องอื่นๆ ต่อไปอีก และอยากติดตามความก้าวหน้าของงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ใหม่ๆ จากวารสารหรือหนังสือที่จัดทำขึ้นเพื่อผู้อ่านทั่วไปได้ ก็นับว่าความหวังนี้เป็นจริงได้

เจมส์ บี โคแนนต์

นิวยอร์ก ซิตี้

1 สิงหาคม 1957



กรณีศึกษาที่ 8

การพัฒนาแนวคิดหลักเกี่ยวกับประจุไฟฟ้า : ไฟฟ้าตั้งแต่สมัยกรีกจนถึงสมัยอูลอมบ์

เขียนโดย สุวัณ โรสเลอร์ และ สุวัณ เอช ดี โรสเลอร์



กรณีศึกษาที่ 8

การพัฒนาแนวคิดหลักเกี่ยวกับประจุไฟฟ้า : ไฟฟ้าตั้งแต่สมัยกรีกจนถึงสมัยของอูลอมบ์

1. แนวคิดหลักทางไฟฟ้าจนถึง ปี ค.ศ. 1600 : ผลงานของวิลเลียม กิลเบิร์ต (William Gullbert)

ผู้คนในสมัยโบราณต่างก็คุ้นเคยกับปรากฏการณ์ 4 ปรากฏการณ์ที่เราทราบกันดีในปัจจุบันว่าเป็นปรากฏการณ์ทางไฟฟ้า ปรากฏการณ์ดังกล่าวนั้น ได้แก่ 1) ไฟแลบ ซึ่งมักจะคิดกันว่าเป็นไฟ หรือ “ไอจากการเผา” ซึ่งอาจจะมีสารกำมะถันเกี่ยวข้อง 2) การที่ปลาตอร์ปิโดทำให้เหยื่อสั่น ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่รู้จักกันดีสำหรับชาวอียิปต์ในยุคแรกๆ และต่อมานักธรรมชาติวิทยาชาวกรีกและโรมันได้บันทึกไว้ 3) “ไฟของเซนต์เอลโม” หรือเปลวไฟสีเหลืองจางที่ปลายวัตถุแหลมๆ เวลาที่มีพายุ ซึ่งทหารโรมันโบราณเข้าใจว่าเป็น “เปลวไฟ” ที่ปลายหอก 4) ความสามารถในการดึงดูดวัตถุเล็กๆ ของแท่งอำพันที่ถูกถู ซึ่งเรียกกันว่า “อำนาจของแท่งอำพัน”

แต่ในสมัยโบราณ ความสัมพันธ์ของปรากฏการณ์ทั้ง 4 นั้น ไม่มีผู้ใดทราบ หรือแม้แต่จนกระทั่งถึงยุคต้นของสมัยปัจจุบัน อำนาจของแท่งอำพันนั่นเองที่เป็นพื้นฐานของความรู้ส่วนใหญ่ในเรื่องเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางไฟฟ้าสมัยใหม่

สารที่เราเรียกว่าอำพันนั้นใช้เป็นเครื่องประดับหรือเครื่องตกแต่ง ต่อมาในหมู่พวกกรีกเรียกกันว่า อิเล็กตรอน (electron) ซึ่งเป็นชื่อที่ใช้เรียกโลหะผสมระหว่างเงินกับทองของชาวพื้นเมืองด้วย เพราะสีของสารนี้จะเลื่อมแสงเป็นสีเหลืองจางๆ ในแสงอาทิตย์

อำพันมีคุณค่าหรือสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ เมื่อถูถูซึ่งในครั้งแรกอาจจะโดยบังเอิญ โดยถูกับหนังสัตว์ที่มนุษย์ใช้สวมใส่ จะสามารถดูดเส้นผมหรือขนสัตว์และวัตถุที่เบาๆ ได้ อำนาจของอำพันดังกล่าวนี้ไม่มีการบันทึกไว้จนกระทั่ง 400 ปีก่อนคริสต์ศักราช พลาโตได้บันทึกไว้ในบทสนทนาของเขาในหนังสือ Timaeus ว่า “อำพันและหินเฮราเคลียน มีอำนาจที่แปลกประหลาดมาก” หินเฮราเคลียน ซึ่งต่อมาถูกเรียกว่า หินแม่เหล็ก (lodestone) นั้นเป็นแท่งแมกนีไทต์ ซึ่งเป็นสินแร่เหล็ก และความสามารถของสินแร่นี้ในการดูดเศษเหล็กที่วางอยู่ใกล้ๆ ได้นั้น ปรากฏในบันทึกก่อนหน้าการกล่าวถึงอำนาจของแท่ง



อำพัน พลาคโตได้เขียนถึงอำนาจของแท่งแม่เหล็กและอำพันที่ถูกถูไว้ในลักษณะที่สัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด ส่วนความแตกต่างระหว่างสาร 2 อย่างนั้นไม่มีใครรู้แน่ชัด และไม่มีใครสนใจที่จะค้นคว้าหาคำตอบนี้กัน อย่างจริงจังนัก จนกระทั่งถึงศตวรรษที่ 20

เกี่ยวกับกำเนิดและแหล่งของอำพันนั้น ได้มีนิยายกล่าวไว้มากมาย แต่ในสมัยของโรมันนั้นมักจะเชื่อกันว่าอำพันได้มาจากต้นอำพัน ไพลิน (Piny, the Elder) ได้บรรยายไว้ในหนังสือ *Natural history (Naturalis historia)* ว่าอำพันเป็นสนชนิดหนึ่ง เพราะ “เมื่อเวลาถูอำพันจะมีกลิ่นคล้ายสนออกมา” ตอนออกจากต้นใหม่ ๆ จะเป็นของเหลวแล้วจะกลายเป็นของแข็ง ซึ่งฟังดูก็มีเหตุผลดี เพราะมักจะพบแมลงถูกฝังอยู่ในอำพัน ในที่สุดสมัยใหม่ได้มีการพิสูจน์แล้วว่าอำพันเป็นซากของต้นสนสมัยโบราณที่สูญพันธุ์ไปแล้วหลายล้านปี มักจะพบใกล้ฝั่งทะเล ปะปนมากับสาหร่ายทะเลที่ถูกพายุพัดพามาติดอยู่ชายฝั่ง

ผู้คนนับจำนวนไม่ถ้วนในสมัยโบราณได้เคยเห็นการเคลื่อนที่ของวัตถุเบา ๆ เข้าหาแท่งอำพันที่ถูกถูโดยไม่คิดว่าเป็นปรากฏการณ์ที่แปลกประหลาดแต่อย่างใด ปรากฏการณ์นี้จึงไม่นับว่าเป็น “การค้นพบ” แต่อย่างใด การจะถือว่าเป็นการค้นพบนั้น อย่างน้อยที่สุดจะต้องเกิดจากความสนใจในความแปลกประหลาด การสังเกตอย่างพิถีพิถะระหัดยิ่งกว่านั้น ถ้าผู้สังเกตได้สังเกตอย่างสนใจและตั้งใจ สิ่งที่จะได้พบจริงๆ ก็คือเมื่อแท่งอำพันที่ถูกถูอยู่ใกล้ ๆ กับเส้นด้าย เส้นด้ายจะเคลื่อนเข้าหาและเข้าไปติดอยู่กับแท่งอำพัน แต่จะไม่เป็นเช่นนั้นกับวัตถุอื่นที่ไม่ใช่อำพัน แต่มีบางสิ่งบางอย่างที่นอกเหนือจากการบรรยายถึงอำนาจของแท่งอำพันเท่าที่สังเกตได้จริงดังกล่าว ในยุคแรก ๆ มักจะมีการกล่าวกันว่าแท่งอำพันที่ถูกถูจะ “ดึงดูด” “ลาก” หรือ “ดูด” วัตถุที่เบา ๆ โดยเชื่อว่ามีตัวการบังคับหรือมี “อำนาจดึงดูด” อยู่ในแท่งอำพัน ทำให้เกิดความพยายามทั้งที่มีหลักฐาน และไม่มีหลักฐานที่จะอธิบายถึงสาเหตุของปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของเส้นด้ายเข้าหาแท่งอำพันที่ถูกถูเมื่ออยู่ใกล้กันให้ได้

ความพยายามที่จะ “อธิบาย” นี้ ถูกกระตุ้นด้วยการสังเกตพบสิ่งใหม่ๆ ที่น่าประหลาดใจเพิ่มขึ้น เราพยายามที่จะสังเกตด้วยความพิถีพิถะระหัดยิ่งขึ้น โดยตั้งจุดที่จะสังเกตให้ตรงกับประสบการณ์ที่คุ้นเคย เราต้องการพิสูจน์ว่าสิ่งที่เคยคิดว่าเป็นการค้นพบใหม่และน่าประหลาดใจนั้นไม่ใหม่เสียแล้ว เป็นประสบการณ์ธรรมดาไปแล้ว โดยอาจจะอยู่ในปรากฏการณ์นั้นๆ ในรูปแบบหนึ่ง และพยายามที่จะคิดว่าการสังเกตพบอำนาจของแท่งอำพันในลักษณะที่ต่างไปจากที่เคยพบจนคุ้นเคยนั้นเป็นอีกปรากฏการณ์หนึ่งที่ต่างไปจากเดิม เพราะว่าความรู้ของคนในสมัยโบราณส่วนมากมักจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ส่วนตัวของเขาเอง เขาเหล่านั้นก็มีแนวโน้มโดยธรรมชาติที่จะอธิบายสิ่งที่ปรากฏในธรรมชาติตามประสบการณ์ดังกล่าว

การอธิบายอำนาจหรือพลังที่เกิดขึ้นในปรากฏการณ์บางอย่างว่าเป็น พลังในรูปแบบอื่นของมนุษย์



นั่นเป็นเรื่องที่ยังเกิดขึ้นทั่วไปในปัจจุบันแต่จะเป็นเรื่องที่สำคัญและแพร่หลายมากเป็นพิเศษในยุคต้นๆของกรีกสำหรับคนเหล่านั้นแล้วปรากฏการณ์ธรรมชาติทั้งหลายถูกจัดว่าเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นได้เองและถูกทำให้เกิดขึ้นสำหรับแท่งอำพันที่ถูกถูนั้นจัดว่ามีคุณสมบัติของชีวิตและคุณสมบัติของมนุษย์ การที่วัตถุเล็กๆถูกแท่งอำพันที่ได้รับการถู “ดูด” ได้นั้นบางทีอาจจะเพราะการถูทำให้แท่งอำพันเกิด “ความต้องการ” วัตถุเล็กนั้นให้เข้ามาติด เหมือนกับว่าวัตถุเล็กๆนั้นเป็น “อาหาร” ของมัน

ในระหว่างนักปรัชญาทั้งหลายนับตั้งแต่สมัยของพลาโต (Plato) เป็นต้น มีผู้พยายามที่จะหาคำอธิบายที่ไม่เกี่ยวกับพลังในรูปแบบอื่นของมนุษย์เกี่ยวกับอำนาจในการดึงดูดของแท่งอำพันและแท่งแม่เหล็กกันเรื่อยมา อีพิคุรัส (Epicurus) นักปราชญ์กรีก (ในช่วงปลายของ 400 ปีก่อนคริสต์ศักราช) ได้ตั้งสมมติฐานในลักษณะดังกล่าวกับแท่งแม่เหล็กโลก โดยอาศัยทฤษฎีพื้นฐานของกรีกก่อนหน้านั้นเกี่ยวกับ “อะตอมและที่ว่างระหว่างอะตอม” ต่อมาสมมติฐานนี้ได้รับการสนับสนุนจากลูเครเตียส (Lucretius) กวีชาวโรมัน (100 ปีก่อนคริสต์ศักราช) ใน “ความยิ่งใหญ่ที่สุดของกวีทางด้านปรัชญา” ในหนังสือ On the nature of things (De rerum natura) ต่อมาสมมติฐานนี้ได้ปรากฏขึ้นอีกในรูปแบบที่แตกต่างไปจากเดิมเล็กน้อยใน Platonic questions ของพลูตาร์คัส (Plutarch) (ค.ศ.100) ข้อสังเกตของพลูตาร์คัสก็คือ แท่งแม่เหล็ก “พ่นลมอย่างแรงออกมาด้านอากาศที่อยู่ใกล้ๆ ในทางกลับกันอากาศที่อยู่ใกล้ๆ จะดันเศษเหล็กข้างหน้าของมันออกไป และอากาศนี้จะหมุนเป็นวงเข้าสู่ตรงกลางที่เป็นศูนย์กลางด้านเศษเหล็กให้หมุนไปในทิศเดียวกันไปติดกับแท่งแม่เหล็ก” ความเชื่อว่าอากาศมีส่วนทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของวัตถุเล็กๆ เข้าหาแท่งแม่เหล็กและอำพันที่ถูกถูนี้ ถูกนำมาใช้อธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวกันทั่วไปอยู่ยาวนานจนถึงปลายศตวรรษที่ 17

พลูตาร์คัสได้ขยายการสังเกตเกี่ยวกับการดึงดูดของแท่งแม่เหล็กออกไปที่ปรากฏการณ์ของแท่งอำพันที่ถูกถูว่า “ในแท่งอำพันมีธรรมชาติเป็นไฟและมีจิตวิญญาณอยู่ และเมื่อถูกถูที่ผิว ความเป็นไฟและจิตวิญญาณนั้นจะถูกปล่อยออกมาเช่นเดียวกับแท่งแม่เหล็ก” เขายังชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างที่สำคัญระหว่างพลังของแท่งอำพันและแท่งแม่เหล็กด้วยว่า สำหรับแท่งแม่เหล็กมีแต่เศษเหล็กเท่านั้นที่วิ่งเข้าหา แต่สำหรับแท่งอำพันนั้นวัตถุเล็กๆทุกชนิดจะวิ่งเข้าหา อย่างไรก็ตามการเน้นความแตกต่างดังกล่าวของเขาก็คงไม่เพียงพอที่จะช่วยให้คนในสมัยนั้นลดความสับสนระหว่างพลังของแท่งแม่เหล็กและแท่งอำพันลงได้

การสรุปข้อเท็จจริงของความรู้ทางตะวันตกในยุคต้นๆเกี่ยวกับปรากฏการณ์ของแท่งอำพันและแท่งแม่เหล็กนี้มีปรากฏใน The city of God (De civitate Dei ค.ศ. 428) ของเซนต์ออกัสติน (Saint Augustine) นักปรัชญาผู้ยิ่งใหญ่ทางศาสนาคริสต์ในยุคนั้น การสังเกตที่สำคัญของเขาก็คือ “สำหรับข้าพเจ้านั้นไม่ปรากฏาที่จะให้สิ่งมหัศจรรย์ที่ข้าพเจ้าได้กล่าวไว้เป็นที่ยอมรับในทันทีทันใด เพราะตัว



ข้าพเจ้าเองก็ไม่ได้เชื่ออย่างแน่นอนนัก จนกว่าจะมีผู้ที่ได้สังเกตพบเช่นเดียวกับข้าพเจ้าหรือไม่ก็ตาม ที่ได้พิสูจน์แล้วว่าแม่เหล็กมีสมบัติที่ลึกลับในการสามารถดูดเศษเหล็กได้แต่ไม่สามารถดูดเศษฟางได้” ความระมัดระวังในการแยกแยะระหว่างความรู้ที่สามารถพิสูจน์ได้และที่ไม่สามารถพิสูจน์ได้นี้เป็นลักษณะผลงานของออกัสติน

เช่นเดียวกับพลูตาร์คนักปรัชญารุ่นก่อนเขา ออกัสตินได้สังเกตพบว่าแท่งแม่เหล็กสามารถดูดเศษเหล็กได้แต่ไม่สามารถดูดเศษฟางได้ ซึ่งเป็นความแตกต่างที่เขาประหลาดใจมาก เช่นเดียวกับที่เมื่อไม่นานมานี้ก็มีผู้ประหลาดใจเกี่ยวกับ “อำนาจในการดึงดูด” ที่มีเหมือนกันในแท่งแม่เหล็กและแท่งอำพัน แทนที่จะศึกษาค้นคว้าเรื่องนี้ต่อไปเขากลับใช้ประโยชน์ของความรู้นี้ไปในทางศาสนาและจริยศาสตร์ซึ่งเขาคิดว่าสำคัญว่า เขาตั้งคำถามว่า ถ้าปรากฏการณ์ธรรมดาๆเช่นนี้แปลกประหลาดเกินกว่าที่จะสามารถอธิบายได้ทำไมจะต้องมาใช้เหตุผลของมนุษย์อธิบายความมหัศจรรย์นั้น หลังจากออกัสตินเป็นต้นมา เรื่องราวทางศาสนาและจริยธรรมเริ่มถูกดึงเข้ามาสู่ความสนใจของนักคิดทั้งหลายในทางศาสนาคริสต์นิกายตะวันตก อยู่หลายศตวรรษ ความรู้ในทางโลกและการศึกษาค้นคว้าที่ไม่เกี่ยวกับศาสนามีผู้ให้ความสนใจหรือยกย่องสรรเสริญน้อยมาก สถานศึกษาและนักวิชาการในยุคกลางไม่ได้รับการส่งเสริมให้เรียนรู้ทางด้านปรัชญาธรรมชาติ แต่ก็ถูกอบรมให้เรียนรู้ถึงสิ่งที่จะเป็นพื้นฐานสำคัญในการศึกษาค้นคว้าทางด้านวิทยาศาสตร์ในอนาคตโดยทางอ้อม คือยังคงรักษาและส่งเสริมให้เกิดเจตคติที่ดีของอารยธรรมกรีกและโรมัน คือการเคารพกฎเกณฑ์อย่างเคร่งครัด ความพยายามที่จะคิดถึงสิ่งที่ครอบคลุมปรากฏการณ์ย่อยๆโดยหลักการทั่วไป ลักษณะนิสัยของการคิดอย่างเป็นระบบ ความรู้สึกถึงความจำเป็นลำดับต่อเนื่องของเหตุปัจจัยของสิ่งที่ปรากฏ

การเริ่มต้นของวิทยาศาสตร์ในสมัยฟื้นฟูศิลปวิทยา การประกาศถึงการฟื้นฟูความสนใจในวิทยาการที่เป็นอมตะระหว่างปราชญ์ทั้งหลายเกิดขึ้นในช่วงศตวรรษที่ 12 และ 13 หลังจากที่ได้มีการนำความรู้ของกรีกเข้าสู่ยุโรปตะวันตกแล้ว ในช่วงเวลานี้เป็นที่รู้กันดีแล้วว่าหินแม่เหล็กที่วางอยู่บนไม้ที่ลอยน้ำจะหมุนไปจนปลายด้านหนึ่งของมันชี้ไปที่ขั้วโลกเหนือเสมอ ยิ่งกว่านั้นยังได้พบว่าเข็มที่เป็นสารแม่เหล็กที่ถูกติดอยู่กับแท่งไม้เล็กๆลอยอยู่ในน้ำจะชี้ปลายหนึ่งไปที่ขั้วโลกเหนือเสมอเช่นเดียวกัน ไม่เพียงแต่เครื่องมือเดินเรือที่สำคัญที่เรียกว่าเข็มทิศนี้จะทำให้คนพ่วงความสนใจไปที่หินแม่เหล็กและแท่งอำพันเท่านั้น แต่การสังเกตพบว่าแท่งอำพันไม่ได้ชี้ไปในลักษณะเช่นนั้นแม้จะได้รับการขัดถูก็เป็นหลักฐานอีกอย่างหนึ่งที่นำไปสู่การศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่างๆของแท่งอำพันแยกไปจากปรากฏการณ์ทางแม่เหล็ก



ผู้เขียนเกี่ยวกับการศึกษาค้นคว้าในยุคคลาสสิกทั้งหลายก็กล่าวถึงอัญมณีหลายชนิดที่แสดงปรากฏการณ์เช่นเดียวกับแท่งอำพัน ในยุคกลางนั้นเป็นที่รู้กันทั่วไปว่า เจ็ดหรือส่วนที่เจ็ดของถ่านหินก็มีสมบัติดังกล่าว และในต้นศตวรรษที่ 16 ก็มีการระบุว่าเพชรมีสมบัตินี้เช่นกัน ดังนั้นจึงมีการสะสมหลักฐานข้อมูลในการจัดสารต่างๆที่มีสมบัติของอำพันเข้าไว้ด้วยกัน และได้มีความพยายามที่จะหาสมบัติร่วมของสารเหล่านั้น ยิ่งกว่านั้นในช่วงกลางศตวรรษที่ 16 ได้มีความพยายามที่จะแยกปรากฏการณ์ทางแม่เหล็กออกจากปรากฏการณ์ของอำพัน

เจโรมิ คาร์แดน (Jerome Cardan) ได้มีการศึกษาใหม่ที่เสนอไว้ในรายงานเรื่อง *On subtilty* (*De subtilitate*, 1550) โดย เจโรมิ คาร์แดน นักคณิตศาสตร์และแพทย์ผู้มีชื่อเสียงชาวอิตาลี เป็นคนแรกที่สรุปความรู้ข้อมูลที่สะสมไว้เกี่ยวกับอำพัน รวมทั้งการอ้างถึงสรรพคุณทางยาของอำพันด้วย และได้กล่าวไว้อย่างไม่ถูกต้องนักว่า “หินแม่เหล็กและอำพันนั้นมีการดึงดูดที่ไม่เหมือนกัน” ปรากฏการณ์ทั้งสองแตกต่างกันที่คุณภาพ ไม่ใช่ปริมาณดังที่ผู้เขียนก่อนหน้านี้เชื่อกัน คาร์แดนรวบรวมหลักฐานประกอบคำกล่าวของเขา ซึ่งส่วนมากได้มาจากผลงานของนักวิทยาศาสตร์คนก่อนๆ ดังต่อไปนี้

- 1) อำพันจะดึงดูดทุกอย่างที่เบา แต่แม่เหล็กดูดได้แต่เหล็ก
- 2) อำพันไม่สามารถดูดเศษกระดาษเบาๆเข้าหามันได้เมื่อมีบางสิ่งขวางอยู่ แต่แม่เหล็กสามารถดูดเหล็กได้แม้เมื่อมีบางสิ่งขวางอยู่
- 3) อำพันไม่ถูกดูดโดยเศษกระดาษเบาๆ แต่แม่เหล็กถูกเหล็กดูดได้
- 4) อำพันไม่ดูดวัตถุที่ปลายของมัน แต่แม่เหล็กดูดเหล็ก บางทีก็ที่ปลายด้านเหนือ บางทีก็ที่ปลายด้านใต้ (เศษอำพันแม่เมื่อถูกขีดถูจะไม่แสดงขั้ว ต่างจากหินแม่เหล็กที่มีขั้วถาวร)
- 5) การดึงดูดของอำพันเพิ่มขึ้นได้โดยแรงเสียดทาน(การขัดถู)และความร้อน แต่สำหรับแม่เหล็กนั้นการดึงดูดเพิ่มขึ้นได้โดยการทำความสำเร็จส่วนที่ดึงดูด (นั่นคือการขจัดสิ่งแปลกปลอมที่มาติดอยู่ออกไป)

เพื่อทดสอบข้อเท็จจริงเกี่ยวกับความแตกต่างดังกล่าวข้างต้น คาร์แดนได้เสนอแนวคิดที่อาจจะเป็นสมมติฐานแรกเกี่ยวกับปรากฏการณ์ของอำพันที่ต่างไปจากแม่เหล็กว่า การขัดถูอำพันทำให้ “ไขมันและของเหลวที่เป็นยางเหนียวออกมาจากอำพัน และกระดาษชิ้นเล็กๆหรือวัตถุที่แห้งต่างๆ ในขณะที่ถูไขมันหรือยางเหนียวนั้นอยู่ก็จะเคลื่อนเข้าหาอำพัน โดยเขาดังสมมติฐานว่าทันทีที่สิ่งแห้งๆทุกชนิดเริ่มดูดความชื้น มันจะเคลื่อนเข้าหาสิ่งที่เป็นต้นตอของความชื้น เช่นเดียวกับไฟที่ลามทุ่งหญ้า”



บทความเรื่อง *On subtlety* ของคาร์แดนได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง เป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ “ที่ลึกลับ” ที่สามารถรับรู้ได้โดยประสาทสัมผัสและความฉลาดของผู้ที่ฉลาดปราดเปรื่อง แต่ด้วยความยากที่จะเข้าใจ มีผู้พบสิ่งที่ปัจจุบันถือว่าเป็นนิยายและมีความขัดแย้งมากมายในรายงานนั้น แต่ก็มีบางส่วนที่ถือได้ว่าเป็นความรู้ทางฟิสิกส์ที่ใช้ได้ และมีความก้าวหน้าทางกระบวนการศึกษาค้นคว้าอยู่บ้าง เราจะเห็นได้ว่าแม้เพียงความคล้ายคลึงระหว่างปรากฏการณ์ทางแม่เหล็กและของอำพันก็ทำให้ผู้คนสนใจติดตามค้นคว้าในเรื่องนี้อยู่เป็นเวลานาน ความแตกต่างของปรากฏการณ์ของทั้งสองสิ่งนี้ที่คาร์แดนตั้งข้อสังเกตไว้จึงเป็นเรื่องที่สำคัญมาก

เป็นที่น่าสังเกตว่าคาร์แดนและนายแพทย์คนอื่น ๆ อีกหลายคนในยุคนี้ได้ให้ความรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์ของอำพันในสมัยแรกๆ ไว้มาก ซึ่งเป็นไปได้ว่าความสนใจของนักวิทยาศาสตร์ยุคแรกๆ เหล่านี้คงจะเนื่องมาจากความสำคัญของสรรพคุณทางยาของอำพัน แต่ในยุคใหม่ของนายแพทย์คนอื่น ๆ ได้แก่ วิลเลียม กิลเบิร์ต นั้น ความสนใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์อำพัน คงมีสาเหตุเนื่องมาจากปรากฏการณ์ที่คล้ายคลึงกันระหว่างอำพันและแม่เหล็กมากกว่า

วิลเลียม กิลเบิร์ต เป็นบุตรของ Recorder of Colchester ผู้ร่ำรวย วิลเลียม กิลเบิร์ต (1544-1603) ได้รับการศึกษาที่มหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ และตั้งรกรากอยู่ที่กรุงลอนดอนในปี ค.ศ. 1570 ไม่ช้าเขาก็ได้รับเลือกเป็นสมาชิกของราชแพทยวิทยาลัย (Royal College of Physicians) และต่อมาก็ได้รับแต่งตั้งเป็นนายกสมาคมและแพทย์ประจำพระองค์ของสมเด็จพระราชินีเอลิซาเบธ แต่ชื่อเสียงที่เขาได้รับนั้นอยู่ที่ผลงานในด้านแม่เหล็กและไฟฟ้าและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าในเรื่องนี้



รูปที่ 1 วิลเลียม กิลเบิร์ต



หนังสือที่สำคัญของกิลเบิร์ตเรื่อง *On the magnet (De magnete, 1600)* เกี่ยวข้องโดยตรงกับเรื่องแม่เหล็ก ส่วนที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ของอำพันนั้นเป็นการพูดนอกเรื่องที่มีเพียง 1 บท หรือประมาณ 1 ใน 5 ของเนื้อหาทั้งหมด ความแตกต่างระหว่างปรากฏการณ์ของแม่เหล็กและอำพันนั้นยังไม่เป็นที่เข้าใจกันดีนักในสมัยของกิลเบิร์ต และเขาต้องได้รับความยากลำบากมากที่จะศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับความแตกต่างดังกล่าว เขาจึงต้องหลีกเลี่ยงความสับสนที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ที่ใช้แนวความคิดเกี่ยวกับแม่เหล็กของเขาที่อธิบายปรากฏการณ์ของอำพันที่ถูกขัดถู ในขณะที่เดียวกันเขาก็ปกป้องตัวของเขาเองจากผู้ที่ยึดแย้งทฤษฎีแม่เหล็กของเขา ที่มีฉะนั้นอาจจะโจมตีเขาในจุดที่ว่าทฤษฎีดังกล่าวไม่กว้างพอที่จะอธิบายปรากฏการณ์ที่ดูเหมือนจะคล้ายคลึงกันของอำพัน

กิลเบิร์ตรู้ว่าคาร์แดนได้ชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างการดึงดูดของแม่เหล็กและแท่งอำพันแล้ว แม้เขาจะไม่กล่าวออกมา เขามีแนวโน้มที่จะวิจารณ์ความคิดที่ผิดพลาดของนักวิทยาศาสตร์รุ่นก่อนหน้าเขามากกว่าที่จะให้เกียรติว่า ได้ค้นพบสิ่งที่มีประโยชน์มาก่อน ยิ่งกว่านั้นสำหรับเขาแล้วข้อมูลดังกล่าวถือว่ายังไม่เพียงพอที่จะเน้นว่าเป็นความแตกต่าง เขาคิดว่าปรากฏการณ์ของวัตถุทั้งสองที่กล่าวถึงนั้น เป็นความแตกต่างโดยหลักคร่าว ๆ เท่านั้น ดังนั้นเขาจึงเริ่มทำการศึกษาสมบัติของแท่งอำพันโดยละเอียด



รูปที่ 2 วิลเลียม กิลเบิร์ต กำลังถวายนามอธิบายเรื่องอำนาจแม่เหล็กโลก

แต่สมเด็จพระราชินีอลิซาเบธที่ 1



การค้นพบเกี่ยวกับ "สมบัติทางไฟฟ้า (electrics)" ใหม่ ๆ อีกหลายประการของกิลเบิร์ต

ข้อความที่ได้มาจากหนังสือของกิลเบิร์ตต่อไปนีถือว่าเป็นตัวชี้บ่งถึงจุดเริ่มต้นของวิทยาศาสตร์ทางไฟฟ้าสมัยใหม่ เมื่อพิสูจนด้วยตนเองจนเชื่อได้แล้วว่าแท่งอำพันที่ถูกถู และแท่งถ่านหินบดสามารถดึงดูดวัตถุที่เบาๆ ได้ ดังที่นักวิทยาศาสตร์คนอื่นๆ ได้เคยพบมาแล้ว กิลเบิร์ตก็เริ่มที่จะค้นคว้าว่าจะยังมีสารอื่นอีกหรือไม่ ที่เมื่อถูแล้วจะมีพลังอำนาจในการดึงดูดวัตถุอื่น เขาได้ค้นพบสารเหล่านั้นมากมาย

เพราะไม่ใช่แต่เพียงแท่งอำพันและแท่งถ่านหินบดที่ถูกถูเท่านั้นที่สามารถดึงดูดวัตถุเล็กๆ เบาๆ ได้ เพชร แหฬไฟร์ (สารประเภทคอร์รันดัม ได้แก่ นิล มรกต บุษราคัม ฯลฯ) พลอยสีแดง พลอยไวยริส โอปอลล์ อมิติล...เบอร์ริล (แร่ที่เป็นส่วนประกอบของนิล) หินควอตซ์ที่เป็นผลึก (rockcrystal) พลวง แก้ว ฟลูออรัสปาร์หลายชนิดจากเหมือง และเบลเลมไนต์ (belemnites) ต่างก็เป็นเช่นนั้น กำมะถันก็ดึงดูดสารอื่นได้เช่นเดียวกับยางไม้ที่ใช้ทำน้ำมันทาไม้ (mastic) และซีมี้งแข็ง ยางสน (resin) ที่ค่อนข้างแข็งและแร่ที่ประกอบด้วยสารหนูและกำมะถัน (orpiment) ก็สามารถดึงดูดวัตถุเล็กๆ ได้เช่นเดียวกัน แต่ด้วยแรงที่อ่อนกว่าในสภาพที่อากาศแห้ง เกลือหิน ไมกา สารส้ม ก็สามารถทำให้เกิดแรงดึงดูดที่อ่อนๆ ได้ ซึ่งจะสังเกตได้เมื่อตอนกลางฤดูหนาวที่เย็นจัดที่ห้องฟ้าโปร่ง เมื่อสิ่งที่กั้นของแรงดึงดูดทางไฟฟ้าน้อยลง และวัตถุที่มีอำนาจดึงดูดทางไฟฟ้าแข็งขึ้น

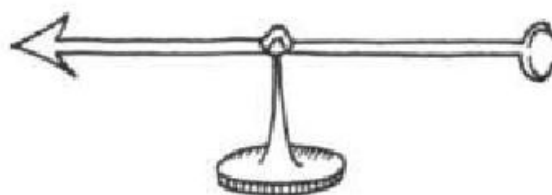
จะสังเกตได้ว่ากิลเบิร์ตได้แนะนำศัพท์ใหม่เข้ามาคือ คำว่า ไฟฟ้า (electrics) ซึ่งเขาใช้ศัพท์ทั่วไปเมื่ออ้างถึงสารหลายชนิดที่พบว่าเมื่อถูจะสามารถดึงดูดวัตถุเล็กๆ เบาๆ ได้เช่นเดียวกับอำพันและแท่งถ่าน ศัพท์นี้โดยปกติจะปรากฏในตำราภาษาละตินของกิลเบิร์ตว่า อิเล็กตริกา (electrico) ซึ่งมีต้นตอมาจากภาษากรีกที่หมายถึงอำพัน การให้ชื่อกับแนวคิดใหม่หรือกลุ่มของปรากฏการณ์ที่ค้นพบใหม่ ไม่ได้ช่วยอธิบายความคิดหรือปรากฏการณ์เหล่านั้นให้กระจ่างขึ้นแต่อย่างใด ประโยชน์อยู่ที่การทำให้ความคิดนั้นหรือปรากฏการณ์เหล่านั้นง่ายขึ้นเพื่อที่จะคิดหรืออภิปรายกันต่อไป โดยวิธีการทางอ้อมเช่นนี้อาจช่วยให้เกิดการค้นพบคำอธิบายที่ดีก็ได้ ในขณะที่เดียวกันชื่อพิเศษอาจช่วยเน้นความคิดและทำให้สามารถสืบทอดหรือคงความคิดไว้ได้ต่อไป การสืบทอดหรือคงความคิดมักจะทำให้ไม่เกิดความเจริญก้าวหน้า เพราะเมื่อความรู้ได้รับการพัฒนาขึ้น ความคิดเก่าๆ ควรจะมีหน้าที่นำทางให้เกิดความคิดใหม่ที่ดีกว่า มีประโยชน์กว่า การใช้ศัพท์เดิมอาจจะยับยั้งและเป็นอุปสรรคในการที่จะยอมรับการเปลี่ยนแปลงต่างๆ



เครื่องมือทางไฟฟ้าเครื่องแรก กิลเบิร์ตได้ให้ความรู้เกี่ยวกับการศึกษาทางไฟฟ้าของเขามากขึ้น สาร (ที่มีอำนาจทางไฟฟ้าอยู่) เหล่านี้ไม่เพียงแต่จะดึงดูดเศษฟางหรือกลบเท่านั้น แต่สามารถดูดโลหะไม้ ก้อนหิน ดิน แม้แต่น้ำและน้ำมันได้ด้วย กล่าวสั้นๆก็คือสารที่เรารับรู้ได้หรือที่เป็นของแข็งจะถูกดูดได้หมด แต่เราได้ทราบจากนักวิทยาศาสตร์คนอื่น ๆ ว่ามันดูดได้แต่เพียงฟางข้าวและเศษไม้แห้งๆ

ตอนนี้ เพื่อให้เกิดความเข้าใจไฟฟ้าชัดเจนขึ้นจากข้อมูลที่สังเกตได้ถึงการดึงดูดดังกล่าว และมีสารอะไรบ้างที่เป็นเช่นนั้น (เพราะมีสารที่มีไฟฟ้าหลายชนิดแสดงการดึงดูดได้ด้วยแรงที่น้อยมาก โดยเพียงแต่ทำให้วัตถุที่ถูกดูดเคลื่อนไหวเล็กน้อยเท่านั้น) ลองสร้างเข็มทิศไฟฟ้า (versionum) ที่ทำด้วยโลหะอะไรก็ได้ ตัวเข็มยาว 3 หรือ 4 นิ้ว วางอยู่บนจุดกึ่งกลางของฐาน ในลักษณะเดียวกับเข็มของเข็มทิศในการเดินเรือ นำแท่งอำพันผิวเรียบหรืออัญมณีที่ขัดแล้ว มาถูที่ปลายหนึ่งของเข็ม คานของเข็มทิศนี้จะบิดไปทันที วัตถุหลายชนิดถูกดึงดูดได้ ไม่แต่เพียงวัตถุในธรรมชาติเท่านั้น แต่วัตถุที่สร้างขึ้นจากสารหลายอย่างหลอมรวมกันหรือผสมกันก็ได้ สมบัตินี้เกิดขึ้นได้ไม่เพียงกับสารเพียง 1 หรือ 2 ชนิด (อย่างที่เข้าใจกัน) แต่กับสารหลายชนิดมาก ทั้งที่มีองค์ประกอบอื่นๆ อย่างไรก็ตาม เราต้องศึกษาค้นคว้าให้สมบูรณ์ขึ้นว่าเมื่อใดจึงจะมีแนวโน้มที่จะเกิดการดึงดูดขึ้น และแรงดึงดูดเหล่านั้นคืออะไร สิ่งนี้นักวิทยาศาสตร์ไม่กี่คนได้ศึกษาค้นคว้าไว้นั้นน้อยมากเหมือนกับไม่ได้ค้นพบอะไรเลย

เข็มทิศไฟฟ้าของกิลเบิร์ต (รูปที่ 3) นั้น อาจจะจัดเป็นเครื่องมือทางไฟฟ้าเครื่องแรกก็ว่าได้ คำว่า เข็มทิศหมายถึง “หมุนไปรอบๆ” รูปร่างของเครื่องมือคล้ายกับเข็มทิศที่ใช้ในการเดินเรือ กิลเบิร์ตได้รูปแบบนี้มาโดยธรรมชาติเพราะเขามีประสบการณ์ที่เกี่ยวกับแม่เหล็กกว้างขวางมาก แต่ที่สำคัญ ก็คือต้องไม่สับสนระหว่างเข็มทิศไฟฟ้ากับเข็มทิศที่ใช้ในการเดินเรือ ซึ่งเข็มที่ใช้เป็นแม่เหล็ก เข็มที่เป็นเข็มทิศไฟฟ้าอาจทำด้วย “โลหะชนิดใดก็ได้” หรือที่จริงแล้วอาจทำด้วยไม้หรือสิ่งที่เป็นของแข็งใดๆก็ได้



รูปที่ 3 เข็มทิศไฟฟ้าของกิลเบิร์ต (จาก De Magnete p. 49)



ก่อนที่จะเกิดเบิร์ตจะสร้างเข็มทิศไฟฟ้าขึ้นนั้น วิธีการเดียวที่จะตรวจสอบว่าสารที่ถูกดูจะดูดวัตถุเล็กๆ หรือไม่ก็คือ นำสารที่ถูกดูมาวางใกล้ๆวัตถุเล็กๆที่จะดูดดูด และดูว่าวัตถุเล็กๆนั้นจะมีการเคลื่อนที่หรือไม่ แต่เกิดเบิร์ตพบว่าสารที่ถูกดูสามารถหมุนเข็มเบาๆที่เจาะรูตรงกลางความยาวของเข็มแล้ววางไว้บนเสาปลายแหลม (ดังรูปที่ 3) ได้ แม้ว่าแรงนั้นจะไม่เพียงพอที่จะเคลื่อนวัตถุที่เล็กมากๆได้ก็ตาม กล่าวสั้นๆก็คือเข็มทิศทางไฟฟ้าเป็นเครื่องมือที่ไวมากในการบอกถึงแรงที่เกิดจากไฟฟ้าได้ ชื่อสมัยใหม่ของเครื่องมือดังกล่าวก็คือ เครื่องวัดประจุไฟฟ้า (electroscope)

เกิดเบิร์ตได้บรรยายถึงเครื่องมือใหม่ของเขาไว้อย่างละเอียดถี่ถ้วนเพียงพอที่นักวิทยาศาสตร์คนอื่นๆสามารถจะประดิษฐ์ขึ้นมาใช้ในการทดลองเองได้ถ้าต้องการ และสามารถจะทำการทดลองของเขาซ้ำได้โดยเครื่องมือดังกล่าว แม้กระนั้นแทนที่จะพยายามสร้างเครื่องมือง่ายๆ ที่ใช้หาแรงดึงดูด และสมบัติทางไฟฟ้าดังกล่าว กลับต้องใช้เวลากว่าร้อยปีให้หลัง จึงสามารถค้นพบสารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าใหม่ๆ อีกหลายชนิดได้ ส่วนใหญ่แล้วสารที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ได้มีการตีพิมพ์เผยแพร่ในศตวรรษที่ 17 นั้นล้วนแล้วแต่คัดลอก หรือดัดแปลงมาจากหนังสือของเกิดเบิร์ตทั้งสิ้น

การทดสอบสมมติฐานที่มีมาตั้งแต่สมัยต้นๆของเกิดเบิร์ต ก่อนจะย้อนกลับไปทำงานในการพยายาม “อธิบาย” ข้อมูลที่ได้จากการทดลองทางไฟฟ้าของเขานั้น เกิดเบิร์ตได้สำรวจแนวความคิดหลักที่มีผู้คิดไว้ก่อนหน้านี้อย่างพิถีพิถัน บางทีก็ใช้การทดลองเพิ่มเติมที่ออกแบบเพื่อช่วยพิสูจน์สมมติฐานเหล่านั้นโดยเฉพาะด้วย เขาสรุปว่าพลังดึงดูดของแท่งอำพันคือ

1) ไม่ได้เนื่องมาจาก “ความร้อนจากไฟ” แม้ว่าคนในสมัยก่อนจะเคยสังเกตพบว่าสารที่มีไฟฟ้าที่ร้อนสามารถจะดูดวัตถุเล็กๆได้ก็ตาม จากผลการทดลองของเกิดเบิร์ตแสดงให้เห็นว่าการดึงดูดจะเกิดขึ้นต่อเมื่อความร้อนนั้นเกิดจากการขัดถูเท่านั้น

2) ไม่ได้เนื่องมาจากการที่สารที่ถูกดึงดูดนั้นดูดเอา “ของเหลวที่เป็นน้ำมัน” จากแท่งอำพันที่ถูกดู ดังที่คาร์แดนได้เสนอแนวคิดไว้ เพราะว่าถ้าเป็นเช่นนั้นสารที่ถูกดูดจะต้องมีขนาดพอโตขึ้น ในขณะที่แท่งอำพันต้องมีขนาดหดเล็กลง ซึ่งตามที่เกิดขึ้นได้มิได้เป็นเช่นนั้น

3) ไม่ได้เนื่องมาจากการที่อากาศที่เข้าไปแทนที่ดึงเอาสารที่ถูกดูดเข้าไปหาแท่งอำพันตามความคิดของฟลูตารัส “เพราะเหล็กร้อนสีขาว เปลวเทียน เปลวไฟจากตะเกียง หรือถ่านหินที่ติดไฟเมื่อถูกนำมารวมใกล้กับฟางหรือเข็มทิศไฟฟ้าจะไม่ดึงดูดเข็มเข้าหา เพราะสารเหล่านั้นต้องการอากาศไปใช้ในการเผาไหม้เหมือนตะเกียงต้องการน้ำมัน”



4) ไม่ได้เนื่องจาก “สมบัติ” เดียวๆ สมบัติใดของอำพันหรือสารที่มีสมบัติคล้ายอำพันอื่นๆ เพราะสารหลายชนิดแตกต่างจากอำพันก็มีสมบัติทางไฟฟ้า และยิ่งกว่านั้นการถูสารที่มีไฟฟ้าสามารถดึงดูดสารอื่นๆ ได้ทั้งหมด

สารที่ไม่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้า ในเรื่องนีกลิลเบิร์ตได้บรรยายถึงการค้นพบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งว่า ไม่ใช่สารทุกอย่างเมื่อถูและนำมาไว้ใกล้ที่สุด ก็จะทำให้เข็มทิศไฟฟ้าหมุนได้แม้แต่เพียงเล็กน้อย เป็นที่ประจักษ์ว่ามีสารหลายชนิดที่ไม่สามารถทำให้เกิดสมบัติทางไฟฟ้าได้ ดังนั้นจึงสามารถแบ่งสารโดยทั่วไปออกได้เป็น 2 ประเภทคือ สารที่มีสมบัติทางไฟฟ้า และสารที่ไม่มีสมบัติทางไฟฟ้า

แนวความคิดหลักของกิลเบิร์ต ด้วยความรู้สึกที่ว่าสมมติฐานของนักวิทยาศาสตร์ก่อนหน้านี้เขานั้นไม่เป็นไปตามผลการทดลองของเขา ในตอนนีกลิลเบิร์ตจึงทำการทดลองที่จะพิสูจน์ให้ได้ด้วยการตั้งสมมติฐานขึ้นใหม่เป็นของตนเอง ซึ่งสามารถจะอธิบายถึงสาเหตุและพฤติกรรมหรือสมบัติของสารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าและสารที่ไม่มีสมบัติทางไฟฟ้า แต่เขายังคงรักษาแนวความคิดที่ยังชัดเจน สามารถหาทางพิสูจน์ได้ของนักวิทยาศาสตร์ในยุคโบราณและยุคกลางไว้ เพราะไม่มีใครที่จะหลีกเลี่ยงจากความรู้พื้นฐานที่ตัวเองมีอยู่เดิมไปได้ทั้งหมด อย่างไรก็ตามทัศนคติของเขาที่มีต่อ “แนวความคิดของผู้ได้รับความเชื่อถือ” ดังเดิมนั้น ในตอนนี้ยังโน้มเอียงไปในทางสงสัยไม่เชื่อถือมากกว่าที่เคยเป็นมา ในช่วงเวลานี้การเปลี่ยนแปลงอย่างมีเหตุผลกำลังเป็นไปอย่างดียิ่ง การปฏิวัติแนวความคิดทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Revolution) และนักวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียงในยุคนั้นก็คือนักวิทยาศาสตร์ 2-3 คน เช่น กิลเบิร์ตที่ประสบความสำเร็จจากการแยกตัวเองออกมาจากแนวคิดและวิธีการทดลองที่เคยมีมาก่อนในอดีต

กิลเบิร์ตได้เสนอสมมติฐานว่า สารทุกชนิดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ ลักษณะที่หนึ่งคือ “ของไหลและเปียก” และอีกลักษณะหนึ่งคือ “ของแข็งและแห้ง” สารบางชนิดมีทั้ง 2 ลักษณะ บางชนิดมีลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่ง ลักษณะของอำพัน อัญมณีที่ส่องแสงแวววาว และแก้ว ซึ่งให้เขาตั้งสมมติฐานว่าสารที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเหล่านี้แข็งตัวมาจากที่เคยเป็นของไหล ดังนั้นเขาจึงตั้งสมมติฐานต่อไปว่าสารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าทุกชนิด มีลักษณะเป็นของไหลและเปียก เขาสังเกตพบว่าสมมติฐานนี้จะต้องได้รับการพิสูจน์โดยวิธีการเฉพาะ ถ้าสารที่ไม่ใช่ของไหลปนกับสารที่เป็นของไหล ของผสมนั้นจะไม่มีสมบัติทางไฟฟ้า ยิ่งกว่านั้นถึงแม้ว่าวัตถุจะมีลักษณะของของไหลและเปียก มันจะไม่มีสมบัติทางไฟฟ้าถ้าสารนั้นหลอมหรืออ่อนตัวเมื่อมีการถู



ต่อไปเราพยายามที่จะหาคำอธิบายสำหรับแรงดึงดูด ซึ่งเราเชื่อว่ามีต้นตอมาจากความชื้น ตรงนี้เราเริ่มเอาสมมติฐานเก่าซึ่งเสนอไว้ว่า วัตถุทุกชนิดมีสาเหตุที่ทำให้แสดงสมบัติทางไฟฟ้าและทางแม่เหล็กอยู่ 2 ประการคือ “เนื้อสาร” และ “ลักษณะของสาร” คำว่า “เนื้อสาร” หมายถึงสิ่งที่ประกอบเป็นวัตถุนั้นขึ้นมา และ “ลักษณะของสาร” หมายถึงสมบัติซึ่งเนื้อสารมีอยู่ในแต่ละสถานภาพ ดังนั้นเนื้อสารทำให้เกิดลักษณะของสาร เช่น ทองเหลืองทำให้เกิดรูปปั้น ลักษณะของสารก็คือ สิ่ง que แสดงให้เห็นว่าวัตถุนั้นเป็นอะไร

กิลเบิร์ตคิดว่าแรงดึงดูดทางไฟฟ้านั้นเกิดจากเนื้อของสาร ซึ่งประกอบด้วยไฟฟ้า เพราะจากการสังเกตทำให้เขาเชื่อว่าเนื้อสารเท่านั้นที่เป็นตัวการให้เกิดสมบัติทางไฟฟ้าไม่ใช่สาร เขาตั้งสมมติฐานว่าสารที่มีสมบัติทางไฟฟ้า เมื่อถูกถูจะปล่อยไอออกมา ซึ่งไอนี้จะเกิดขึ้นได้จากความร้อน ความร้อนนี้จะเกิดขึ้นในเนื้อสารโดยการถู แต่ไม่ใช่จากการเผาด้วยไฟ หรือถูกแสงอาทิตย์ หรือแหล่งกำเนิดความร้อนจากภายนอกใดๆ



โจเซฟ พรีสทลีย์
นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ



อังทวน ลาวัวซีเย
นักเคมีชาวฝรั่งเศส

รูปที่ 4

ตอนนี้กิลเบิร์ตเข้ามาใกล้การค้นพบที่สำคัญมากแล้ว ถึงแม้ว่าการถูวัตถุจะทำให้วัตถุร้อนและมีสมบัติทางไฟฟ้า ความร้อนอย่างเดียวก็ไม่สามารถจะทำให้วัตถุมีสมบัติทางไฟฟ้าได้ ถึงกระนั้นก็ตามความจริงที่ว่าความร้อนและการมีสมบัติทางไฟฟ้ามักจะเกิดขึ้นร่วมกันเมื่อวัตถุถูกถูทำให้เกิดการศึกษา



เรื่องนี้กันอย่างกว้างขวางเป็นเวลานานกว่าร้อยปีหลังจากสมัยของกิลเบิร์ต และได้มีความพยายามรื้อและซ้ำอีกในการที่จะกระตุ้นให้วัตถุเกิดสมบัติทางไฟฟ้าโดยใช้ “แม่เหล็กหรือก้อนหินที่ร้อนแดง” หนึ่งในงานสำคัญในกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นแรกๆ ก็คือ ในบรรดาข้อมูลที่สังเกตได้มากมายนั้น ข้อมูลใดจะเหมาะสมที่จะนำมาใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่สงสัยและน่าจะมีคำพอที่จะให้ความสนใจในข้อมูลนั้นๆ ถึงแม้ว่าการทดลองของกิลเบิร์ตจะแสดงให้เห็นว่าการทำให้วัตถุร้อนขึ้นเพียงอย่างเดียวนั้น ไม่ได้กระตุ้นให้เกิดสมบัติทางไฟฟ้าขึ้นได้ เขาก็ไม่สามารถยกเลิกความคิดที่ว่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการถูนั้นเป็นสาเหตุที่เหมาะสมได้ทั้งหมดเสียทีเดียว ดังนั้นเขาจึงถือความคิดกลางๆ เป็นหลักว่าความร้อนเป็นสิ่งที่จำเป็นในการทำให้เกิดสมบัติทางไฟฟ้า แต่ต้องเป็นความร้อนที่เกิดจากการถูเท่านั้นจึงจะได้ผล

สำหรับ แม่เหล็ก นั้น กิลเบิร์ตคิดว่า อำนาจในการดึงดูดเศษเหล็กนั้นเกิดจากลักษณะของสาร ไม่ใช่จากเนื้อของสาร เขาเชื่อว่าลักษณะของแม่เหล็กนั้นแม้จะไม่มีตัวตนก็สามารถจะเข้าไปในที่ว่างรอบๆ แท่งแม่เหล็กได้ และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสารของเศษเหล็กให้เคลื่อนเข้าไปใกล้แม่เหล็กเกิดเป็นแรงดึงดูดซึ่งกันและกันระหว่างแม่เหล็กและเศษเหล็กได้ เพื่อเป็นหลักฐานเพิ่มเติมที่แสดงถึงความแตกต่างระหว่างไฟฟ้าและแม่เหล็ก เขาได้อ้างถึงความรู้ที่เขาอยู่ว่า สิ่งกีดขวางบางอย่าง เช่น อากาศขึ้นหรือ น้ำ สามารถกันแรงดึงดูดทางไฟฟ้าได้ แต่ไม่สามารถกันแรงดึงดูดระหว่างแม่เหล็กและเศษเหล็กได้ เขาสันนิษฐานว่าสิ่งกีดขวางดังกล่าวกันเนื้อสารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าไม่ให้เข้าไปถึงวัตถุอื่น ในขณะที่ไม่ทำให้ลักษณะของสารที่ไม่มีสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด

ตอนนี้ย้อนกลับไปเรื่องไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่ง กิลเบิร์ตได้บรรยายถึงการทดลองจำนวนมากที่สนับสนุนทฤษฎีของเขา เขาสรุปว่าในการดึงดูดทางไฟฟ้านั้น สารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าดูดสารอื่นเข้ามาได้โดยไอที่ถูกปล่อยออกมาจากสารนั้น

เนื่องจากไม่มีการกระทำใดๆ ที่สามารถเกิดขึ้นได้จากเนื้อสารนอกจากการสัมผัส (และแม้กระทั่งนั้นก็ตาม) เท่าที่เคยเห็นนั้น สารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าเหล่านี้ไม่ได้แตะสารที่มันดูด บางสิ่งบางอย่างที่จำเป็นถูกส่งจากสารที่ดูดและสารที่ถูกดูด นั่นคืออะไรบางอย่างที่ได้สัมผัสอย่างใกล้ชิด และเป็นจุดเริ่มต้นของการดึงดูด ไอของสารที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าแพร่กระจายออกไปทุกทิศทาง และถ้าเป็นแท่งสารก็สามารถจะดึงเศษฟาง แกลบ และกิ่งไม้ขึ้นมาได้ จนกระทั่งแรงนั้นถูกใช้ไปจนหมด



ความคิดที่ว่า ถ้าวัตถุหนึ่งส่งแรงไปยังอีกวัตถุหนึ่ง จะต้องมีการสัมผัสกันระหว่างเนื้อสารของทั้งสองนั้น ยังคงเป็นที่เชื่อกันทั่วไปในยุคของกิลเบิร์ต ความคิดที่ว่าไม่จำเป็นจะต้องสัมผัสกันก็โอ “การกระทำต่อกันในระยะห่าง” อาจเกิดขึ้นได้นั้น ไม่เป็นที่ยอมรับกันโดยสิ้นเชิงในหมู่นักฟิสิกส์ส่วนใหญ่ในช่วงต้นๆของศตวรรษที่ 17 เขาเหล่านั้นอาจจะถือว่าเป็นการกลับไปสู่เรื่องลึกลับและเวทมนตร์ที่พยายามจะหลีกเลี่ยง

การทดลองต่อไปของกิลเบิร์ตช่วยเพิ่มเติมหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่า ไอที่คิดว่าถูกปล่อยออกมาจากสารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าที่ถูกกระตุ้นนั้นกระทำโดยตรงกับวัตถุที่ถูกดึงดูดมากกว่าจะกระทำโดยอ้อมด้วยการทำให้กระแสอากาศรอบๆเคลื่อนที่แล้วดึงเอาวัตถุที่ถูกดูดเข้าไป ซึ่งสมมติฐานที่ว่า วัตถุจะถูกดูดด้วยอากาศรอบๆได้นั้นก็เป็นที่น่าสนใจได้ เมื่อเรารู้ว่าความรู้เกี่ยวกับการเคลื่อนที่และสาเหตุของการเคลื่อนที่ดังกล่าวนี้ได้มาจากผู้ที่ยึดถือทฤษฎีฟิสิกส์แบบของอริสโตเติล ซึ่งเชื่อกันว่าอากาศจะผลักวัตถุให้เคลื่อนที่เข้าไปหาสารที่ปล่อยไอออกมา นั่น

กิลเบิร์ตเลิกล้มความคิดที่ว่าอากาศเป็นตัวกลางที่ผลักวัตถุให้เคลื่อนเข้าหาสารที่ถูกกระตุ้นให้แสดงสมบัติทางไฟฟ้า แต่เขายังไม่เลิกล้มความพยายามที่จะศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับปัญหาความเชื่อที่ว่าสารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าจะผลักวัตถุออกไปได้ก็ต่อเมื่อสัมผัสกับวัตถุนั้น ซึ่งเราจะเห็นได้ว่าเขาได้ตั้งสมมติฐานว่า สารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าจะส่งไอออกไปสัมผัสวัตถุที่มีมันผลัก

การทดลองที่กิลเบิร์ตทำทั้งที่สำเร็จและล้มเหลวนั้น แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์ การทดลองที่ละเอียดถี่ถ้วนอย่างดีเยี่ยมเหล่านั้นมักจะทำตามสมมติฐานที่มีผู้ตั้งไว้ก่อน มากกว่าที่จะตั้งสมมติฐานขึ้นใหม่ เพราะสมมติฐานเกี่ยวกับแม่เหล็กของเขานำไปสู่การทดลองเพื่อตรวจสอบว่าปรากฏการณ์แม่เหล็กกับไฟฟ้าเป็นปรากฏการณ์เดียวกันหรือไม่ ด้วยการทดลองเหล่านี้เขาพยายามค้นหาและพบกฎเกณฑ์ใหม่ว่า แรงดึงดูดจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะทางระหว่างสารและวัตถุลดลง ซึ่งเขารู้มาแล้วว่ากฎดังกล่าวสามารถใช้ได้กับแม่เหล็ก การที่กฎนี้ใช้กับไฟฟ้าได้ด้วยนั้น ก็สามารถอธิบายได้โดยการตั้งสมมติฐานว่าไอที่ออกมาจากสารที่มีสมบัติทางไฟฟ้านั้น เมื่อห่างสารในระยะที่ไกลออกไปก็จะมี ความเข้มข้นน้อยลง วัตถุที่ถูกดูดที่อยู่ไกลจึงถูกดูดน้อย

เพียงเวลาไม่กี่ปีหลังจากนั้นก็ได้มีการค้นพบว่า ภายใต้สภาวะหนึ่งวัตถุที่มีสมบัติทางไฟฟ้าที่จะผลักวัตถุอื่น ๆ แทนที่จะดึงดูดเข้าหา กิลเบิร์ตประสบความล้มเหลวในการค้นพบความจริงเกี่ยวกับเรื่องแรงผลักดันนี้ ถึงแม้ว่าเขาจะสังเกตพบปรากฏการณ์นี้หลายครั้ง ที่จริงเขาสังเกตพบว่าเมื่อวัตถุถูกดูดเข้ามาจนสัมผัสกับสารทางไฟฟ้าที่ดูดจะหมดไปวัตถุจะหลุดออกจากสาร แต่เขาเชื่อว่าทั้งนี้เป็นเพราะแรงของไอจากสารทางไฟฟ้าที่ดูดถูกใช้ไปหมดจนไม่มีเหลือ และเขาไม่ได้พยายามที่จะค้นคว้าต่อไปว่าสมบัติทางไฟฟ้าของ



สารหรือวัตถุที่เกิดจากการกระตุ้นนั้นสามารถจะถ่ายเทจากวัตถุหนึ่งไปสู่อีกวัตถุหนึ่งได้หรือไม่ หรือสามารถจะถ่ายเทจากส่วนหนึ่งไปสู่อีกส่วนหนึ่งของวัตถุอันเดียวกันนั้นได้หรือไม่ การทดลองเหล่านี้อยู่ในกำมือของเขาโดยไม่ต้องการอุปกรณ์อะไรมากไปกว่าที่เขาถืออยู่ แต่สมมติฐานของเขาไม่เคยเสนอเกี่ยวกับแรงผลักดันที่จะเกิดขึ้นในบางสภาพการณ์เลย เขาไม่เคยคิดจะทำให้เกิดปรากฏการณ์นั้นขึ้นเพื่อศึกษา หรือไม่เคยคิดที่จะสังเกตอย่างสงสัยเมื่อมันเกิดขึ้นเลย สำหรับการนำไฟฟ้านั้นเป็นการถ่ายเทคุณสมบัติของการกระตุ้นจากวัตถุหนึ่งไปสู่อีกวัตถุหนึ่ง ซึ่งปรากฏการณ์นี้ถูกตัดไป โดยการที่เขาสรุปว่า เมื่อวัตถุทางไฟฟ้าถูกวัตถุอื่นมาสัมผัสกัน วัตถุอื่นนั้นจะกอดมิให้วัตถุทางไฟฟ้าปล่อยไอออกมาได้ตั้งแต่แรกเริ่ม อำนาจจึงติดจืดไป

ดังนั้นเราจะเห็นได้ว่า สมมติฐานไม่เพียงแต่จะเป็นตัวชี้้นำในการออกแบบการทดลองเท่านั้น แต่ยังเป็นตัวจำกัดความคิดที่กว้างไกลกว่านั้น ทำให้เกิดความล้มเหลวในการออกแบบการทดลองที่สำคัญ หรืออาจจะเป็นตัวชักจูงหรือหันเหความสนใจของนักวิทยาศาสตร์ให้พลาดจากการค้นพบที่สำคัญได้ อย่างไรก็ตาม สมมติฐานที่จำกัดเช่นนั้นอาจจะให้ประโยชน์อย่างมหาศาลต่อการทดลองในอีกทางหนึ่ง คือให้พื้นฐานที่สำคัญในการตั้งสมมติฐานที่กว้างขึ้น ซึ่งจะพัฒนาเป็นแนวความคิดหลักที่เป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้ สมมติฐานของกิลเบิร์ตทำหน้าที่ที่สำคัญดังกล่าวได้อย่างน่าพอใจ

มักจะมีคำถามเกิดขึ้นเสมอว่า เพราะเหตุใดความเจริญก้าวหน้าของวิทยาศาสตร์ดังกล่าวจึงเกิดเฉพาะในช่วงเวลานั้นๆ ในเชิงบทบาทที่ยิ่งใหญ่ของความคิดในการค้นคว้าหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์นั้น คำถามอาจจะต้องมีความหมายที่สร้างสรรค์ยิ่งขึ้นว่า ทำไมอัจฉริยะของมนุษย์จึงได้ทุ่มเทไปใช้ในการศึกษาค้นคว้าในช่วงเวลาหนึ่งมากกว่าในช่วงอื่นๆ เริ่มตั้งแต่ศตวรรษที่ 16 หรือก่อนหน้านั้นเป็นต้นมา ทำไมจึงได้มีการใช้ความพยายามอย่างอัจฉริยะนั้นมาสร้างสรรค์ให้เกิดความรู้ทางวิทยาศาสตร์กายภาพได้อย่างมหัศจรรย์ เกิดการเปลี่ยนแปลงชนิดที่เรียกว่าเป็นการปฏิวัติแนวความคิดทางวิทยาศาสตร์ทีเดียว

ไม่มีอะไรที่จะช่วยให้สามารถตอบคำถามเช่นนี้ได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ แม้แต่นักวิทยาศาสตร์คนเดียวเช่นกิลเบิร์ต เราก็ไม่แน่ใจในเหตุผลที่ว่าทำไมเขาจึงได้เสียสละอุทิศตนให้กับการปฏิวัติแนวความคิดทางวิทยาศาสตร์ได้มากมายเช่นนั้น อย่างไรก็ตามเราก็อาจจะสามารถมองเห็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องมีอิทธิพลต่อเขาอย่างแน่นอน

เป็นเวลาเพียง 1 ศตวรรษ นับตั้งแต่การเดินทางของโคลัมบัส การขยายตัวของยุโรปก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วมาก และปัญหาของการเดินเรือและเครื่องมือในการเดินเรือก็ทวีความสำคัญยิ่งขึ้นทุกที ดังนั้นจึงไม่เป็นที่ประหลาดใจเลยว่าการทุ่มเทการศึกษาค้นคว้าไปที่เข็มทิศแรงแม่เหล็ก ควรจะเกิดขึ้นได้ในขณะนั้น ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานดังกล่าว และกิลเบิร์ตก็มีความสามารถที่จะทำงานเช่นนั้น ไม่ใช่



เป็นเพราะว่าเรามีเวลาว่างและมีทุนทรัพย์ส่วนตัวที่จำเป็นต่อการอุทิศให้กับงานทางวิทยาศาสตร์ดังกล่าว แม้แต่น้อย ดังจะเห็นได้จากการที่เขาเน้นเกี่ยวกับการทดลองไว้ในรายงานของเขา แสดงให้เห็นถึงความรู้ที่ยังไม่เจริญทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับวิธีการเดินเรือ การถลุงเหล็ก งานช่าง และงานฝีมืออื่นๆ ในยุคของเขา ซึ่งจากความรู้ดังกล่าว เขาเองก็ได้เรียนรู้เทคนิคหลายอย่างที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้าของเขาได้มาก ไม่เพียงแต่เพื่อจะยกย่องความรู้เหล่านั้นแต่เพื่อจะได้มีการค้นคว้าทดลองในหมู่คนเหล่านั้น ซึ่งเป็นเรื่องที่ต้องการการสนับสนุนและให้กำลังใจอย่างมาก เพราะในยุคนั้นการทำงานของคนงานด้านงานช่างทั้งหลายจะไม่ได้รับการยอมรับนับถือในหมู่นักวิชาการ นักวิชาการก็จะเชี่ยวชาญในเชิงตรรกะ และคุ้นเคยกับการศึกษาค้นคว้าทางด้านทฤษฎีและปัญหาเกี่ยวกับธรรมชาติทั่วไป มากกว่าที่จะสนใจการค้นคว้าทดลองของคนงาน ส่วนคนงานก็มุ่งแต่จะหาทางปฏิบัติให้ได้ผล และแก้ปัญหาที่ตรงกับความต้องการในการนำไปปฏิบัติในชีวิตประจำวันได้อย่างทันทีทันใด และไม่สนใจที่จะติดตามรายงานจากความอัจฉริยะของนักวิชาการแต่อย่างใด กิลเบิร์ตและนักวิทยาศาสตร์บางคนในยุคนั้นได้เริ่มต้นเชื่อมโยงว่างระหว่างนักวิชาการและนักปฏิบัติ นำข้อมูลจากการปฏิบัติจริงซึ่งเปรียบเสมือนการทดลองนั้นมาสร้างสมมติฐานพิสูจน์ทดลองจนสรุปได้เป็นทฤษฎีที่อธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ได้อย่างครอบคลุม ซึ่งเป็นที่รู้จักทั่วไปในลักษณะของ “ปรัชญาเชิงการทดลองแนวใหม่”

กิลเบิร์ตตายในปี ค.ศ. 1603 อีก 5 ปีต่อมาฟรานซิส เบคอน (Francis Bacon) ก็ได้พิมพ์เผยแพร่ผลงานเรื่องแรกในบรรดาหลายๆ เรื่องของเขาเกี่ยวกับวิธีการที่แนะนำให้ใช้ในการศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์ เขาสนับสนุนให้มีการสังเกตและการทดลองที่เที่ยงตรงไม่ลำเอียง ซึ่งจะทำได้ข้อมูลที่เชื่อมั่นได้ แต่เขาเน้นมากเกินไปใน “การรวบรวมข้อเท็จจริงที่ต้องใช้ความมานะพยายามมาก” ร่วมกับการใช้ข้อมูลที่สังเกตได้จากการทดลองด้วยประสาทสัมผัสอย่างแท้จริงเท่านั้นในการสร้างกฎและทฤษฎีว่าเป็นวิธีการที่ถูกต้องเพียงวิธีการเดียวเท่านั้นในการการศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์ เพราะดังที่เราจะรู้กันในปัจจุบันว่าการเน้นที่เป็นประโยชน์กว่าก็คือการตั้งสมมติฐาน แล้วใช้การทดลองพิสูจน์สมมติฐานที่สำคัญต่อเนื่องไปเรื่อยๆ เบคอนศึกษารายงานของกิลเบิร์ตอย่างหนักแต่อ้างถึงน้อยมาก เขาวิจารณ์กิลเบิร์ตซ้ำๆ ซึ่งบางทีก็ด้วยการให้เหตุผลเพิ่มเติม เช่นที่กล่าวว่าความถูกต้องของข้อมูลใน On the magnet ขึ้นอยู่กับความพร้อมในการทดลองของกิลเบิร์ต แม้กระนั้นวิธีการศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์ที่เสนอโดยเบคอนนั้นก็คล้ายคลึงกับของกิลเบิร์ตมาก โดยที่กิลเบิร์ตไม่ได้เขียนออกมาแต่ได้ปฏิบัติจริงอยู่เป็นเวลานานมากมาก่อนแล้ว

เบคอนเปรียบเทียบให้เห็นภาพว่า การทดลองของคนงานนั้นเปรียบได้กับการทำงานของมด ซึ่ง “เพียงแค่รวบรวมแล้วก็ ‘ใช้ ’ เท่านั้น ส่วน ‘นักทฤษฎี’ สมัยก่อนเปรียบได้กับแมงมุมซึ่ง ‘ชักใยจากสาร



ภายในตัวเอง” และนักวิทยาศาสตร์ที่แท้จริงเปรียบได้กับผึ้งซึ่ง “เก็บน้ำหวานจากดอกไม้ในสวนและท้องทุ่ง แล้วนำมาเปลี่ยนแปลงและย่อยด้วยพลังในตัวเอง” ซึ่งโดยแท้จริงแล้ววิธีการที่กล่าวถึงวิเศษสุดท้ายนี้ก็คือวิธีที่ กิลเบิร์ตได้ใช้และประสบความสำเร็จอย่างยิ่ง ซึ่งช่วยให้เขาเป็นนักวิทยาศาสตร์ที่ได้รับเกียรติสูงสุดในอังกฤษ ในรัชสมัยของสมเด็จพระราชินีอลิซาเบธที่ 1



รูปที่ 5 ฟรานซิส เบคอน

2. ศตวรรษที่ 17

เพียง 2 ปีหลังจากการพิมพ์เผยแพร่ผลงานของกิลเบิร์ตในเรื่อง On the magnet ในอังกฤษ ผลงานนี้ก็เข้าไปถึงอิตาลีในปี ค.ศ. 1602 ในช่วงนี้อิตาลียังคงเป็นหนึ่งในบรรดาประเทศที่มีกิจกรรมทาง ปัญญาและศิลปะที่ยิ่งใหญ่ทั้งหลาย มหาวิทยาลัยสำคัญในอิตาลีเต็มไปด้วยนักศึกษา และสังคมผู้คงแก่เรียน ก็เกิดขึ้นทั่วทั้งประเทศ ที่นี้มีผู้ที่มีความรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์ของแม่เหล็กเพียงพอที่จะสนใจผลงานของ กิลเบิร์ตและได้รับการบอกเล่ากันมาอย่างกว้างขวางพอที่จะมองเห็นความสำคัญของผลงานนี้ ในบรรดาบุคคล



เหล่านั้น ก็ได้แก่ นิกโคโล คาเบโอ (Niccolo Cabeo) นักวิชาการทางด้านศาสนาที่มีความสามารถสูงมากในการเขียนรายงานอย่างเป็นระบบของเขารายงานแรกเกี่ยวกับแม่เหล็กในปี ค.ศ. 1629 นั้น คาเบโอได้บันทึกการค้นพบทางด้านไฟฟ้าซึ่งพบใหม่เป็นครั้งแรกหลังจากการค้นคว้าของกิลเบิร์ตเอาไว้ด้วย

ในผลงานของกิลเบิร์ตนั้น ได้ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับการหมุนของโลกไว้ ตรงกันข้าม คาเบโอกลับมีความเชื่อแบบเก่าว่าโลกไม่เคลื่อนที่ ดังนั้น ในขณะที่เขายอมรับความถูกต้องเที่ยงตรงของผลงานส่วนใหญ่ของกิลเบิร์ต คาเบโอก็ศึกษาค้นคว้าอย่างหนักเกี่ยวกับสิ่งที่ผิดพลาดและขาดตกบกพร่องไปของผลงานดังกล่าวด้วย หลังจากที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับสารที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าจากที่กิลเบิร์ตรวบรวมไว้ เขาก็ได้เพิ่มเติมสิ่งที่เขาค้นพบใหม่ไว้ด้วย เขาสรุปว่าสมมติฐานของกิลเบิร์ตเกี่ยวกับสาเหตุที่ทำให้สารมีคุณสมบัติทางไฟฟ้านั้นไม่ถูกต้อง เขากล่าวว่า “มีสิ่งต่างๆตั้งหลายชนิดที่ซึ่งแต่ก็ยังมีของเหลวเป็นองค์ประกอบอยู่แต่ไม่มีพลังในการดึงดูด และมีหลายสิ่งที่มีพลังในการดึงดูดแต่ไม่มีของเหลวเป็นองค์ประกอบ”

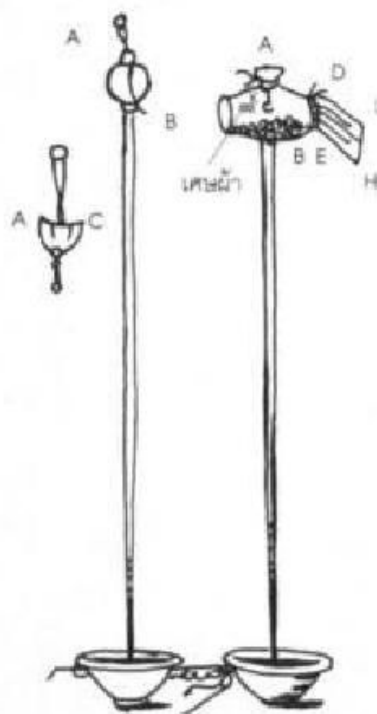
ยังมีสิ่งที่สำคัญยิ่งกว่านั้นคือ คาเบโอสังเกตว่าวัตถุที่ถูกดูดและติดอยู่กับสารที่มีพลังในการดูดนั้นจะไม่หลุดออกจากสารดังกล่าวเพราะน้ำหนัก แต่จะสะท้อนออกไปในระยะห่างหลายนิ้ว กล่าวโดยสรุปก็คือ หลังจากทั่ววัตถุที่ถูกดูดนั้นสัมผัสกับสารที่ถูกทำให้แสดงสมบัติทางไฟฟ้าแล้ว มันมักจะผละหนือออกไปเหมือนกับว่าถูกผลักออกไป นี่คือนิยามที่กิลเบิร์ตไม่ได้สังเกต ยิ่งกว่านั้นมันเหมือนกับว่าไม่สามารถที่จะอธิบายได้ด้วยแนวคิดของเขาที่ว่า โขของสารที่มีพลังในการดูด “แสดงเหมือนกับว่ามันเป็นตัวแม่เหล็ก” ดึงวัตถุที่เบาๆ เข้าไปหาและยึดวัตถุไว้ “จนกว่าแรงดึงดูดของมันจะถูกใช้จนหมดไป”

ดังนั้นสมมติฐานที่ก้าวหน้าของคาเบโอที่แตกต่างไปจากของกิลเบิร์ตนั้นจึงคล้ายกับแนวคิดที่เสนอไว้โดยฟลูตารัสตั้งแต่สมัยก่อนว่า สารที่มีพลังไฟฟ้าเมื่อถูกทำให้ร้อนโดยการถู จะปล่อยไอที่ไปไล่อากาศรอบๆสารนั้นออกไป อากาศที่ถูกไล่ออกไปนั้นก็จะไปไล่อากาศที่ยังไม่ถูกรบกวนถัดออกไปนั้นต่อ ทำให้เกิดการหมุนรอบๆและเข้าสู่สารที่มีพลังไฟฟ้านั้น วัตถุที่เบาก็จะเข้าไปอยู่ในอากาศที่หมุนนี้ และถูกดึงเข้าไปหาสารที่มีพลังไฟฟ้า บางทีก็จะเกิดการสะท้อนรุนแรง ดังนั้นสำหรับคาเบโอ สิ่งที่เกิดขึ้นได้นั้นไม่ใช่เพราะสารที่มีพลังไฟฟ้าส่งแรงผลักร้อนออกมา แต่เป็นการสะท้อนกลับเชิงกลของวัตถุเบา เมื่อกระทบกับสารที่มีพลังไฟฟ้ามากกว่า

ได้มีการตั้งข้อสรุปอย่างชัดเจนจากสมมติฐานของคาเบโอว่า ถ้าไม่มีอากาศอยู่รอบสารที่มีพลังไฟฟ้า มันก็จะไม่สามารถดูดวัตถุได้เมื่อถูกถู ต่อมาในไม่ช้าได้มีผู้เห็นความเป็นไปได้ในการทดสอบสมมติฐานนี้ คือสมาชิกของสมาคมวิทยาศาสตร์ฟลอเรนตินแห่งอิตาลี (Academia del Cimento) และได้พยายามทดลองที่จะพิสูจน์ว่า “อำนาจหรือสารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าอื่นๆต้องการตัวกลางของอากาศในการทำให้เกิดแรงดึงดูดหรือไม่” (ปี ค.ศ. 1667)



ด้วยวัตถุประสงค์ดังกล่าว สมาชิกของสมาคมวิทยาศาสตร์ได้ใช้บาร์มิเตอร์ ซึ่งเพิ่งจะได้รับ การประดิษฐ์ขึ้นในการวัดความดันของอากาศ เขาเหล่านั้นได้ทดลองวางวัดดูไว้ในที่ว่างระหว่างปลายบนสุด ของปรอทและปลายปิดบนสุดของหลอดแก้ว สำหรับบาร์มิเตอร์ที่ดีแล้ว ที่ว่างดังกล่าวจะไม่มีอากาศ เพื่อให้ได้เนื้อที่ว่างสำหรับการทดลองมากขึ้นภาชนะแก้วถูกเชื่อมต่อกับปลายบนสุดของหลอดแก้วบาร์มิเตอร์ ซึ่งในการใช้เครื่องมือทางไฟฟ้าที่กำลังกล่าวถึงนี้ ใช้วิธีเปิดด้านข้างของหลอดแก้วโดยพยายามที่จะทำให้ ไม่ว่ามือของผู้ทดลองหรือแท่งไม้สามารถเคลื่อนที่รอบๆ ด้านในของภาชนะแก้วโดยไม่ให้อากาศเข้าไปในนั้น ได้ (รูปที่ 6) ใส่ชิ้นอำพันและเศษฟางเล็กๆ ลงไปในภาชนะแก้วที่สูบล้ออากาศออกจนหมด ทดลองซ้ำแล้ว ซ้ำอีกเพื่อจะดูว่าเมื่อแท่งอำพันถูกถูจะสามารถดูดเศษฟางได้หรือไม่ แต่ท้ายที่สุดเขาเหล่านั้นก็ต้อง ยอมรับว่าผลที่ได้นั้นไม่สามารถสรุปได้แน่นอน การจัดการทำให้เครื่องมือใช้ได้ตามวัตถุประสงค์นั้นยาก ลำบากมาก เนื่องจากไม่รู้ว่าจะทำอย่างไรภาชนะแก้วจึงจะไม่มีอากาศเข้าไปได้ เครื่องสูบล้ออากาศออกเพิ่ง ประดิษฐ์ขึ้นได้เมื่อไม่นานมานี้ที่เยอรมันโดยออกโต ฟอน เกอริค (Otto von Guericke) แต่เราจะได้ เห็นว่าการใช้เครื่องมือนี้ในการแก้ปัญหาข้างต้นนั้นเกิดขึ้นที่ประเทศอังกฤษ



รูปที่ 6 เครื่องมือ 2 แบบของสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งฟลอเรน-
ตินที่ใช้ในการทดลองเพื่อพิสูจน์ว่า อำพันที่มีสมบัติ
ทางไฟฟ้าต้องการตัวกลางของอากาศในการทำให้
เกิดแรงดึงดูดหรือไม่

(รูปขาว) ใช้มือจับแท่งอำพันสอดเข้าไปในภาชนะแก้วสูบล้ออากาศ
โดยผ่านทางถุงลม ซึ่งปลายด้านหนึ่งผูกติดกับปาก
ภาชนะแก้ว และปลายอีกด้านหนึ่งผูกติดกับแขน
ส่วนที่ติดกับข้อมือ ที่บริเวณ IH K เป็นเศษผ้า
สำหรับดูดแท่งอำพันในภาชนะแก้ว

(รูปซ้าย) แทนที่มือด้วยแท่งไม้กลม โดยมีเศษอำพันเล็กๆ ผูก
ติดอยู่ที่ปลายล่าง แท่งไม้กลมยึดติดกับแก้วโดยผ่าน
ถุงลม แต่สามารถที่จะหมุนได้รอบเพื่อที่จะดูดแท่ง
อำพันเข้ากับเศษผ้าที่ยึดติดอยู่ที่ผิวด้านในของแก้ว

ในเครื่องมือทั้งสองแบบถุงลมไม่สามารถจะยึดติดกับ
ภาชนะแก้วได้แน่นพอที่จะป้องกันไม่ให้อากาศเข้าไป
ในภาชนะแก้วได้ (จาก *Saggi di naturali
esperienze fatte nell'Accademia del Cimento...*
ฟลอเรนซ์ (1666))



ในการทดลองทางไฟฟ้าครั้งที่ 2 นั้นทำกันในที่โล่ง ซึ่งครั้งนี้สมาชิกของสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งอิตาลีทำได้สำเร็จ แท่งอำพันซึ่งถูกแขวนไว้ด้วยด้ายในลักษณะของเพนดูลัมนั้นถูกดู และเมื่อวางวัตถุเล็กๆ ไว้ใกล้ๆ แท่งอำพันที่วัตถุเล็กๆนั้นจะต้องเคลื่อนเข้าหาแท่งอำพัน แต่มีบางสิ่งบางอย่างที่ได้พบมากกว่านั้นคือแท่งอำพันเองก็แกว่งเข้าหาวัตถุด้วย นับว่าเป็นรายงานครั้งแรกที่ว่า การดึงดูดทางไฟฟ้านั้นเป็นแบบ ร่วมกัน ซึ่งตรงกันข้ามกับความเชื่อของกิลเบิร์ต

เพราะการทดลองทางไฟฟ้านี้ง่ายมาก เราอาจจะตั้งคำถามกับตัวเองว่าทำไมจึงไม่มีใครคิดจะทดลองเช่นนี้ก่อนหน้านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งตั้งแต่ที่รู้ว่าแม่เหล็กและเศษเหล็กเกิดการดึงดูดร่วมกัน อย่างไรก็ตาม การแขวนแท่งอำพันแบบเพนดูลัมเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ได้ง่าย ซึ่งเป็นสิ่งหนึ่งในบรรดาสิ่งต่างๆ ที่ช่วยให้เกิดผลตามที่ต้องการได้นั้นถูกออกแบบขึ้นก็ต่อเมื่อมีผู้ที่คิดถึงวิธีดังกล่าวมาก่อนแล้ว การใช้หลักการของเพนดูลัมเป็นเครื่องมือในการจับเวลาและศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุได้ถูกคิดขึ้นมาก่อนแล้ว โดยกาลิเลโอ (Galileo) นักฟิสิกส์ชาวอิตาลีเลื่องลือยิ่งใหญ่มาก แต่ในตอนนี้สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งอิตาลีกลับนำอุปกรณ์นี้มาใช้ในการทดลองเรื่องอื่นคือในทางไฟฟ้าไม่ใช่ในการทดลองทางกล การที่สามารถคาดคะเนว่าเครื่องมือหรือวิธีการที่ถูกใช้ในวัตถุประสงค์หนึ่งอาจใช้ได้กับอีกวัตถุประสงค์หนึ่งโดยที่อาจจะต้องดัดแปลงไปสำหรับสภาพการณ์ที่ต่างกันมากนั้น โดยปกติแล้วจะเกิดขึ้นได้ก็โดยนักวิทยาศาสตร์ที่มีประสบการณ์ในการทดลองในเรื่องเหล่านั้นมาก่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องเป็นผู้ที่มีจินตนาการสูง

สมาชิกของสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งอิตาลีพยายามที่จะศึกษาเกี่ยวกับการหาสารที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าคือมีความสามารถในการดึงดูดเพิ่มเติมอีก สมาชิกของสมาคมซึ่งค้นคว้าทดลองในเรื่องนี้พบว่าอำพันมีความสามารถดังกล่าวสูงที่สุด ซึ่งหมายความว่าอำพันสามารถดึงดูดได้มากกว่าถ่านที่อัดเป็นแท่ง (โดยถือว่าสภาพอื่นๆเหมือนกัน) แต่ก็ไม่ได้ระบุว่าดึงดูดได้มากกว่าเท่าใด โดยสรุปก็คือการสังเกตเหล่านั้น เป็นเชิงปริมาณ สำหรับเขาเหล่านั้นแล้ว การทำให้ผลการทดลองออกมาเป็นเชิงปริมาณอย่างแท้จริงนั้นเป็นเรื่องที่ยากเกินไป เพราะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติอื่นอีกมากมายที่ควบคุมได้ยาก และหันไปสนใจที่จะค้นพบวิธีการที่ดีกว่าเดิมในการวัดแรงดึงดูดที่น้อยมากๆเช่นนั้น ที่จริงแล้วเราจะเห็นว่าจะต้องใช้เวลากว่าร้อยปีก่อนที่ผู้ใดจะสามารถทำการทดลองเชิงปริมาณได้ถูกต้องสมบูรณ์ในด้านของวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับไฟฟ้าได้

สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งอิตาลีได้รับเกียรติยศมากจากผลงานของบรรดาลูกศิษย์ของกาลิเลโอในปี ค.ศ. 1657 ที่มีการร่วมมือกันศึกษาค้นคว้าจนนับได้ว่าเป็นการก่อตั้งสถาบันวิจัยในปัจจุบัน แม้ว่าจะอยู่ได้นานเพียงแค่ 10 ปีก็ตาม



ไฟฟ้าในช่วงศตวรรษที่ 17 ในประเทศอังกฤษ ในประเทศของกิลเบิร์ตเองในขณะนั้นเราพบว่า On the magnet ได้รับการกล่าวถึงน้อยมาก และไม่มีการพัฒนาที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับไฟฟ้าในช่วงศตวรรษที่ 17 แต่อย่างใด ในระหว่างนั้นคำว่า “ไฟฟ้า” ได้ถูกนำมาใช้ในภาษาอังกฤษโดยมีความหมายว่า “พลังในการดึงดูดเศษผงหรือวัตถุที่เบาๆ” และในปี 1675 โรเบิร์ต บอยล์ ได้พิมพ์เผยแพร่รายงานสั้นๆเกี่ยวกับไฟฟ้า ซึ่งอาจจะเป็นรายงานที่ได้ถูกคิดให้กับเรื่องนี้เพียงเรื่องเดียว เขาเน้นยิ่งกว่ากิลเบิร์ต โดยยืนยันว่าไอของสารที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้านั้นจะต้องเป็นสารใดสารหนึ่ง บางทีอาจจะเป็นอนุภาคหรืออะตอม



รูปที่ 7 โรเบิร์ต บอยล์

บอยล์เป็นบุคคลแรกที่ได้ใช้เครื่องสูบอากาศ ซึ่งเขาและผู้ร่วมงานอีกหลายคนได้ปรับปรุงเครื่องมือดังกล่าวมาก จากการที่ได้รู้จากคาเบโอว่าอากาศมีส่วนเกี่ยวข้องในการดึงดูดของแท่งอำพัน บอยล์ได้ลองทดสอบดูและพบว่า การดึงดูดเกิดขึ้นในสุญญากาศได้เช่นเดียวกับในที่ที่มีอากาศ ดังนั้นโดยการใช้เครื่องมือที่ได้พัฒนาไปอย่างมาก เขาก็ประสบความสำเร็จในการทดลองเกี่ยวกับปัญหาที่สมาชิกของสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งอิตาลีพิสูจน์ไม่ได้



สมาคมวิทยาศาสตร์และวารสาร ในช่วงศตวรรษที่ 17 นั้นได้มีเรื่องใหม่และสำคัญ 2 เรื่อง ในความสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ คือการจัดตั้งสมาคมวิทยาศาสตร์อย่างเป็นทางการ และการจัดพิมพ์วารสารที่จะเผยแพร่ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ ในประเทศอังกฤษได้จัดตั้งสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งอังกฤษในพระบรมราชูปถัมภ์เพื่อการปรับปรุงความรู้ทางธรรมชาติวิทยา และในฝรั่งเศสได้จัดตั้งสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งฝรั่งเศสในพระบรมราชูปถัมภ์ในช่วงหลังของศตวรรษที่ 17 ทั้งสองสมาคมนี้ทำหน้าที่เป็นจุดรวมของกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์ และแต่ละแห่งต่างก็ได้รับการสนับสนุนจากประมุขของประเทศ

เกือบจะเป็นในช่วงเดียวกันนี้ที่วารสารฉบับแรกตามการเรียกชื่อใหม่ที่ทันสมัยได้เริ่มต้นขึ้นอย่างเป็นทางการในปี ค.ศ. 1665 สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งอังกฤษในพระบรมราชูปถัมภ์ซึ่งเพิ่งตั้งขึ้นก็ได้รับอนุญาตให้พิมพ์เผยแพร่ Philosophical Transactions เราจะได้พบการอ้างถึงวารสารที่สำคัญฉบับนี้บ่อยๆ ในหน้าต่อไป

3. การทดลองของฟรานซิส ฮอคสบี (Francis Hauksbee)

ในช่วงหลังของศตวรรษที่ 17 ได้มีการขยายงานทางวิทยาศาสตร์ออกไปมากในอังกฤษ บรรดาผลงานที่ได้จากการเพิ่มกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะผลงานของบอยล์เกี่ยวกับเครื่องสูบลูกกลิ้งนั้นได้รับความสนใจมากเกี่ยวกับผลของการมีอากาศและการไม่มีอากาศในปรากฏการณ์ทางด้านกายภาพในบทนำของรายงาน ผู้ที่ทำงานต่อจากบอยล์ คือ ฟรานซิส ฮอคสบี ที่เขียนหัวข้อเรื่องว่า *Physico mechanical experiment on various subjects (1709)* ได้ยกย่องผลงานที่ยิ่งใหญ่ของบอยล์ และเพิ่มเติมว่า ผลงานของเขาถือได้ว่าเป็น “การปรับปรุงต่อไป” ของงานที่มีชื่อเสียงทางกลศาสตร์ หรือเครื่องสูบลม และการทดลองใหม่ๆ อีกหลายการทดลองที่สร้างขึ้นเพื่อทดสอบในเรื่องนี้ ในระหว่างเรื่องเหล่านั้นสิ่งที่ได้มี “การปรับปรุงต่อไป” ก็คือการพัฒนาเครื่องสูบลูกกลิ้งแบบสองลูกสูบ ซึ่งเป็นต้นแบบของการพัฒนาเครื่องมือเช่นนี้ในอีก 150 ปีต่อมา

ประวัติส่วนตัวของฮอคสบีนั้นมีน้อยมาก รู้เพียงว่าเขาเป็นสมาชิกของสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งอังกฤษ ปีที่เขาตายอาจจะเป็นปี ค.ศ. 1713 และสิ่งที่ได้ศึกษาจากรายงานของเขาซึ่งพิมพ์เผยแพร่ตามต้นฉบับที่เขียนใน Philosophical Transactions และการพิมพ์ครั้งใหม่ที่มีบางอย่างเพิ่มเติมในหนังสือของเขาเท่านั้น เรารวบรวมข้อมูลมาได้ว่าเขาเป็นช่างที่มีการศึกษาน้อย ลายมือของเขาในรูปแบบที่พิมพ์



จากต้นฉบับจริงนั้นแสดงให้เห็นว่าเขาเกือบจะไม่รู้หนังสือเลย เมื่อเปรียบเทียบกับนักวิทยาศาสตร์คนอื่นๆ ที่เราศึกษามผลงานของเขาเหล่านั้นในที่นี้ บางคนอาจจะคิดว่าความชำนาญของเขาในการสร้างเครื่องมือ และความอัจฉริยะอย่างมีปกติของเขาในการทดลองนี้ทำให้เขาเข้าไปเป็นสมาชิกของสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งอังกฤษได้ ตามบันทึกอย่างเป็นทางการของสมาคมในปี ค.ศ. 1707 เขาได้รับการจ้างให้ทำการทดลอง และได้เงินค่าจ้าง จากการที่สมาคมฯ ได้ให้ความสะดวกสบายและการสนับสนุนแก่ฮอคลีย์ทำให้เขาได้รับการยกย่องว่าเป็น “นักวิทยาศาสตร์ที่ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพที่สุดในสมัยของเขา”

ได้มีการกล่าวถึงฮอคลีย์ว่า เขาเริ่มต้นด้วยการศึกษาปรากฏการณ์ใหม่ๆ ทางแสงก่อนแล้วจึงหันมาศึกษาทางไฟฟ้า ปรากฏการณ์ทางแสงที่เขาสนใจก็คือ “การสว่างวาบของแสงจากเครื่องวัดความดันอากาศ (บารอมิเตอร์)” ได้มีการรายงานปรากฏการณ์นี้ไว้ในปี ค.ศ. 1675 ต่อสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งฝรั่งเศสว่ามีการสว่างวาบของแสงเป็นระยะๆ ในที่ว่างเหนือปรอทในหลอดบารอมิเตอร์เมื่อหลอดถูกทำให้เคลื่อนที่ หรือสั่น รายงานนี้ได้รับความสนใจมาก และในช่วงนั้นได้มีการโต้เถียงกันมากเกี่ยวกับธรรมชาติของปรากฏการณ์ดังกล่าว อย่างไรก็ตามในสมัยของฮอคลีย์ นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่ยอมรับกันว่าแสงมาจากซิลเฟอร์ หรือ “ฟอสฟอรัส” ที่อาจจะปนมากับปรอท ปัจจุบันเรารู้กันว่าปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าเกี่ยวข้องกับสิ่งที่สังเกตได้ในแสงใต้ (aurora) และในแสง “นีออน” ด้วยความรู้ที่มีอยู่จากผลงานของฮอคลีย์และผู้ที่ทำงานต่อจากเขา เราสามารถเดาได้อย่างง่ายดายว่าแสงในบารอมิเตอร์เกิดขึ้นจากหลอดแก้วเกิดประจุไฟฟ้าขึ้นเมื่อถูกเสียดสีกับปรอทที่กระเพื่อมขึ้นลงในหลอด เราจะเห็นได้ว่าฮอคลีย์ก็ได้เดาเช่นเดียวกันนี้ แต่เป็นการเดาภายหลังจากที่เขาได้ทำการทดลองนับครั้งไม่ถ้วน

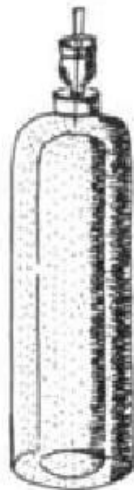
ด้วยความสนใจและความชำนาญในด้านเทคนิคเกี่ยวกับสุญญากาศ ฮอคลีย์จึงถูกชักจูงให้ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับแสงในหลอดบารอมิเตอร์ได้โดยง่าย ในปี ค.ศ. 1705 เขาได้เสนอรายงานการทดลองเกี่ยวกับสมบัติของปรอทในการที่สามารถทำให้เกิดแสงในภาชนะแก้วที่ไม่มีอากาศ จากการออกแบบการทดลองในการทดลองครั้งแรกนั้น เราอาจคาดได้ว่าเขาได้เดาถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดการสว่างวาบของแสงในหลอดบารอมิเตอร์ว่า เนื่องมาจากการเคลื่อนที่ขึ้นลงของปรอทเสียดสีกับแก้วและความกดดันอากาศที่ต่ำในหลอดแก้ว แม้ว่าสมมติฐานที่ใช้ในการทดลองของเขานี้อาจจะดูเหมือนชัดเจนสำหรับเรา แต่ที่ปรากฏก็คือไม่มีผู้ใดได้ตั้งสมมติฐานดังกล่าวออกมาอย่างชัดเจน ทั้งโดยที่รู้ตัวและไม่รู้ตัว ในช่วงระยะเวลา 30 ปีหลังจากที่ได้มีการพบปรากฏการณ์ทางแสงในหลอดบารอมิเตอร์ และไม่มีการสังเกตปรากฏการณ์ดังกล่าวในที่ใดอีกนอกจากจะเป็นต้นตอให้เกิดการตั้งสมมติฐานที่นำไปสู่การทดลอง



รูปที่ 8 การทดลองของฮอกลีเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของปรอทบนผิวแก้ว.
Philosophical Transactions, vol. 24 (1705), no. 303



รูปที่ 8.1



รูปที่ 8.2

(รูปที่ 8.1) ขวดแก้วบรรจุปรอทถูกใส่ไว้ในภาชนะแก้วขนาดใหญ่ แล้วสูบลมอากาศออกจากภาชนะ เมื่อเปิดจุกคอรั้งที่อุดปากขวดอากาศจะไหลลงมากในขวดแก้วอย่างรวดเร็วเหนือระดับปรอท ทำให้ปรอทกระเด็นไปกระทบผิวของภาชนะแก้ว เมื่อหยุดปรอทมันตัวกลับลงไปในขวดแก้วใหม่ก็จะเกิดแสงเรืองจางๆขึ้น

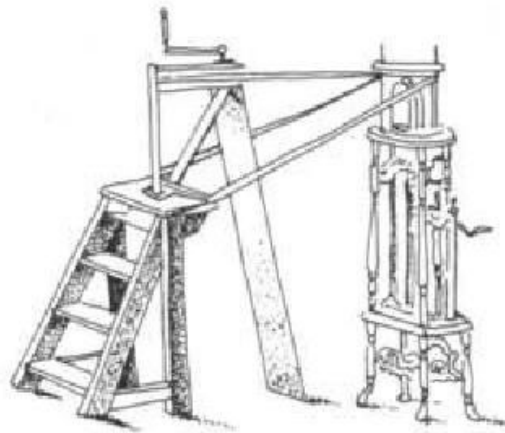
(รูปที่ 8.2) ขวดแก้วที่มีปลายบนปิดเป็นรูปมนโค้งถูกบรรจุไว้ในภาชนะที่มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งมีปลายบนเปิดได้แต่ถูกปิดด้วยจุกยางที่กรวยแก้วเสียบอยู่ ภายในกรวยแก้วมีปรอทบรรจุอยู่เต็มอากาศในภาชนะขนาดใหญ่นั้นถูกสูบออกไปโดยเครื่องสูบลมอากาศที่ต่อกับด้านล่างของภาชนะ เมื่อเปิดจุกยางที่ปิดภาชนะขนาดใหญ่ทำให้ปรอทตกจากกรวยลงบนปลายมีดมนโค้งของขวดแก้วแตกเป็นผอยของเม็ดปรอทเล็ก เม็ดปรอทเหล่านั้นจะไหลลงมาตามด้านข้างของขวดแก้วทำให้เกิดแสงเช่นที่เคยสังเกตพบในรูป 8.1 และที่สังเกตพบนอกเหนือจากนั้นก็คือ “ที่ปลายปิดที่มนโค้งของขวดแก้วจะเกิดไฟวามพุ่งขึ้นอยู่ตลอดเวลาคล้ายฟ้าแลบมีสีจางๆ”

จากการทดลองเริ่มต้นเหล่านี้ (รูปที่ 8) ฮอกลีสรุปว่าการเคลื่อนที่ของปรอทในหลอดแก้วเป็นสาเหตุที่สำคัญ การสว่างวาบของแสงเกิดขึ้นได้เมื่อหยดของปรอทเคลื่อนลงมาตามข้างหลอดแก้ว แต่จะไม่เกิดการสว่างวาบของแสงเมื่อหยุดปรอทติดอยู่ข้างหลอดแก้ว

ต่อจากนั้น เพื่อจะหาว่าความเป็นสูญญากาศในระดับใดที่จำเป็นต่อการเกิดปรากฏการณ์นี้ เขาได้เปลี่ยนปริมาตรของอากาศในหลอดแก้วไปเรื่อยๆ ไม่มีการเกิดการสว่างวาบของแสงในหลอดแก้วเมื่อหยุดปรอทเคลื่อนที่ขึ้นลงข้างหลอดแก้ว จนกระทั่งอากาศถูกดึงออกไปเหลือเพียงครึ่งเดียว ยิ่งความเป็นสูญญากาศเพิ่มขึ้นเท่าใดนับตั้งแต่จุดนั้น ความเข้มของแสงจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงสูงสุดแล้วค่อยๆลดลงจนดูเหมือนจะหมดไป สิ่งนี้ทำให้ฮอกลีสรุปว่าอากาศจะต้องมีอยู่บ้าง จึงจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวได้อย่างน้อยก็ใน 1 การทดลองที่เขาได้ติดเครื่องวัดความดันปรอทเข้าไปในเครื่องสูบลมอากาศ ซึ่งก็คือเครื่องวัดความดันอากาศแบบปลายเปิด (manometer) นั่นเอง ความดันที่ต่ำที่สุดของปรอทที่เขาได้จากเครื่องปั๊มนี้โดยประมาณคือ $1/60$ ความดันบรรยากาศ แต่แสงที่สว่างวาบเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อความดันอยู่ระหว่างประมาณ $1/2$ และ $1/20$ บรรยากาศ และเป็นความจริงที่ว่าเมื่อความดันเป็น 1 บรรยากาศ นั่นก็คือ เมื่อภาชนะแก้วไม่ถูกสูบลมอากาศออกเลย การเขย่าให้ปรอทเคลื่อนที่บนแก้วทำให้เกิดประกายเล็กน้อย แต่ปรากฏการณ์นี้ฮอกลีตั้งข้อสังเกตว่า การแผ่กระจายแสงในหลอดที่มีความดัน 1 บรรยากาศจะน้อยกว่าในหลอดแก้วที่ถูกสูบลมอากาศออกไปบางส่วน



ตอนนี้ฮอคสบีได้ขยายขอบเขตของปัญหาลงไปโดยการตั้งคำถามว่า ประอทและหลอดแก้วเป็นสารเพียง 2 อย่างเท่านั้นหรือที่สามารถทำให้เกิดแสงวาบเมื่อเกิดการขัดสีกันในที่ๆมีอากาศอยู่น้อย ตอนนี้เขาได้ใช้ “เครื่องมือที่จะทำให้วัตถุเกิดการสั่นด้วยความเร็วสูง” ในสุญญากาศ (รูปที่ 9)



รูปที่ 9 เครื่องมือแสดงการขัดสีในสุญญากาศของฮอคสบีเป็นเครื่องมือที่ใช้มือหมุนต่อเข้ากับเพลาที่ยื่นเข้าไปในภาชนะที่เป็นสุญญากาศ เพลานี้จะผ่านเข้าไปในประเก็นหรือวงแหวนที่ทำด้วยหนังสำหรับอุดข้อต่อในเครื่องจักรทางด้านบนของภาชนะ ทำให้ภายในภาชนะคงสภาพสุญญากาศอยู่ได้ในขณะที่เพลาหมุนไป วัตถุที่จะถูกขัดถูจะถูกติดอยู่กับเพลาส่วนที่อยู่ในภาชนะ สิ่งที่จะกดและถูลงไปในวัตถุดังกล่าวคือสาลิหรือชนลัศว์หรือวัสดุอื่นที่ติดอยู่กับภาชนะ เครื่องสูบลูกอากาศจะอยู่ทางขวามือได้ภาชนะแก้ว

(จาก Physico-mechanical experiments ของฮอคสบี...(ed.2, 1719))

เครื่องมือนี้ประกอบด้วยล้อไม้ มีลูกอำพันกลมๆจำนวนมากผูกติดรอบขอบของล้อและผูกติดแน่นจนเมื่อล้อหมุนลูกอำพันกลมๆนั้นจะบิดไปบนกระดานไม้ที่ติดตั้งแน่นกับที่หลายแผ่น ล้อนี้จะถูกวางไว้ในภาชนะแก้วที่สามารถสูบลูกอากาศออกได้ มีสายพานและรอกที่ใช้หมุนขอบล้อดังกล่าวด้วยมือให้เร็วขึ้นได้เรื่อยๆ จนถึงประมาณ “ $1/3$ ไมล์ต่อวินาที” เมื่อเริ่มสูบลูกอากาศออกและหมุนล้อ ฮอคสบีสังเกตเห็นแสงที่เคยเห็นในหลอดแก้วใส่ประอทที่ถูกสูบลูกอากาศออกไป

สำหรับคำถามที่ว่า ทำไมอำพันและชนลัศว์ถูกเลือกเป็นสารที่ใช้ดูกันนั้น ฮอคสบีไม่ได้กล่าวไว้ แต่ดูเหมือนจะชัดเจนว่าที่เลือกเช่นนั้นเป็นเพราะความบังเอิญ ปรากฏการณ์ของอำพันเป็นที่รู้จักกันไปแล้วในช่วงนั้น และบางทีอาจจะเป็นไปได้ว่าเขาคิดว่าสารที่น่าจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าอย่างชัดเจนเมื่อถูกถู ในการทดลองเกี่ยวกับแสงของเขานั้นน่าจะเป็นอำพัน อย่างไรก็ตามจากรายงานที่เขาเขียนไว้เขาไม่ได้เอ่ยถึง “สมบัติทางไฟฟ้า” หรือ “การดึงดูด” แต่อย่างใด



ต่อจากนั้นเขาวางลวดที่เต็มไปด้วยลูกกลมของแท่งอำพันลงในลูกกลมแก้วเล็ก ๆ เมื่อหมุนให้ลูกกลมแก้วนั้นหมุนก็ทำให้ลวดบิดไปบนแผ่นไม้ในภาชนะแก้วที่ไม่มีอากาศ แสงก็ปรากฏขึ้นใหม่ เขาฉีกแก้วด้วยเปลือกหอย ดูชนสัตว์ด้วยเปลือกหอย และอื่นๆอีก ในทุกกรณีมีแสงปรากฏขึ้นในที่ๆมีอากาศน้อย แม้ว่าจะด้วยความเข้มของแสงที่แตกต่างกัน

หลังจากการเปลี่ยนไปทำการทดลองที่ไม่เกี่ยวกับเรื่องนี้ คือ เกี่ยวกับความถ่วงจำเพาะของน้ำและการเคลื่อนที่ขึ้นของน้ำในหลอดคาพิลารีในสุญญากาศอยู่ช่วงเวลาสั้นๆช่วงหนึ่ง เขาก็หันกลับมาศึกษาปัญหาเกี่ยวกับแสงที่เกิดจากการขัดถูใหม่ ในตอนนี้เราจะได้เห็นตัวอย่างที่ดีของการใช้จินตนาการอย่างสร้างสรรค์ในการออกแบบเครื่องมือโดยการปรับปรุงจากเครื่องมือเดิมให้ง่ายในการสร้างและการใช้กว่าเดิมมาก แทนที่จะใส่ลูกแก้วกลมลงในภาชนะแก้วที่ไม่มีอากาศ เขากลับเอาอากาศออกจากลูกแก้วกลมเลยโดยปิดไม่ให้อากาศกลับเข้าไปได้ใหม่ เมื่อเอาภาชนะแก้วออกไปแล้วเขาก็สามารถจะใช้ลูกแก้วกลมที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งลูกแก้วกลมอันหนึ่งที่เขาใช้นั้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 9 นิ้ว ยิ่งกว่านั้นเขายังสามารถดูลูกแก้วกลมนั้นได้อย่างง่ายดาย โดยวางมือเปล่าไปบนลูกแก้วกลมเบาๆ เมื่อเขาทำเช่นนั้นแสงก็ปรากฏขึ้นในลูกแก้วกลมที่มีอากาศน้อยมาก โดยวางมือของเขาลงไปให้สัมผัสลูกแก้วกลมให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้เพียงใด เขาก็สามารถทำให้เกิดแสงที่สว่างในห้องที่มีมืดมากขึ้นเพียงนั้นจนในห้องที่มีมืดนั้น “คำพูดที่เขียนด้วยตัวอักษรตัวใหญ่ สามารถอ่านได้อย่างชัดเจนด้วยแสงนั้น”

ตอนนี้กลับมาที่ปัญหาเดิมเกี่ยวกับแสงในหลอดบารอมิเตอร์ ฮอคสปีตั้งคำถามที่สำคัญว่า ถ้าไม่มีการสั่นหลอดบารอมิเตอร์ แต่ดูที่ส่วนบนของหลอดบริเวณที่เป็นสุญญากาศด้วยมือ อะไรจะเกิดขึ้น เขาได้ทำการทดลองความคิดนี้ และปรากฏว่าเกิดแสงขึ้นได้ โดยที่ไม่มีการเคลื่อนที่ของปรอทปรากฏให้เห็นเลย

ในเวลา 9 เดือนต่อมาจากการทดลองนี้ ฮอคสปีได้ประสบความสำเร็จอย่างสมบูรณ์ นับตั้งแต่การเริ่มการทดลองเกี่ยวกับเรื่องนี้มาทั้งหมด เพราะเขาสามารถแสดงได้ว่าการฉีกเป็นสำหรับการเกิดแสงสารอื่นนอกจากปรอทและหลอดแก้วสามารถทำให้เกิดแสงได้ดีในที่ที่มีอากาศน้อย และท้ายที่สุดก็คือสามารถสร้างเครื่องมือที่ทำให้เกิดแสงสว่างพอที่จะให้อ่านหนังสือได้ ความสามารถในการเลือกข้อมูลหรือการสังเกตที่มีประโยชน์มากมายใช้ในการตั้งสมมติฐานและสร้างเครื่องมือสำหรับทดสอบสมมติฐานเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของนักวิทยาศาสตร์ที่ดี

การทดลองทางไฟฟ้าของฮอคสปี ความคิดที่ว่าอาจจะมีความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับแท่งอำพันและปรากฏการณ์ทางแสงในบารอมิเตอร์นั้น เกิดขึ้นกับฮอคสปีเป็นครั้งแรกในช่วงฤดูร้อนปี ค.ศ. 1706 โดยความรวดเร็วในการทำงานของเขา ในช่วงฤดูใบไม้ผลิต่อนั้นเขาก็พบว่าเขาได้ทำการทดลอง “การเกิดไฟฟ้ามากกว่าปกติในหลอดแก้ว”



ข้าพเจ้าได้นำหลอดแก้วลงที่ทำจากแก้วฟลินต์เนื้อละเอียดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 30 นิ้ว ซึ่งดูอย่างดีด้วยกระดาดจนได้รับความร้อนระดับหนึ่ง แล้วเอาไปจ่อที่เศษทองเหลือง (แผ่นทองเหลืองบางๆ) ในไม่ช้าไอจากท่อแก้วก็ไปถึงเศษทองเหลืองและเศษทองเหลืองเริ่มเคลื่อนไหวลอยเข้าหาหลอดแก้ว แม้ว่าจะอยู่ห่างหลอดแก้วถึง 9 ถึง 10 นิ้ว ดูเหมือนว่ายิ่งหลอดแก้วมีความร้อนจากการถูมากเท่าใดก็ยิ่งดึงดูดเศษทองเหลืองที่ยังอยู่ห่างได้มากเท่านั้น และอะไรคือสิ่งที่สังเกตได้มากกว่านั้น นั่นก็คือ บางทีวัตถุที่ถูกดูดก็จะติดอยู่นิ่งๆที่หลอดแก้ว บางทีก็ถูกผลักให้หลุดออกไปไกล

แม้ว่าฮอคลีย์ได้เริ่มการทดลองที่เป็นที่รู้จักกันดีแล้ว การอ้างถึง “เอฟฟลูเวียม (effluvium) หรือบางสิ่งที่พุ่งออกมาจากสารเป็นคำ” แสดงว่าเขามีความรู้มาก่อนแล้วจากการทดลองทางไฟฟ้าก่อนหน้านี้ ซึ่งบางทีอาจจะได้จากสมาชิกผู้ร่วมงานในสมาคมวิทยาศาสตร์ หรือจากบทความใน Philosophical Transactions จะสังเกตได้ว่าเขาไม่ได้มองข้ามปรากฏการณ์ของการเกิดแรงผลักทางไฟฟ้าที่ดี ซึ่งได้กล่าวไว้เป็นครั้งแรกโดยคาเบโอว่า ถูกมองข้ามโดยนักวิทยาศาสตร์หลายคนก่อนเขาไป ที่จริงแล้วข้อความที่มีได้กล่าวถึงในที่นี้มัน เขาได้กล่าวถึงตัวอย่างที่เด่นชัดอีกตัวอย่างหนึ่งของการผลักทางไฟฟ้า ในการถือหลอดแก้วที่ถูแล้วไว้เหนือเขม่าตะเกียงที่อยู่บนแผ่นกระดาด เขาสังเกตพบว่า “ไม่ใช่จะไม่น่าสนใจ” ที่อนุภาคเล็กๆของเขม่าตะเกียงลอยขึ้นและตกลงอย่างรวดเร็ว และแม้ว่าโดยปกติอนุภาคของเขม่าเหล่านั้นจะไม่มีเสียงเมื่อตกกระทบกระดาด แต่ “เมื่อมันถูกผลักให้ตกลงบนกระดานนั้น มันจะกระทบกระดาดแรงจนเกิดเสียงดังให้ได้ยินได้”

ภายหลังจากที่เปลี่ยนแปลงการสังเกตเกี่ยวกับการทดลองทางไฟฟ้าไปเรื่อยๆวันแล้ววันเล่า เขาก็กล่าวต่อไปว่า

เหตุผลในการที่มีการเปลี่ยนแปลง (สิ่งที่สังเกต) สำหรับข้าพเจ้านั้นก็คือการเปลี่ยนอุณหภูมิของอากาศ ในขณะที่ทำการทดลองซึ่งมีอนุภาคของไอน้ำ (อากาศชื้น)... ลอยอยู่มากในอากาศนั้น...มันจะกลั่นตัวอย่างทันทีทันใดบนหลอดแก้วที่ร้อน ดังนั้นจึงทำให้ไอจากหลอดแก้วปิดกั้นทางเดินของไอ เพราะข้าพเจ้าพบว่าในการทดลองครั้งนั้นความชื้นเป็นศัตรูตัวร้ายในการทำให้เกิดปรากฏการณ์ทางไฟฟ้า นอกจากนั้นคุณภาพของไอที่ออกมาจากหลอดแก้วก็ไม่ดีพอที่จะทำให้หลอดสามารถดูดเศษผ้ามีลลิตินขึ้นเล็ก ๆ ได้ แม้ว่าจะวางไว้ใกล้กันเพียงใดก็ตาม ซึ่งถ้าไม่เป็นเพราะสาเหตุนี้มันจะสามารถดูดเศษผ้ามีลลิตินได้ดีแม้จะอยู่ห่างกว่านี้ถึง 3 หรือ 4 เท่า



แต่เมื่อทำให้หลอดแก้วร้อนที่สุดโดยการถูอย่างแรงที่สุด หลอดแก้วก็จะสามารถส่งไอที่ไม่เพียงจะสามารถดูดเศษวัตถุได้แรงกว่าที่ได้กล่าวไปแล้วเท่านั้น แต่ยังสามารถรู้สึกได้เมื่อนำไปใกล้หน้าหรือส่วนที่อ่อนนุ่ม เหมือนกับถูกดูดด้วยขนจำนวนมากอย่างเบา ๆ

ดังนั้นฮอคสปีก็เช่นเดียวกับกิลเบิร์ตที่ได้พบว่าความชื้นเป็นอุปสรรคสำคัญในการทดลองทางด้านไฟฟ้า เช่นเดียวกับที่ยังพบในงานวิจัยในห้องปฏิบัติการในปัจจุบัน ปัจจัยที่สำคัญก็คือความชื้น ไม่ใช่การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เขาได้รายงานไว้ด้วยว่า ไอจะถูกส่งออกมาจากวัตถุที่กระตุ้นให้แสดงสมบัติทางไฟฟ้าซึ่งสามารถรู้สึกได้เมื่อมากระทบกับผิวหน้าของเขา ในการค้นพบเกี่ยวกับ “ลมไฟฟ้า” ดังที่เรียกกันในปัจจุบันนี้นั้นเขาได้พบสิ่งที่พิสูจน์ได้ใหม่ว่า สมบัติทางไฟฟ้าสามารถถูกกระตุ้นให้ปล่อยไอของสารออกมาได้ ปัจจุบันนี้ลมไฟฟ้าเป็นที่รู้จักกันว่า คือลำของอนุภาคอากาศที่มีประจุไฟฟ้าซึ่งถูกผลักโดยสารที่ถูกกระตุ้นให้แสดงสมบัติทางไฟฟ้า

ตอนนี้เครื่องสูบลมอากาศได้ถูกนำมาใช้อีกครั้งหนึ่ง

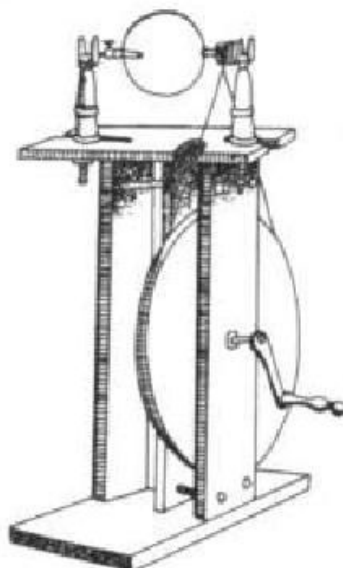
การทำให้อากาศออกไปจากหลอดแก้วโดยใช้เครื่องสูบลมอากาศนั้น ทำให้การดูดหลอดแก้วแม้ว่าจะเท่าเดิมหรือแรงกว่าเดิมก็จะเกิดไอออกมาน้อยมาก ซึ่งสังเกตได้จาก การทำให้เศษทองเหลืองเคลื่อนที่หรือลื่นน้อยมาก แม้ว่าเศษทองเหลืองจะถูกดูดเข้ามาใกล้เมื่อวางห่างเพียง $1/4$ ของระยะทางเดิมที่เคยถูกดูดได้โดยมีอากาศอยู่ในหลอดแก้วบ้างก็ตาม

บางทีส่วนน้อยของเศษทองเหลืองจะมีการเคลื่อนไหวบ้างเมื่อนำหลอดแก้วเข้าไปใกล้ ๆ แต่ก็เทียบไม่ได้กับเมื่อตอนที่หลอดแก้วยังไม่ถูกสูบลมอากาศออกจนหมด นอกจากนั้นข้าพเจ้าแน่ใจว่าถ้าให้มีอากาศเหลืออยู่ในหลอดแก้วบ้างการดึงดูดจะคงอยู่ได้นานตามปริมาณของอากาศที่เหลืออยู่

ฮอคสปีควรจะได้รับความสนใจในตอนนี้ เพราะเขากำลังทดลองกับปรากฏการณ์ที่ยุ่งยากซับซ้อนมาก เขาได้เริ่มต้นการทดลองทางไฟฟ้าและสามารถพิสูจน์สมมติฐานได้อย่างชัดเจนว่า การทำให้เกิดคุณสมบัติทางไฟฟ้าและเกิดแสงได้ด้วยการถูหลอดแก้วนั้นมีความสัมพันธ์กัน แม้กระนั้นก็ตามภายหลังจากที่ได้ผลการทดลองเป็นอย่างดีด้วยการทดลองกับหลอดแก้วของเขาแล้ว เขาได้สูบลมอากาศออกจากหลอดแก้วจนหมดเพื่อทำให้เกิดแสง และพบว่าคุณสมบัติในการดูดแสงของมันอ่อนลงมาก โดยแท้จริงแล้วหลอดแก้วที่ถูกสูบลมอากาศออกบ้างนั้นจะดึงดูดได้น้อยกว่า เพราะการเกิดแสงในหลอดแก้วได้ใช้ประจุไฟฟ้าไปหมดทำให้หลอดแก้วมีประจุน้อยเกินกว่าจะทำให้เกิดการดึงดูดได้แรง



ภายหลังจากที่ได้ใช้หลอดแก้วในการทดลองซ้ำในสิ่งที่เขาเคยทดลองเกี่ยวกับแสง ฮอคลีย์
มาใช้เครื่องหมุนเชิงกล แต่เขาได้เปลี่ยนแปลงให้เป็น “เครื่องกลที่ออกแบบใหม่” โดยเปลี่ยนแกนในการ
หมุนภาชนะแก้วจากแนวตั้งมาเป็นแนวนอน (รูปที่ 10) ด้วยการสูบลมอากาศออกจากภาชนะแก้ว และทำให้
หมุนด้วยมือก็ “สามารถทำให้เกิดแสงได้สำเร็จ”



รูปที่ 10 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไดโรไบโออิเล็กตริกของฮอคลีย์ ในการทดลองบางการทดลองของเขา ภาชนะหมุนเป็นภาชนะ
แก้วรูปทรงกระบอกแทนที่จะเป็นภาชนะแก้วกลม ดังแสดงไว้ในภาพนี้ [จาก *Physico-mechanical experi-
ments...* (ed.2, 1719)]

การทดลองขั้นต่อไปของเขานั้นมีความสำคัญมาก เขาปล่อยให้อากาศกลับเข้าไปในภาชนะแก้วใหม่
และทำการทดลองหมุนภาชนะแก้วให้เกิดสมบัติทางไฟฟ้าในการดูดและการผลักตามปกติ ตั้งแต่สมัย
โบราณจนถึงสมัยที่กล่าวนี้ (1706) วิธีการเดียวที่จะกระตุ้นให้สารที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าปล่อยกระแสไฟฟ้า
ออกมาเท่าที่เราทราบก็คือ การให้สารที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าอยู่กับที่และถูมันด้วยมือ ซึ่งเป็นการกระทำที่
ไม่สะดวก ซ้ำ และต้องใช้แรงงานมาก ฮอคลีย์ใช้มือวางลงไปในภาชนะแก้วที่หมุนก็สามารถทำให้เกิดผล
ของการดูดด้วยอัตราเร็วที่มหาศาลด้วยการออกแรงที่น้อยมาก สรุปแล้วก็คือเขาได้ประดิษฐ์เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
ที่มักจะเรียกกันว่า “เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากแรงเสียดทาน” หรือ “ไดโรไบโออิเล็กตริก” ขึ้น

ในอดีต ผู้ที่ได้รับการยกย่องมากในการประดิษฐ์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้ก็คือ ออตโต ฟอน
เกอร์ดิก (Otto von Guericke) ผู้ซึ่งเคยประดิษฐ์เครื่องสูบลมมาก่อนในปี ค.ศ. 1660 ในการประดิษฐ์
เครื่องกำเนิดไฟฟ้างดกล่าวนั้น เขาใช้ลูกบอลขนาดใหญ่ทำด้วยซัลเฟอร์วางอยู่บนแกนที่ติดอยู่กับเพลาด้วย
การวางมือของเขาลงไปในลูกบอลที่กำลังหมุน ก็สามารถจะสังเกตปรากฏการณ์มากมาย ที่เราเรียกว่าเป็น



ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม ความสนใจของเกริกอยู่ที่การพัฒนาทฤษฎีใหม่เกี่ยวกับการหมุนของโลก ดังนั้นเขาไม่ได้สร้างเครื่องมือนี้ขึ้นเพื่อเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือไม่ได้ใช้เครื่องมือนี้ในการศึกษาค้นคว้าทางด้านไฟฟ้า ยิ่งกว่านั้นดูเหมือนว่าเครื่องมือของเขา และการทดลองของเขาจะไม่ใช่ที่รู้จักกันในหมู่นักวิทยาศาสตร์ด้านไฟฟ้าในอังกฤษและฝรั่งเศสอยู่จนกระทั่ง 30 ปีหลังจากที่ฮอคลบิได้พิมพ์เผยแพร่ผลงานของเขา เนื่องจากฮอคลบิสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเขาขึ้นมาเพื่อศึกษาทางด้านไฟฟ้าและเพราะว่าเครื่องมือดังกล่าวให้ผลที่สำคัญและทันทีทันใดในเรื่องนี้ เขาจึงควรได้รับเกียรติให้เป็นนักประดิษฐ์ที่มีประสิทธิภาพ สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เขาประดิษฐ์ขึ้นนั้น

ตอนนี้ฮอคลบิได้เข้าไปอยู่ในกลุ่มนักวิทยาศาสตร์กลุ่มใหม่แล้ว ซึ่งบางคนก็เป็นนักวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียงมาก เขาติดลูกแก้วลูกที่ 2 ห่างจากลูกแรก 7 นิ้วลงบนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ให้มีการหมุนแยกกันโดยอิสระ ลูกกลมลูกที่ 2 นี้เขาสูดอากาศออก ลูกกลมที่อยู่บนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่เดิมนั้นไม่สูดอากาศออก

ในลักษณะดังกล่าว เขาทำให้เครื่องมือทำงานโดยใช้มือเปล่าวางลงบนลูกกลมที่ไม่ได้สูดอากาศออกที่กำลังหมุน ใจของลูกกลมลูกนี้ไปถึงลูกกลมที่สูดอากาศออกที่กำลังหมุนได้ภายในเวลาอันสั้น ทำให้เกิดแสงในลูกกลมลูกหลังนี้ในทันที ในเวลาใกล้เคียงกับที่เกิดในลูกแรก โดยไม่ต้องอาศัยการสัมผัสใดๆ เลย และแสงที่เกิดขึ้นนี้ก็มีความเข้มหรือสว่างมาก

หลังจากนี้ข้าพเจ้าได้ใช้หลอดแก้วยาวที่ได้สูดอากาศออก และทิ้งไว้นานกว่า 6 เดือน หลอดแก้วนี้เล็กน้อยด้วยมือของข้าพเจ้าเพื่อไล่ความชื้นที่เกาะอยู่ภายนอกหลอดออกไป ข้าพเจ้าถือหลอดแก้วนี้ไว้เหนือลูกกลมที่ไม่ได้สูดอากาศออกและกำลังหมุนและถูกกับมือของข้าพเจ้า เป็นสิ่งที่น่าประหลาดใจมากที่สุดพบว่ามีแสงวาบเกิดขึ้นมากเป็นระยะๆ ในหลอดแก้วยาว โดยที่หลอดแก้วยาวนั้นมิได้สัมผัสกับลูกกลมที่กำลังหมุนแต่อย่างใด และตัวของมันเองก็ไม่ได้หมุนหรือถูกกระตุ้นด้วยการถูในขณะที่นั้นเลย

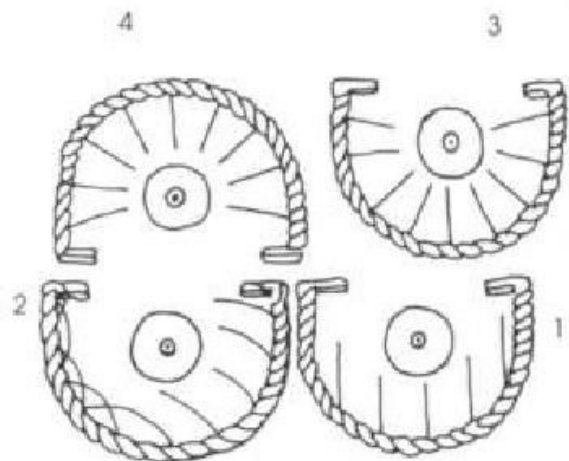
ถึงแม้ว่าในการทดลองแรกๆ เขาจะระบุว่าแสงเกิดขึ้นได้ในภาชนะแก้วที่เป็นสุญญากาศเมื่อถูกถูเท่านั้น ตอนนี้เขาได้เห็นแล้วว่ามันเกิดขึ้นได้ในลูกกลมที่ไม่ได้ถูกถูเมื่อนำไปใกล้กับลูกกลมที่กำลังอยู่ ยิ่งกว่านั้นต่อมาเขาพบว่า การหมุนของลูกกลมทั้งสองนั้นไม่จำเป็นต่อการเกิดแสง เพียงแต่นำหลอดแก้วสุญญากาศไปใกล้กับลูกกลมแก้วที่ถูกกระตุ้นจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็เกิดแสงได้ ตรงนี้ฮอคลบิเข้ามาใกล้การค้นพบหลักการที่สำคัญว่า วัตถุใดๆก็ตามจะถูกทำให้เกิดสมบัติทางไฟฟ้าได้ชั่วคราวเมื่ออยู่ใกล้ โดยไม่สัมผัสกับอีกวัตถุหนึ่งที่ได้รับการกระตุ้นให้เกิดสมบัติทางไฟฟ้า ซึ่งการกำเนิดไฟฟ้าโดยวิธีนี้ต่อมาเรียกว่าการทำให้เกิดไฟฟ้าโดยอำนาจชักจูง (influence)



แต่ถึงแม้ว่าฮอคสบีได้สังเกตการเกิดไฟฟ้าโดยอำนาจชักจูงอย่างระมัดระวังเพียงใดก็ตาม เขาก็มสามารถจะได้รับการยกย่องว่าเป็นผู้ค้นพบปรากฏการณ์นี้เนื่องจากปัญหาที่ว่า แสงเกิดขึ้นในหลอดแก้วสุญญากาศที่ไม่ได้ถูกดูได้อย่างไร แต่ว่าในที่สุดเขาก็ค้นพบคำอธิบายที่ชาญฉลาดมากกว่า หลอดแก้วนั้นถูก “ดู” ด้วยไอที่ออกมาจากวัตถุที่ถูกกระตุ้นจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกต่อหนึ่ง ดังนั้นแม้เขาจะสามารถ “รักษา” สมมติฐานก่อนหน้านี้ที่ว่า โดยการดูเท่านั้นที่วัตถุจะสามารถทำให้เกิดการดึงดูดและทำให้เกิดแสงในหลอดบารอมิเตอร์เอาไว้ได้ แต่ในขณะที่เดียวกันเขาได้พลาดการค้นพบว่าปรากฏการณ์เหล่านี้สามารถเกิดขึ้นได้โดยการ เหนี่ยวนำ อีกวิธีหนึ่ง

รูปที่ 11 มองจากด้านปลายของภาชนะแก้วรูปทรงกระบอกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของเครื่องวัดประจุหรืออิเล็กโตรสโคปเส้นด้าย ในขณะพิจารณาภาชนะแก้วรูปทรงกระบอก

- 1) ไม่เคลื่อนไหวและไม่มีอำนาจไฟฟ้า
- 2) กำลังหมุนและไม่มีอำนาจไฟฟ้า ลำอากาศรอบๆ ลากดึงเส้นด้ายไปในทิศทางเดียวกัน
- 3) และ 4) กำลังหมุนและมีอำนาจไฟฟ้า ซึ่งในขณะนี้แม้จะไม่มีลำอากาศ เส้นด้ายทุกเส้นก็จะยืดออกเป็นเส้นตรงพุ่งเข้าหาจุดศูนย์กลาง ซึ่งเป็นแกนของภาชนะแก้วรูปทรงกระบอก (จาก *Philosophical Transactions*, vol. 25 (1706, p. 2334))



ถ้าไอของสารสามารถทำหน้าที่เป็นตัวที่ดูวัตถุได้ มันจะต้องมีความเหนียวและมีพฤติกรรมเหมือนของแข็ง เขาทดสอบแนวคิดนี้โดยทำการทดลอง จากการสังเกตพบมาแล้วว่าเส้นด้ายหรือวัตถุที่เบาๆ “ถูกดูดโดยแรงเท่าๆกัน” จากทุกส่วนของวัตถุที่ถูกกระตุ้นให้มีสมบัติทางไฟฟ้า เขาเริ่มศึกษาปรากฏการณ์นี้โดยอาศัยเครื่องมือวัดประจุไฟฟ้าซึ่งเขาได้ออกแบบมาเป็นพิเศษโดยแขวนด้ายเส้นสั้นที่เหนียวซึ่งเรียกว่า “กระจุกด้าย” ให้ห้อยลงมาจากลวดครึ่งวงกลม ลวดนี้ผูกเป็นวงกับท่อแก้วที่ติดอยู่บนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเขาดังรูปที่ 12 เมื่อท่อแก้วถูกหมุนและกระตุ้นให้เกิดสมบัติทางไฟฟ้าด้วยการวางมือลงไปในท่อนั้นเส้นด้ายแต่ละเส้นจะถูกหมุนไปจนชี้เข้าหาแกนของท่อแก้ว โดยการแทนที่ท่อแก้วด้วยลูกกลมแก้ว เขาพบว่าเส้นด้ายทั้งหมดต่างก็ชี้เข้าหาลูกกลมแก้วที่ถูกกระตุ้นให้เกิดสมบัติทางไฟฟ้านั้น ในการสรุปข้อมูลจากการสังเกตของเขานั้น เขากล่าวว่า



ตอนนี้การทดลองนี้สามารถอธิบายธรรมชาติของไฟฟ้า แม่เหล็ก หรือแรงโน้มถ่วงของวัตถุได้เพียงใดนั้น ไม่อยู่ในขอบเขตที่ข้าพเจ้าจะระบุได้ ข้าพเจ้าขอเสนอข้อมูลอื่นคำด้วย เหล่านี้แต่ท่านสุภาพบุรุษทั้งหลายแห่งสมาคมวิทยาศาสตร์อันทรงเกียรติผู้ซึ่งได้ทำการศึกษาทดลองเกี่ยวกับเรื่องเหล่านี้มาแล้ว

กิลเบิร์ตสามารถแสดงไว้ใน On the magnet มากกว่า 1 ศตวรรษแล้วว่า สารในเศษเหล็กที่วางไว้ใกล้แม่เหล็กบนโต๊ะนั้นจะจัดตัวเองเป็นระเบียบในรูปแบบเฉพาะ ตอนนี้ฮอคสบีได้แสดงให้เห็นว่าเส้นด้ายที่แขวนไว้ใน “สนามไฟฟ้า” (ดังที่เราเรียกกันในปัจจุบัน) รอบๆสารที่ถูกกระตุ้นให้แสดงสมบัติทางไฟฟ้าได้ก็แสดงตำแหน่งที่เป็นระเบียบเช่นกัน ในความคิดของเขานั้นเส้นด้ายจัดตัวในแนวรัศมีของไอที่เป็น “ของแข็ง” จากสารที่ถูกทำให้แสดงสมบัติทางไฟฟ้า

สิ่งที่ฮอคสบีได้สังเกตต่อไปนั้นก็ใหม่เช่นกัน และยิ่งกว่านั้นยังยุ่งยากมากด้วย

ถั่วเหนียว (หรืออะไรก็ตาม ซึ่งข้าพเจ้าได้ทดลองหลายอย่าง) เข้าไปใกล้ปลายของเส้นด้ายในขณะที่ไอของสารกำลังทำหน้าที่ดึงดูดด้วยแรงที่มาก และทำให้มันที่เข้าหาสารเช่นนั้น เส้นด้ายเหล่านั้นจะหลีกออกจากนิ้ว ในขณะที่เดียวกันนิ้วถูกแหกเข้าไปที่ปลายของเส้นด้ายอีกด้าน (ซึ่งถูกผูกอยู่) นั้น ห่างประมาณ 1 นิ้ว มันจะเหมือนถูกดูด (ด้วยนิ้ว)...

ในการทดลองตอนแรกๆฮอคสบีได้สังเกตเห็นบ่อยๆว่าวัตถุเล็กๆ “ลอยออกจาก” คือถูกผลักโดยสารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าหลังจากที่มาสัมผัสกัน แต่ตอนนี้เขาพบว่าปลายที่ไม่ได้ยึดไว้ของด้ายถูกผลักโดยนิ้วของเขาเมื่อทั้งนิ้วและปลายของด้ายเข้าไปใกล้สารที่ทำให้มีสมบัติทางไฟฟ้าแต่ยังไม่แตะกับสารนั้น คำอธิบายของเขาก็คือนิ้วจะเข้าไปแทนไอที่เป็น “ของแข็ง” ที่อยู่รอบๆสารที่ถูกทำให้มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าและไอนี้กลับผลักปลายที่ไม่ได้ผูกไว้ของเส้นด้ายออกไป ต่อจากนั้นเขาเคลื่อนนิ้วเข้าหาปลายที่ถูกผูกไว้ของเส้นด้ายและนิ้วกลับดูดปลายนี้ของเส้นด้ายได้อย่างน่าประหลาดใจ ถึงแม้ว่าทั้งนิ้วและเส้นด้ายต่างก็ไม่ได้ถูกดูดทั้งสองอย่าง สำหรับการสังเกตนี้เขาไม่สามารถอธิบายได้ เราจะเห็นได้ว่าการอธิบายที่น่าพอใจของปรากฏการณ์ที่สับสนและขัดแย้งกันอย่างไม่มีความจำเป็นต้องรอคอยการค้นพบหลังจากสมัยของฮอคสบีเกี่ยวกับการเกิดประจุไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำและการมีประจุไฟฟ้า 2 ชนิดคือประจุไฟฟ้าบวก และประจุไฟฟ้าลบ

ด้วยความสงสัยว่าลูกกลมแก้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะปล่อยไอกลับเข้าไปในลูกกลมแก้วได้เช่นเดียวกับที่ออกมาจากลูกกลมแก้วหรือไม่ ฮอคสบีผูกด้ายเข้ากับแผ่นไม้กลมที่ติดอยู่ด้านในของลูกกลมแก้ว



ในลักษณะที่เส้นด้ายไม่สัมผัสกับแก้ว ในตอนแรกการทดลองไม่ค่อยได้ผลดีนัก แต่ท้ายที่สุดเขาก็สามารถแสดงให้เห็นว่าเส้นด้ายที่อยู่ข้างในนั้นจัดตัวตามตำแหน่งรัศมีเมื่อลูกกลมแก้วถูกดู เนื่องจากด้านนอกของลูกกลมแก้วเท่านั้นที่ถูกดู ไม่ว่าเส้นด้ายจะถูกผูกภายในหรือภายนอกก็เกิดผลเช่นเดียวกัน เขาลงความเห็นว่ายวของสารออกมาไม่ใช่จากผิวแก้วแต่จากเนื้อแก้ว

ในการเอานิ้วของเขาเข้าไปใกล้แต่ไม่สัมผัสกับลูกกลมแก้ว เขาพบว่ามันผลักลายที่ไม่ได้ผูกของเส้นด้ายเข้าไปข้างใน เช่นเดียวกับเมื่อตอนที่เส้นด้ายอยู่ข้างนอกของลูกกลมแก้ว

นี่แสดงถึงความเข้มของไอของสาร แก้วซึ่งเป็นตัวผลิตไอเหล่านี้ดูเหมือนจะเป็นอุปสรรคในการเคลื่อนที่ของไอ แม้กระนั้นก็ดูเหมือนว่าไอนี้จะคล้ายกับของแข็ง เพราะทำให้วัตถุเบา ๆ เกิดการเคลื่อนที่ได้โดยการผลักไอของสารออกไปให้ห่างจากมัน แต่สิ่งที่แปลกกว่านั้นก็คือ ไอหรือวัตถุนี้ (ข้าพเจ้าคิดว่าควรจะเรียกมันเช่นนั้น) แม้ว่าจะละเอียดจนสามารถผ่านเนื้อแก้วได้กลับไม่สามารถเดินทางผ่านผ้าฝ้ายเส้นไปดังวัตถุตัวเล็ก ๆ อื่นได้ (ดังที่เคยสังเกตพบจากการทดลองก่อน) เพราะผ้าฝ้ายเส้นดูดไอของสารไว้หรือไม่ หรือมีสาเหตุอื่น ๆ ที่ทำให้มันเป็นเช่นนั้น ข้าพเจ้าไม่สามารถจะอธิบายได้ แต่แน่นอนที่ข้าพเจ้าคิดว่าเป็นสิ่งที่น่าประหลาดใจมาก

ท้ายที่สุดฮอคสบีก็พบทางออกที่จะปรับปรุงสมมติฐานเกี่ยวกับไอของสารของเขาจากข้อมูลที่น่าประหลาดใจนั้น ไอของสารนั้นแม้จะมีคุณสมบัติเหมือนกับวัตถุที่เป็นของแข็ง แต่ก็สามารถผ่านเข้าไปในเนื้อสารที่มันถูกผลิตออกมาได้โดยอิสระ ซึ่งในที่นี้คือเนื้อแก้ว แต่ไม่สามารถผ่านเข้าไปในเนื้อสารอื่นเช่นผ้าฝ้ายเส้นได้ง่าย แต่สมมติฐานที่ถูกปรับปรุงใหม่อย่างชาญฉลาดนี้ ก็ยังไม่เพียงพอที่จะอธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวดังจะเห็นได้จากการทดลองต่อไป นั่นคือ เขาถือแท่งขี้ผึ้งที่ได้รับการดูเข้าไปใกล้ ๆ ลูกกลมแก้วที่ไม่ถูกกระตุ้นให้เกิดสมบัติทางไฟฟ้า และได้พบว่านิ้วของเขาสามารถดึงดูดปลายขี้ผึ้งที่ไม่ได้ยึดไว้ภายในลูกกลมแก้วได้เช่นเดียวกับการนำแท่งอำพันที่ถูกดูไปไว้ใกล้ ๆ ลูกกลมแก้ว ถ้าไอจากขี้ผึ้งหรืออำพันสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อแก้วได้อย่างง่ายดายก็โดยตรงกับสมมติฐานที่ว่ามันจะผ่านได้เฉพาะสารที่เป็นต้นกำเนิดของมันเท่านั้น การอธิบายปรากฏการณ์นี้ได้ก็คือการนำคำอธิบายจากสมมติฐานของกิลเบิร์ตที่เคยเสนอไว้มาใช้ว่าจะต้องมีบางอย่างที่คล้ายกับเนื้อสารของแก้ว ขี้ผึ้ง อำพัน และสารอื่น ๆ ที่มีสมบัติทางไฟฟ้า “มีฉะนั้นข้าพเจ้าคงไม่สามารถเข้าใจได้ว่าไอของสารชนิดหนึ่งสามารถแทรกผ่านเข้าไปในเนื้อของสารอีกชนิดหนึ่งได้ง่ายเช่นนั้นได้อย่างไร”



ฮอคสปีพิมพ์เผยแพร่งาน 45 ฉบับใน Philosophical Transactions ในช่วงปี ค.ศ. 1704-1743 ถึงแม้ว่าเราจะครอบคลุมบางส่วนของรายงานดังกล่าวในส่วนที่สำคัญที่สุดเอาไว้ในกรณีศึกษานี้แล้วก็ตาม ก็ยังมีการทดลองสุดท้ายที่ควรจะได้กล่าวถึง เพราะเกี่ยวข้องกับการค้นพบที่สำคัญของนักวิทยาศาสตร์รุ่นต่อมา ในตอนแรกฮอคสปีสังเกตพบว่าเศษทองเหลืองหลังจากที่ถูกดูดเข้าไปติดกับหลอดแก้วแล้ว หลังจากนั้นก็จะถูกผลักและสามารถที่จะถูกดูดกลับมาใหม่ได้ การที่เศษทองเหลืองถูกผลักออกไปนั้นเพราะว่ามันถูกผลักด้วยไอของสารที่หนาแน่นที่อยู่รอบๆหลอดแก้ว แต่แล้วเขาก็ได้พบสิ่งที่น่าประหลาดใจ คือในทันทีที่เศษทองเหลืองได้สัมผัสกับสารที่ไม่มีสมบัติทางไฟฟ้า เช่น กำแพงห้อง ไม่เพียงแต่มันจะไม่ถูกผลักต่อไปเท่านั้น แต่มันกลับถูกดูดกลับมาใหม่ ดังที่กล่าวแล้วว่าฮอคสปีเคยพบปรากฏการณ์เช่นนี้มาก่อนอย่างน้อยครั้งหนึ่งแล้ว เมื่อเขาได้พบว่าอนุภาคของเขม่าจากตะเกียงเคลื่อนกลับไปกลับมาระหว่างพื้นโต๊ะและสารที่มีสมบัติทางไฟฟ้า แต่ในตอนนั้นเขามีได้อธิบายปรากฏการณ์นั้นเป็นพิเศษแต่อย่างใด บางทีอาจจะเป็นเพราะว่าความสนใจของเขาถูกหันเหไปโดยการที่เขาได้จากตะเกียงถูกผลักอย่างรุนแรงมากกว่า

ไม่เป็นที่ชัดเจนว่าฮอคสปีแก้ข้อขัดแย้งที่ว่า ไอที่แข็งซึ่งถูกสมมติว่าทำหน้าที่ในการดึงดูดวัตถุเบาๆ เข้าหาสารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าในขณะเดียวกันก็สามารถผลักวัตถุเบาๆออกห่างนี้ได้อย่างไร และเขาก็ไม่พยายามจะอธิบายว่าไอนี้ทำให้เกิดแสงในที่ที่มีอากาศน้อยนี้ได้อย่างไรเช่นกัน ที่ปรากฏก็คือในการพยายามที่จะนำปรากฏการณ์ทั้งหมดมาอธิบายด้วยทฤษฎีเดียวกันนั้น ต้องการการปรับปรุงสมมติฐานเกี่ยวกับไอของสารอย่างมีเหตุผลมากกว่าที่เขาสามารถจะจินตนาการได้ อย่างไรก็ตามการปรับปรุงสมมติฐานที่เขาเสนอนั้น แม้จะไม่เพียงพอทั้งหมด ก็นับว่ามีประโยชน์มาก ที่ช่วยให้เขาสามารถตั้งสมมติฐานใหม่ในการทดลองต่อไปได้ แต่ละสมมติฐานที่สร้างขึ้นใหม่นั้น นำไปสู่การทดลองใหม่และได้ข้อมูลใหม่ต่อๆมาเสมอ

ในการพิจารณาผลงานของฮอคสปีอย่างเผินๆนั้นดูเหมือนว่าจะเป็นการถอยหลังก่อนสมัยของเขานั้น ไฟฟ้าเป็นวิชาที่ง่าย สามารถอธิบายได้ด้วยข้อเท็จจริงเพียง 2-3 ประการเกี่ยวกับปรากฏการณ์การดึงดูดวัตถุของแท่งอำพัน แต่ฮอคสปีเชื่อมโยงปรากฏการณ์ของแท่งอำพันเข้ากับปรากฏการณ์ของแสงที่เกิดขึ้นในหลอดบารอมิเตอร์ และทำการทดลองต่อไปจนค้นพบปรากฏการณ์อีกมากมายที่ขาดความเชื่อมโยงกันและแตกต่างไปจากการค้นพบที่ได้มาแล้วเกี่ยวกับไฟฟ้า เมื่อความเชื่อแต่ดั้งเดิมถูกท้าทาย ปัญหาแต่ละปัญหาจึงถูกหยิบยกขึ้นมาทำให้เกิดการศึกษาค้นคว้าต่อไป ฮอคสปีไม่สามารถแก้ปัญหาเหล่านั้นได้ แต่ก็ทำให้เกิดความสนใจในปัญหาเหล่านั้น เป็นการเปิดดินแดนใหม่ของการศึกษาค้นคว้าไปสู่ความรู้ในสาขานี้ซึ่งไม่ได้มีผู้ใดสัมผัสอย่างแท้จริงมานานกว่าร้อยปีด้วยความสนใจในปัญหาดังกล่าวที่เสนอขึ้นมา โดยฮอคสปีนี้เองที่ทำให้วิทยาศาสตร์ทางด้านไฟฟ้าก้าวเข้าสู่ขั้นตอนของการปฏิบัติแนวความคิดโดยเริ่มจากการค้นพบการนำไฟฟ้าโดย สตีเฟน เกรย์ (Stephen Grey)



4. การทดลองของสตีเฟ่น เกรย์ เกี่ยวกับการนำไฟฟ้าและการเกิดสมบัติทางไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ

เช่นเดียวกับฮอคสปี เรารู้จักกิจกรรมและบุคลิกลักษณะของสตีเฟ่น เกรย์ (ค.ศ. 1666 หรือ ค.ศ. 1667-1736) ได้จากการติดต่อกับสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งอังกฤษ จุดหมายที่ไม่ได้พิมพ์เผยแพร่บางฉบับและการอ้างถึงเขาเป็นครั้งคราวในรายงานของเพื่อนร่วมงานของเขา รายงานที่พิมพ์เผยแพร่ฉบับแรกของเขาเกี่ยวกับไฟฟ้านั้นปรากฏใน Philosophical Transactions ในปี ค.ศ. 1720 ในรายงานนั้นได้กล่าวว่า เขาได้ค้นพบสารที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าหรือสารที่สามารถทำให้เกิดคุณสมบัติทางไฟฟ้าโดยการถูได้อย่างไร ในบรรดาสารดังกล่าวนั้นรวมถึงกระดาษ ไม้ ผสมของมนุษย์และ “ขนละเอียดยบนหูสุนัข” ด้วย เขาได้บรรยายว่า ถ้าถูหลอดแก้วในที่มืด “แสง” จะตามการเคลื่อนที่ของนิ้วและการแลบของแสงจะผ่านระหว่างหลอดแก้วและนิ้วที่อยู่ใกล้กัน ถึงแม้ว่าเขาจะไม่ได้เอ่ยชื่อของฮอคสปี เขาก็รู้ถึงผลงานของฮอคสปี และเขียนเหมือนกับว่าปรากฏการณ์เกี่ยวกับแก้วนั้น เป็นที่รู้จักกันในหมู่สมาชิกของสมาคมฯ เขากล่าวต่อไปถึงการที่เขาสามารถทำให้เกิดแสงและการแลบของแสงของสารที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าหลายชนิด เช่น กระดาษแข็งเมื่อถูจนเกิด “ความร้อนเท่าที่นิ้วจะทนได้”

ในปี ค.ศ. 1729 เก้าปีหลังจากการพิมพ์เผยแพร่รายงานฉบับแรกของเขา เกรย์อธิบายว่า “เรียน ดร. ดีซากุลเลียร์ (Desaguliers) และท่านสุภาพบุรุษทั้งหลาย” การค้นพบที่สำคัญคือ “สมบัติทางไฟฟ้า” ของหลอดแก้วที่ถูกถูนั้นสามารถส่งผ่านไปสู่วัตถุอื่นซึ่งสัมผัสอยู่กับมันได้ ทำให้วัตถุนั้นมีคุณสมบัติในการดึงดูดได้เช่นเดียวกับตัวมันเอง ดีซากุลเลียร์ ซึ่งเป็นสมาชิกผู้มีชื่อเสียงโด่งดังของสมาคมฯ ได้รายงานการค้นพบนี้ต่อสมาคมฯ และต่อมาภายหลังเกรย์ได้รายงานเกี่ยวกับเรื่องนี้พร้อมกับการทดลองใหม่ๆ ในรายงานครั้งที่ 2 ของเขาใน Philosophical Transactions (1731) รายงานนี้นับตั้งแต่ในช่วงที่เขาทำงานอยู่ในโรงเรียนกินนอนสำหรับคนยากจนในฐานะ “นักเรียนยากจน” โรงเรียนสำหรับคนยากจนถูกจัดตั้งขึ้นเพื่อให้นักศึกษาแก่บุตรที่แน่น “สุภาพบุรุษโดยเชื้อสายแต่ยากจน” และเป็นที่อยู่ของนักเรียนยากจนซึ่งจะเลือกจากบุตรของผู้ที่เป็นทหารบกหรือทหารเรือ พ่อค้าที่ถูกโจรสลัดปล้นหรือเรือแตก หรือข้าราชการสำนักของพระเจ้าแผ่นดินหรือพระราชินี โรงเรียนดังกล่าวก็ยังคงมีอยู่ในปัจจุบัน แม้ว่าจะย้ายจากกรุงลอนดอนไปอยู่ที่โกดอลมิงแล้วก็ตาม เป็นโรงเรียนที่มีชื่อเสียงมาก แทคเคอเรียเรียนที่โรงเรียนแห่งนี้ตั้งแต่เป็นนักเรียนและใน Vanity Fair ได้อ้างถึงโรงเรียนดังกล่าวในนามของ “โรงเรียนโรมันคาทอลิกเกรย์ (Grey-friars)” ซึ่งบางทีอาจจะเป็นเพราะเกรย์เป็นผู้อาศัยที่มีชื่อเสียงที่สุดของโรงเรียนแห่งนี้

ต่อไปนี้เป็นเนื้อหาที่คัดมาจากรายงานฉบับที่ 2 ของเกรย์



ในเดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ. 1729 ข้าพเจ้าได้ทำการทดลองซ้ำจากที่ได้เคยทำมาก่อน... ข้าพเจ้าได้ทำการทดลองกับโลหะหลายชนิดเพื่อจะหาว่าจะสามารถทำให้เกิดอำนาจดึงดูดได้ โดยวิธีการเดียวกันกับสารอื่นๆหรือไม่ โดยการทำให้ร้อนด้วยการถูและการตีแต่ก็ไม่ประสบความสำเร็จ ข้าพเจ้าได้แก้ปัญหาโดยการหาหลอดแก้วขนาดใหญ่ที่ทำด้วยแก้วฟลินต์เพื่อศึกษาสิ่งที่ข้าพเจ้าเคยสงสัยเมื่อหลายปีก่อนว่าการที่หลอดแก้วที่ถูกถูสามารถทำให้เกิดแสงและส่งความสามารถในการทำให้เกิดแสงนั้นให้แก่สารอื่นได้หรือไม่

การตั้งสมมติฐานที่ระบุวิธีปฏิบัติทดลองไว้อย่างเฉพาะเจาะจง (working hypothesis) ของเกรย์นั้น บางทีอาจได้แนวความคิดมาจากผลงานของฮอคสปีที่ว่า เมื่อแสงถูกส่งผ่านออกมาจากสารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าไปสู่สารอื่นนั้นในขณะเดียวกันสมบัติทางไฟฟ้าซึ่งก็คือความสามารถในการดึงดูดก็จะถ่ายเทไปสู่สารนั้นด้วย เราไม่เข้าใจกระบวนการทั้งหมดในการตั้งสมมติฐานดังกล่าว แม้ว่าโดยปกติแล้วมักจะเข้าใจได้อย่างชัดเจน ดังในกรณีนี้ สมมติฐานที่ตั้งขึ้นนั้นได้มาจากการสังเกตและการทดลอง สมมติฐานที่ระบุวิธีทดลองเหล่านี้ โดยมากมักจะผิดพลาด แต่ก็มักเป็นแนวทางสำหรับออกแบบการทดลองที่เหมาะสมขึ้นต่อไป ตอนนี้เราจะเห็นได้ว่าเกรย์มิได้ทดสอบสมมติฐานของเขาเกี่ยวกับการถ่ายเทสมบัติทางไฟฟ้าพร้อมกับการเกิดแสง เพราะในขณะที่เตรียมการเพื่อจะทดสอบสมมติฐานดังกล่าวเขาทำการทดลองกับปรากฏการณ์ที่สารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าถ่ายทอด “ไฟฟ้า” ให้กับสารอื่นโดยปราศจากการเกิดแสงแต่อย่างใด

ก่อนที่ข้าพเจ้าจะกล่าวต่อไปถึงการทดลอง จำเป็นที่จะต้องอธิบายถึงลักษณะของหลอด (แก้ว) มันมีความยาว 3 ฟุต 5 นิ้ว และเส้นผ่าศูนย์กลาง $1\frac{2}{10}$ นิ้ว แต่ละปลายอุดด้วยจุกคอร์กเพื่อป้องกันไม่ให้ฝุ่นเข้าไปเมื่อไม่ได้ใช้งาน

การทดลองแรกที่ข้าพเจ้าทำขึ้นนี้ก็เพื่อจะดูว่าจะมีความแตกต่างระหว่างการดึงดูดของหลอดแก้วที่ถูกถูเมื่อตอนที่ปิดไว้ด้วยจุกคอร์กที่ปลายทั้งสองและเมื่อตอนที่เปิดหลอดไว้หรือไม่ ข้าพเจ้าไม่สามารถรับรู้ความแตกต่างนี้ได้ แต่เมื่อถือนอกไปไวใกล้ๆปลายบนของหลอด ข้าพเจ้าพบว่าขนนกจะเคลื่อนเข้าหาจุกคอร์กที่ปิดปากหลอด โดยถูกดูดเข้าไปและถูกผลักออกมาเหมือนกับเมื่อนำขนนกเข้ามาใกล้หลอดแก้ว ต่อจากนั้นข้าพเจ้าลองถือนอกไปและที่ปลายเรียบของจุกคอร์ก ยังคงเกิดการดึงดูดและผลักกันเช่นเดียวกัน ปรากฏการณ์นี้ทำให้ข้าพเจ้าประหลาดใจมากและสรุปว่าจะต้องมีอำนาจดึงดูดที่ถูกถ่ายเทจากหลอดแก้วที่ถูกถูมาสู่จุกคอร์กอย่างแน่นอน



ในตอนนีเกรย์ได้บรรยายถึงการค้นพบที่มีประสิทธิภาพมากของปรากฏการณ์ที่ภายหลังเรียกว่า “การนำไฟฟ้า” แม้ว่าจุกคอร์กจะไม่ได้ถูกดู แต่สามารถดึงดูดขนนก (ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องวัดประจุไฟฟ้า) ได้ และเกรย์ได้แปลความหมายข้อมูลนี้ว่าหมายถึง “พลังในการดึงดูด” จากหลอดแก้วได้ถูกถ่ายเทไปสู่จุกคอร์กเท่านั้น เพราะมันเป็นตัวที่สัมผัสกับหลอดแก้ว

นี่คืออีกตัวอย่างหนึ่งที่แสดงให้เห็นว่าสมมติฐานที่ระบุวิธีการทดลองนั้นมีความสำคัญเพียงใด เนื่องจากนักวิทยาศาสตร์คนอื่นได้สังเกตปรากฏการณ์ดังกล่าวมาก่อนโดยไม่ได้ให้ความสำคัญกับการสังเกตเหล่านั้น ดังนั้นสมมติฐานของเกรย์เกี่ยวกับปรากฏการณ์การดึงดูดและการเกิดแสงจึงเป็นประโยชน์ในการช่วยให้เขาตระหนักและยอมรับผลการทดลองที่สนับสนุนว่าเกิดการถ่ายเทสมบัติทางไฟฟ้าจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่ง อย่างไรก็ตามเขาไม่ได้กล่าวถึงสมมติฐานตอนเริ่มต้นนี้อีก เพราะเขาได้พบปรากฏการณ์ที่น่าสนใจซึ่งมีคุณค่ากว่าที่จะทำการทดสอบความถูกต้องในตัวของมันเอง แม้ว่าจะมิได้กล่าวอย่างชัดเจน แต่เขาได้ตั้งสมมติฐานใหม่ว่า วัตถุที่สัมผัสสารที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าจะได้รับสมบัติทางไฟฟ้าเข้าไปไว้ในตัวของมันเอง เราจะได้เห็นว่าสมมติฐานนี้มีประโยชน์ในทันที คือนำทางให้เขาสามารถทำการทดลองในแนวความคิดใหม่นี้ทั้งหมดได้ เพราะต่อจากนั้นเขาก็หาแนวทางที่จะตอบปัญหาว่าคุณสมบัติในการดึงดูดสามารถถ่ายเทหรือไม่เพียงจากวัตถุหนึ่งไปสู่วัตถุที่อยู่ติดกัน แต่สามารถถ่ายเทไปสู่วัตถุอื่นๆ ที่ถูกสิ่งอื่นกั้นได้ด้วย

ข้าพเจ้าได้หาลูกกลมทำด้วยงาช้างมาลูกหนึ่ง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ $1\frac{3}{10}$ นิ้ว โดยมีรูอยู่ ข้าพเจ้าสอดปลายไม้พันด้วยขนสัตว์เล็กๆยาวประมาณ 4 นิ้วเข้าไปอีกปลายหนึ่ง (ไม้) ลงไปที่จุกคอร์กที่อุดปลายหลอดแก้ว ข้าพเจ้าพบว่าลูกกลมงาช้างนั้นสามารถดูดและผลักขนนกได้แรงกว่าที่จุกคอร์กเคยทำ มีการดูดและผลักซ้ำๆเช่นนั้นอยู่หลายครั้ง

ต่อไปข้าพเจ้าได้เสียบลูกกลมด้วยไม้ที่ยาวกว่าเดิม ตอนแรกใช้ไม้ยาว 8 นิ้ว จากนั้นใช้ไม้ยาว 24 นิ้ว พบว่าได้ผลการทดลองเหมือนกัน ต่อไปข้าพเจ้าได้ใช้หลอดเหล็กแทนไม้ต่อไปก็เปลี่ยนเป็นหลอดทองเหลืองมาเสียบลูกกลม พบว่าแรงดึงดูดได้เหมือนกันกับเมื่อตอนที่ใช้ไม้พันขนสัตว์ และพบว่าเมื่อถือขนนกให้ใกล้ส่วนใดของหลอดก็ตาม ขนนกก็จะถูกดึงดูดทั้งสิ้น

เมื่อใช้หลอดยาว 2-3 ฟุต เมื่อเวลาจะเกิดการสั่นทำให้เกิดความยุ่งยาก สิ่งนี้ทำให้ข้าพเจ้าคิดว่าถ้าแขวนลูกกลมด้วยด้ายที่ปั่นแล้วแขวนด้วยหลอดเป็นวงรอบหลอดแก้ว ไฟฟ้าจากหลอดแก้วจะถูกนำไปสู่ลูกกลมโดยทางเส้นลวดที่แขวน ข้าพเจ้าพบว่าได้ผลเพราะเมื่อ



ลูกกลมถูกแขวนรอบหลอดแก้วด้วยด้ายยาวประมาณ 3 ฟุต มันสามารถดึงดูดและผลักเศษทองเหลืองที่อยู่เหนือมันได้ ซึ่งเมื่อเปลี่ยนเป็นลูกกลมที่ทำด้วยคอร์กและด้วยตะกั่วที่หนัก 1 ปอนด์ ก็ได้ผลเช่นเดียวกัน

ดังนั้นเกรย์จึงพบว่าลูกกลมข้างที่ติดกับหลอดแก้วนั้นได้รับแรงดึงดูดจากหลอดแก้วโดยผ่านทางไม้ลวดโลหะ ด้ายป็น และแม้ว่าด้ายป็นนั้นจะยาวถึง 3 ฟุตก็ตาม ยิ่งกว่านั้นเพื่อให้แน่ใจว่าสิ่งที่สังเกตได้นั้นไม่ได้เนื่องมาจากเพราะลูกกลมทำด้วยงาช้าง เขาได้เปลี่ยนเป็นลูกกลมทำด้วยคอร์กและทำด้วยตะกั่ว แต่ก็ได้ผลเช่นเดียวกันเสมอ แต่เขาก็กังไม่คิดว่าปัญหานี้ได้คำตอบเพียงพอแล้ว เพราะเขายังคงทำการทดลองต่อไป

หลังจากที่ข้าพเจ้าได้พบว่าวัตถุต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น ได้รับการถ่ายทอดสมบัติทางไฟฟ้าได้ ข้าพเจ้าได้ทำการทดลองต่อไปเพื่อจะหาว่าจะเปลี่ยนเป็นวัตถุอื่น ๆ อะไรที่แทนลูกกลมมาข้างแล้วยังให้ผลเช่นเดิมได้อีกบ้าง เริ่มด้วยการเปลี่ยนเป็นโลหะแขวนรอบหลอดแก้วโดยวิธีเดียวกันกับที่ได้ทำมาแล้วในตอนแรก ก็ใช้วัตถุเล็ก ๆ ได้แก่ เหรียญกษาปณ์ (เหรียญทองที่มีค่าเท่ากับ 2 ซิลลิง) แล้วก็เหรียญครึ่งเพนนีแท่งเดียวและตะกั่ว แล้วเปลี่ยนเป็นโลหะที่มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นแขวนด้วยเส้นด้ายป็น โดยใช้เข็ม คีม ที่เขี่ยถ่านทำด้วยเหล็ก กาน้ำชาทำด้วยทองแดง กาเงิน ซึ่งก็ได้ผลเช่นเดียวกันไม่ว่าจะใส่น้ำเย็นหรือน้ำร้อน ทั้งหมดนี้ล้วนแต่สามารถดูดเศษทองเหลืองได้อย่างแรงขึ้นมาจากพื้นหลายนิ้ว ข้าพเจ้าได้ทดลองต่อไปกับวัตถุอื่น ๆ เช่นแก้วฟลินต์ หินทราย แร่เหล็ก อัญมณี กระเบื้อง ซอล์ก และสารที่ทำจากพืชหลายชนิดทั้งสดและแห้ง ข้าพเจ้าพบว่าทั้งหมดมีสมบัติทางไฟฟ้าที่ได้รับถ่ายทอดมาจากหลอดแก้วที่ถูกถู

จะสังเกตได้ว่าโลหะก็เป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่เกรย์นำมาทดลองถ่ายทอดสมบัติทางไฟฟ้าได้สำเร็จ กิลเบิร์ตเคยทดลองสร้างสมบัติไฟฟ้าในโลหะหลายชนิดโดยถือไว้ในมือแล้วถู แต่ไม่ประสบความสำเร็จ จึงจัดโลหะเป็น “สารที่ไม่มีสมบัติทางไฟฟ้า” เกรย์ประสบความสำเร็จเพราะโลหะที่เขาใช้นั้นไม่ได้สัมผัสกับมือของเขา (ต่อมาเขาได้แสดงให้เห็น โดยการทดสอบโดยตรงว่ามือและส่วนต่างๆ ของร่างกายมนุษย์เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี) เขากล่าวต่อไปว่า



ต่อไปข้าพเจ้าพยายามที่จะทดลองว่าพลังไฟฟ้าถูกส่งไปได้ไกลเพียงใด ข้าพเจ้าหาไม้เท้าที่กลมมาอันหนึ่งซึ่งข้าพเจ้าเข้าใจว่าจะเป็นส่วนของคันเบ็ด ยาว 2 ฟุต 7 นิ้ว ข้าพเจ้าตัดปลายด้านที่โตกว่าออกเพื่อให้ใส่เข้าไปในหลอดแก้วได้ ซึ่งใส่เข้าไปได้ลึก 5 นิ้ว เมื่อหลอดแก้วถูกดู ไม่ให้นั้นสามารถดูดเศษทองเหลืองขึ้นมาสูงจากพื้นมากกว่า 2 นิ้ว

ต่อไปข้าพเจ้าใช้ท่อนบนของคันเบ็ดขนาดใหญ่ 2 ท่อนต่อกับหลอดแก้ว มีความยาวกว่า 14 ฟุต ด้านปลายที่เล็กกว่าติดลูกกลมของคันเบ็ดสอดเข้าไปในหลอดแก้ว วางเศษทองเหลืองไว้บนโต๊ะและดูคันเบ็ด ลูกกลมคอร์กสามารถดูดเศษทองเหลืองขึ้นไปได้สูงประมาณ 3 นิ้ว ข้าพเจ้านำไม้เท้าด้วยคอร์กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ $1\frac{1}{8}$ นิ้ว ด้านปลายที่ใหญ่กว่าของหลายๆท่อนมาต่อกันแล้วเสียบกับหลอดแก้วจนยาวประมาณ 18 ฟุต ซึ่งเป็นความยาวมากที่สุดที่ข้าพเจ้าสามารถจะทดลองในห้องได้สะดวก และพบว่าแรงดึงดูดของลูกกลมเกือบจะเท่ากับเมื่อตอนที่ลูกกลมวางอยู่บนแท่งไม้ที่สั้นกว่า การทดลองที่ข้าพเจ้าได้ทำล่าสุดก่อนที่ข้าพเจ้าจะเดินทางไปอยู่ในชนบทนั้นก็คือการทดลองที่ทำในวันที่ 2 พฤษภาคม 1729 ข้าพเจ้าได้นำไม้เท้าที่ทำด้วยแก้วหลายอัน และวัสดุอื่นๆที่จำเป็นซึ่งข้าพเจ้าคิดว่าจะไม่สามารถหาได้ที่นั่นไปด้วย

ห้องทดลองของเกรย์เล็กเกินไปที่จะขยายการทดลอง ยิ่งกว่านั้นยังเป็นช่วงฤดูใบไม้ผลิ ดังนั้นเขาจึงเดินทางไปอยู่ในชนบทคือไปอยู่ที่เอน์ตัน คอร์ต ในรัฐเคนต์ซึ่งเป็นที่อยู่ของจอห์น กอดเฟรย์ (John Godfrey) ลูกาพบุรุษชาวชนบทซึ่งเป็น "เพื่อนผู้มีเกียรติ" ของเขา ที่นั่นเขาได้ทำการทดลองพบว่า "สมบัติทางไฟฟ้า" ถูกถ่ายทอดไปสู่เสาไม้ได้ไกลกว่า 28 ฟุต

แต่เสาไม้จะโค้งมากและสั้นเมื่อหลอดแก้วถูกดู ทำให้การทดลองทำได้อย่างยากลำบาก ประมาณ 6 โมงเช้าของวันที่ 19 พฤษภาคม ข้าพเจ้าแขวนลูกกลมมาข้างจากหลอดโดยใช้เส้นด้ายปั่นยาว 26 ฟุต ซึ่งเท่ากับความสูงของระเบียงจากสนาม ซึ่งผู้ช่วยของข้าพเจ้ายืนถือแผ่นกระดานที่มีเศษทองเหลืองอยู่บนนั้นเอาไว้ เมื่อดูหลอดแก้ว ลูกกลมมาข้างจะดูดเศษทองเหลืองขึ้นไปได้สูงเกือบ 2 นิ้วตามที่ผู้ช่วยของข้าพเจ้าได้รายงาน มีการทดลองซ้ำโดยใช้ลูกกลมที่ทำด้วยคอร์ก ประสบความสำเร็จเช่นเดียวกัน

เช้าวันที่ 31 เดือนพฤษภาคม จากเสาสูง 18 ฟุตได้มีการผูกต่อกับเชือกยาว 34 ฟุต รวมเป็น 52 ฟุต ข้าพเจ้าถือหลอดแก้วที่มีเสาคู่กับเชือกเสียบอยู่บนนั้น ยืนอยู่ที่ระเบียง



ส่วนผู้ช่วยยืนอยู่ที่สนามหญ้าหน้ากระดานที่มีเศษของเหลืออยู่บนนั้นเอาไว้ ดูหลอดแก้วตามที่เคยทำ พลังไฟฟ้าถูกถ่ายทอดจากหลอดแก้วไปที่เสาแล้วไปสู่ลูกกลมเงาข้างซึ่งดูดเศษของเหลือได้

เนื่องจากที่นี่ไม่มีที่ที่สูงกว่านั้นอีกแล้วที่จะแขวนลูกกลมเงาข้างได้ด้วยเชือกยาวกว่านั้น ข้าพเจ้าจึงได้พยายามหลายครั้งที่จะให้มีการถ่ายทอดคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นในแนวนอน แต่ไม่ประสบความสำเร็จ เพราะในการพยายามจะเลือกวัสดุที่เหมาะสมนั้นข้าพเจ้าได้ทำดังต่อไปนี้คือ วิธีแรกข้าพเจ้าทำห่อด้วยเชือกเส้นเล็กๆแขวนกับตะปูที่ตอกเข้าไปในคานไม้ อีกห่อหนึ่งปล่อยลงข้างล่าง นำด้ายปั่นที่ถูกติดกับลูกกลมเงาข้างมาแขวนไว้ที่ห่อล่างนี้ อีกปลายหนึ่งของเส้นเชือกทำเป็นห่อแขวนอยู่กับหลอดแก้ว ดังนั้นเชือกส่วนที่พันลูกกลมจึงถูกแขวนอยู่ในลักษณะที่ตั้งฉากกัน และส่วนที่เหลือทั้งหมดของเชือกอยู่ในแนวนอน เมื่อวางเศษของเหลือไว้ใกล้ลูกกลมและดูหลอดแก้ว ไม่มีการดึงดูดเกิดขึ้นเลย ข้าพเจ้าสรุปว่าเมื่อพลังไฟฟ้าเข้าไปในขดเชือกที่แขวนบนคานไม้ มันจะเข้าไปในคานไม้ด้วยเท่านั้น ดังนั้นจึงไม่มีพลังไฟฟ้าแม้แต่ชนิดเดียวที่จะลงไปสู่ลูกกลม การสังเกตนี้ภายหลังได้รับการพิสูจน์ด้วยการทดลองที่กำลังจะกล่าวถึง ณ ที่นี้ต่อไป

เกรย์ได้สรุปอย่างถูกต้องว่าพลังไฟฟ้าถูกถ่ายทอดไปในเส้นด้ายในแนวราบดังที่เคยมีการสังเกตพบมาก่อน แต่ส่วนใหญ่จะเข้าไปในเส้นด้าย เข้าไปในตะปูและคานไม้มากกว่าที่จะไปที่ลูกกลมเงาข้าง คำอธิบายดังกล่าวนี้ก็มีเหตุผล เพราะว่าถ้าเส้นด้ายสามารถถ่ายทอดอำนาจไฟฟ้าได้ ก็ไม่มีเหตุผลใดๆที่จะคิดว่ามันจะต้องถ่ายทอดอำนาจไฟฟ้าไปตลอดเส้นจนถึงลูกกลมเงาข้าง ในเมื่อมีเส้นด้ายอีกเส้นหนึ่งมาต่อแยกออกไปที่คร่าวไม้ เมื่อประสบความสำเร็จในการทดลองส่งอำนาจไฟฟ้าไปตามเส้นด้ายในแนวระนาบ เกรย์ก็ตัดสินใจ (ดังที่เขาได้กล่าวไว้ในข้อความที่เว้นไปในที่นี้) ที่จะรองจนกว่าจะกลับไปลอนดอน ซึ่งเขาสามารถทดสอบความคิดนั้นได้โดยการทดลองจากยอดโดมของโบสถ์เซนต์ปอลที่เขาสามารถจะทดสอบได้ในระยะทางตามแนวตั้งถึง 10 เท่าของที่เขาศึกษาทดลองได้ แต่ในขณะนั้นเขาได้ไปทดลองที่ออกเตอร์เดน ซึ่งเป็นที่อยู่ของ แกรนวิลล์ เวเลอร์ “สมาชิกที่มีคุณค่ามากของสมาคมฯ ซึ่งข้าพเจ้ารู้สึกเป็นเกียรติมากที่ได้รู้จักคุ้นเคย” เวเลอร์เป็นผู้ที่มีความกระตือรือร้นให้ความร่วมมือและถูกกระตุ้นให้ตื่นตัวไปกับเกรย์ในการทดลองว่า อำนาจไฟฟ้าจะเดินทางไปได้ไกลเพียงใด



วันที่ 30 มิถุนายน 1729 ข้าพเจ้าได้ไปที่ออกเตอร์เดนเพื่อขอพบมิสเตอร์เวเลอร์ โดยนำไม้เท้าทำด้วยแก้วไปด้วยพร้อมทั้งวัสดุที่จำเป็นบางอย่างเพื่อทำการทดลองให้ มิสเตอร์เวเลอร์ดูเพียงคนเดียว การทดลองแรกทำจากหน้าต่างของห้องเก็บภาพที่ยาวและ เปิดออกไปถึงห้องโถงใหญ่มีความสูงประมาณ 16 ฟุต การทดลองต่อไปทำในระยะ 29 ฟุต ต่อไปในระยะ 34 ฟุต เนื่องจากว่าไม่มีที่สูงกว่านั้น ที่นี่ มิสเตอร์เวเลอร์ต้องการจะทดสอบ ว่าไม่สามารถส่งอำนาจไฟฟ้าได้ในแนวระดับจริงหรือไม่ ข้าพเจ้าได้เล่าให้เขาฟังถึงความ พยายามของข้าพเจ้าในการทำเช่นนั้นดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น เขาจึงเสนอให้ใช้ เส้นไหมมาเป็นตัวรับน้ำหนักเส้นด้ายแทน (การทดลองที่แล้ว เกรย์ใช้เส้นด้ายทำเป็นห่วง ตอกกับคาน เป็นตัวรับน้ำหนัก ส่วนคราวนี้เปลี่ยนเป็นเส้นไหมแทน) ข้าพเจ้าได้บอกเขาว่า การใช้เส้นไหมมารับน้ำหนักนี้อาจจะดีกว่า เนื่องจากมีขนาดเล็กกว่า (บางกว่าเส้นด้าย) ทำให้ สูญเสียอำนาจไฟฟ้าออกไปได้น้อยกว่า

ทำไมเกรย์จึงเชื่อว่าเส้นไหมยังบางยิ่งถูกดึงอำนาจไฟฟ้าออกไปได้น้อยกว่านั้นไม่มีเหตุผลชัดเจน บางทีอาจจะเพราะได้รับคำแนะนำมาตั้งแต่ก่อนหน้านั้นที่ทำให้เขาเคยคิดมาก่อนถึงการถ่ายทอดอำนาจ ไฟฟ้าไปตามเส้นไหม ถ้าคิดว่าความคิดนี้เป็นไปได้ก็อาจจะเพราะว่าความบางของเส้นไหมทำให้อำนาจ ไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านไปสู่ผนังห้องได้ช้ากว่า

ในไม่ช้าเกรย์ก็ได้เรียนรู้ว่าไม่ใช่เพราะความบางของเส้นไหมที่สำคัญในเรื่องนี้ แต่เป็นเพราะเนื้อสาร ที่ประกอบเป็นเส้นไหม แม้กระนั้นก็เพราะสมมติฐานที่กว้างขวางของเขาเกี่ยวกับความบางของเส้นไหม นี่เองที่ทำให้เขาสามารถสร้างสมมติฐานที่แคบลงซึ่งใช้เป็นสมมติฐานที่จะทดสอบได้ ถ้าเราใช้เส้นไหมเสริม เส้นด้าย เมื่อหลุดแล้วถูกดู ลูกกลมก็จะเกิดอำนาจไฟฟ้าคือสามารถดูดและผลักวัตถุเบาๆได้ สมมติฐาน ที่แคบเข้านี้ได้รับการสนับสนุนจากผลการทดลอง ดังนั้นเราจะได้เห็นถึงความน่าแปลกใจว่าสมมติฐานที่ แคบซึ่งพิสูจน์ด้วยการทดลองว่าถูกต้องนั้นได้มาจากสมมติฐานที่กว้างซึ่งพิสูจน์ด้วยการทดลองได้ว่าผิดนั้น ได้อย่างไร นี่ไม่ใช่สิ่งที่ผิดปกติแต่อย่างใดในทางวิทยาศาสตร์ อาจจะมีปัจจัยอื่นๆที่เข้ามาเกี่ยวข้องโดยรู้ได้ อย่างชัดเจนหรือไม่ชัดเจนก็ได้ ปัจจัยที่ซ่อนอยู่ในสมมติฐานของเกรย์ในที่นี้ก็คือเนื้อของสารที่ใช้แขวน ลูกกลมนั้นมิได้ถูกคำนึงถึงในตอนแรก การทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานที่กว้างจึงไม่ใช่เรื่องง่าย

การทดลองแรกได้ทำขึ้นในห้องที่มีพื้นผิวด้าน ห่างจากปลายของห้องประมาณ 4 ฟุต ครึ่งเส้นเชือกแนวขวางไว้กับผนังห้องทั้งสองด้านด้วยตะปู ส่วนกลางของเส้นเชือกนี้เป็นไหม



ส่วนปลายที่ยึดติดกับผนังห้องเป็นเส้นด้าย นำเชือกยาว 80 ฟุตที่ใช้สำหรับเป็นด้ายส่งผ่านอำนาจไฟฟ้า มาวางพาดไว้บนเส้นเชือกตามขวางนี้ ปลายด้านหนึ่งของเส้นเชือกสำหรับนำไฟฟ้า ถูกติดกับหลอดแก้ว ปลายอีกข้างแขวนด้วยลูกกลมมาข้าง ซึ่งแขวนต่ำลงมา 9 ฟุต วางเศษทองเหลืองไว้ใต้ลูกกลมมาข้างนั้น เมื่อแท่งแก้วถูกถู ลูกกลมจะดูดเศษทองเหลืองมาติดอยู่ชั่วระยะเวลาหนึ่ง

การทดลองนี้ประสบผลสำเร็จอย่างดี มิสเตอร์เวเลอร์คิดถึงการทดลองอีกการทดลองหนึ่งซึ่งเราอาจจะเพิ่มความยาวของเชือก การทดลองนี้ต้องทำให้เกิดเส้นไหมกาบาทอีกอันหนึ่งที่อีกปลายหนึ่งของห้อง และเหนือส่วนที่เป็นเส้นไหมกาบาทนั้นวางเส้นเชือกที่ยาวพอที่จะกลับมาชนกับอีกปลายหนึ่งที่แขวนลูกกลมไว้ เพราะว่าตอนนี้ปลายทั้งสองของเส้นเชือกมาบรรจบกันที่ปลายเดียวกันของห้องจึงต้องระวังให้แท่งแก้วอยู่ห่างจากเศษทองเหลือง พอที่จะไม่มาสัมผัสกับเศษทองเหลืองนอกจากอำนาจไฟฟ้าที่ผ่านมาตามเส้นเชือกเท่านั้น จากนั้นจึงถูแท่งแก้ว เศษทองเหลืองก็จะถูกลูกกลมมาข้างดูด อำนาจไฟฟ้าถูกส่งผ่านเส้นเชือกไปที่อีกปลายหนึ่งของห้องและย้อนกลับมาที่ลูกกลมใหม่ ซึ่งทำให้ลูกกลมสามารถดูดเศษทองเหลืองขึ้นมาติดได้เช่นเดียวกับครั้งก่อน ความยาวทั้งหมดของเชือก คือ 147 ฟุต

เพื่อให้สามารถใช้เชือกที่ยาวกว่านี้ นักวิทยาศาสตร์ทั้งสองได้เปลี่ยนจากการทดลองในห้องไปที่โรงนา ที่นี้การทดลองของเขาประสบความสำเร็จโดยใช้เส้นด้ายยาว 293 ฟุต แขวนด้วยเส้นไหมโดยให้เชือกขึงจากปลายหนึ่งของโรงนาไปจนจดอีกปลายหนึ่งแล้วทบกลับมาที่ปลายแรก

ผลสำเร็จของการทดลองนี้ทำให้เราเกิดกำลังใจที่จะลองทำให้เชือกกลับมาอีกทบหนึ่ง แต่เมื่อถูแท่งแก้วปรากฏว่าเส้นไหมขาดเพราะไม่แข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักของเชือกเมื่อเกิดการสั่นเนื่องจากการถูแท่งแก้วให้เกิดไฟฟ้า

ข้าพเจ้านำทั้งหลอดทองเหลืองและหลอดเหล็กไปด้วย เราจึงได้ใช้หลอดเหล็กแทนเส้นไหม แต่หลอดนั้นก็ไม่แข็งแรงพอจะรับน้ำหนักของเชือกเมื่อสั่นได้เช่นกัน เราใช้หลอดทองเหลือง ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเหล็ก (ความหนา) เป็นตัวแขวน แต่แม้ว่าแท่งแก้วจะถูกถูเท่าใดก็ไม่ทำให้เชือกสั่น หรือทำให้ลูกกลมดูดเศษทองเหลืองได้เลย แม้ว่าจะเปลี่ยนเป็นใช้แท่งแก้วขนาดใหญ่กว่าก็ตาม



จะต้องเตือนความจำว่าเกรย์ได้เคยทดสอบสมมติฐานที่แคบในเรื่องนี้มาแล้วว่า ถ้าเราเสริมเส้นด้ายด้วยเส้นไหม ลูกกลมจะเกิดอำนาจไฟฟ้าขึ้นเมื่อถูแท่งแก้ว การทดลองในทำนองเดียวกันนี้จะช่วยทดสอบสมมติฐานที่คล้ายคลึงกันนี้ได้ ถ้าเราเสริมเส้นด้ายด้วยลวดทองเหลือง ลูกกลมจะถูกทำให้มีอำนาจไฟฟ้าเมื่อถูแท่งแก้วถูก แต่ปรากฏว่าผลที่ได้ไม่เป็นเช่นนั้น ในขณะที่เกรย์ไม่ได้ระบุสาเหตุที่แท้จริงของสมมติฐานที่เขาใช้ทดลองออกมาอย่างชัดเจน แต่จากวิธีการทดลองที่เขาใช้ก็แสดงว่าเขาคิดถึงสาเหตุที่นั้นอยู่ในใจ เขาได้บอกกับเราในประโยคต่อไปว่าเขาเชื่อว่าสาเหตุที่แท้จริงก็คือ “ความเล็ก” (บาง) ของเส้นไหม แต่ตอนนี้ก็เห็นแล้วว่าผิด

ผลการทดลองนี้ทำให้เราเชื่อว่าความสำเร็จในการทดลองก่อน ๆ นั้นขึ้นอยู่กับเนื้อของเส้นไหมที่ใช้เสริมเส้นด้าย ไม่ใช่เพราะความเล็กหรือความบางของมันที่ทำให้เกิดผลเช่นนั้น ดังที่ข้าพเจ้าคิด ผลการทดลองที่ได้นี้ (ผลการทดลองที่ใช้ลวดทองเหลืองแทนเส้นไหมที่กล่าวไว้ข้างบน-ผู้แปล) เป็นเช่นเดียวกับการใช้เชือกเสริมเส้นด้ายซึ่งจะแยกเอาอำนาจไฟฟ้าจากเส้นด้ายไปให้ผนังห้องจนไม่เหลือไปถึงลูกกลมในการทดลองก่อน ในการทดลองนี้ก็เช่นกัน เส้นลวดที่ใช้เสริมเส้นเชือกแยกเอาอำนาจไฟฟ้าจากเส้นเชือกไปให้ผนังห้องจนไม่เหลือไปถึงลูกกลม

นี่เป็นการค้นพบที่สำคัญ หมายถึงว่าสารอาจถูกแบ่งออกได้เป็น 2 พวกคือพวกที่พร้อมที่จะถ่ายทอดอำนาจไฟฟ้า และพวกที่ไม่พร้อมที่จะถ่ายทอดอำนาจไฟฟ้า ซึ่งเราใช้ศัพท์กันในปัจจุบันว่า สารที่นำไฟฟ้าและสารที่ไม่นำไฟฟ้าหรือฉนวน กระบวนการในการค้นหาสารแต่ละประเภทนั้นเป็นไปอย่างช้าๆ แต่ในที่สุดเราจะเห็นได้ว่าสารที่เรียกว่าสารที่ไม่นำไฟฟ้าและเหมาะสำหรับทำฉนวนนั้นคือสารที่กิลเบิร์ตเรียกว่า “สารที่มีสมบัติทางไฟฟ้า”

ตอนนี้เกรย์และเวเลอร์ได้เรียนรู้แล้วว่าจะทำฉนวนให้กับสายนำไฟฟ้า เพื่อนำไฟฟ้าทั้งหมดไปสู่ลูกกลมข้างใดอย่างไร ยิ่งกว่านั้นการพบความแตกต่างระหว่างสารที่นำไฟฟ้าและสารที่ไม่นำไฟฟ้าทำให้การทดลองในเรื่องนี้เปิดทางให้เห็นปัญหาที่ต้องการการศึกษาค้นคว้าอย่างจริงจังอีกมาก

แม้ว่าการไหลไปและกลับของไอของสารเป็นสิ่งที่แปลกประหลาดมาก แม้กระนั้นเราก็คงอยากจะพยายามศึกษาต่อไปอยู่ดีว่าอำนาจของแรงดึงดูดจะไปได้ไกลเท่าใดตามเชือกในแนวเส้นตรง ปลายของเชือกซึ่งจะเกิดการดึงดูดนั้นผูกไว้ด้วยเส้นไหมที่ซึ่งระหว่างกรอบ



หน้าต่างทางทิศเหนือของบ้านซึ่งสูงประมาณ 40 ฟุต ที่ระยะห่าง 100 ฟุตจากหน้าต่างมีเสา 2 เสายาวประมาณ 10 ฟุต บังลงไปในดินในแนวตั้งฉากกับดินเสาทั้งสองห่างกัน 2 ฟุต ห่างจากเสา 2 เสาขึ้นไปประมาณ 100 ฟุต มีเสาอีกคู่หนึ่งติดอยู่ และเป็นเช่นนี้ไปอีก 4 คู่ ที่ปลายของเสาเหล่านี้ผูกเส้นไหมเอาไว้ มีเชือกที่ให้ไฟฟ้าผ่านวางอยู่บนเส้นไหมอีกต่อหนึ่ง ลูกกลมมาข้างถูกแขวนไว้ที่ลูกกรงหน้าต่าง และเศษทองเหลืองถูกวางไว้ข้างใต้ลูกกลม อีกปลายหนึ่งของเชือกถูกแขวนเป็นห่วงไว้บนหลอดแก้ว หลังจากหลอดแก้วถูกอยู่ระยะหนึ่ง เขาก็จะตะโกนบอกให้ข้าพเจ้ารู้ว่าลูกกลมดึงดูดเศษทองเหลืองได้ มีการทำซ้ำหลายครั้ง และประสบความสำเร็จทุกครั้ง ต่อจากนั้นมิสเคอร์เวลเลอร์ได้เข้ามาในสนามและถอดหลอดแก้วด้วยตัวของเขาเองเพื่อที่ข้าพเจ้าจะได้เห็นการดึงดูดบ้าง ในการทดลองดังกล่าวนี้ใช้ความยาวของเชือกได้ถึงประมาณ 650 ฟุต ได้มีการทดลองซ้ำหลายครั้งแต่ทำการทดลองในตอนเย็น เป็นเวลานานจนน้ำค้างเริ่มตก การดึงดูดก็หยุดลง เป็นเพราะน้ำค้างที่ตกลงมา หรือเพราะข้าพเจ้าดูแรงมากนั้นเราไม่สามารถบอกได้ แต่ข้าพเจ้าคิดว่าน่าจะไม่ใช่เพราะสาเหตุหนึ่ง

ตอนนั้นนักวิทยาศาสตร์ทั้งสองประสบความสำเร็จแล้วในการทดลองว่าอำนาจไฟฟ้าสามารถถ่ายทอดไฟฟ้าได้ไกลถึง 650 ฟุตโดยเชือกบั่น และในการทำเช่นนั้นทำให้เกิดการถ่ายทอดผ่านเชือกกลางอากาศโดยซึ่งเชือกกระหว่างเสา ต่อมาทั้งสองก็ยังประสบความสำเร็จกับเชือกที่ยาวกว่านั้น และยังแสดงให้เห็นด้วยว่า อำนาจไฟฟ้าซึ่งถ่ายทอดจากหลอดที่มีอำนาจไฟฟ้า เดินทางไปบนเชือก 3 เส้น สู่ห้องรับแขกใหญ่ ห้องรับแขกเล็ก และห้องโถง ของเวลเลอร์ได้พร้อมๆกัน

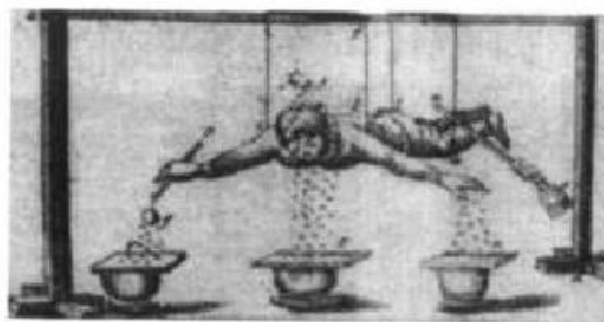
บางคนประหลาดใจว่าทำไมตอนหลังเขาจึงไม่เปลี่ยนจากหลอดแก้วและไม่เท้าแก้วมาเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบของฮอคสปี เพราะมันเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องและมีกำลังแรงสำหรับการทดลองเกี่ยวกับการนำไฟฟ้าของเขา อย่างไรก็ตามรายงานของเกรย์ไม่เคยกล่าวถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (แบบไดรโมอิเล็กตริก) ของฮอคสปี หรืออ้างถึงผลงานของฮอคสปีที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับงานของเขาเลย มีผู้กล่าวว่าเกรย์มีความรู้สึกว่าการทดลองของเขาถูกฉ้อโกงให้ช้าด้วยอิทธิพลของฮอคสปีที่มีต่อสมาคมวิทยาศาสตร์

เป็นสิ่งที่ควรกล่าวถึงว่าการค้นพบการนำไฟฟ้านั้น ตัวนำไฟฟ้าประกอบด้วยสารเช่นไม้เท้าแก้ว ไม้เส้นด้าย ซึ่งปัจจุบันเรารู้กันดีว่าเป็นตัวนำไฟฟ้าที่เลว บางทีความสำเร็จของการทดลองเหล่านั้นอาจจะเนื่องมาจากการทดลองในสภาพอากาศที่มีความชื้นซึ่งตัวนำไฟฟ้าถูกทำให้ขึ้น ยิ่งกว่านั้นเส้นด้ายและไม้ที่ค่อนข้างแห้งยังพอจะนำไฟฟ้าได้บ้าง ส่วนสิ่งที่เกรย์ถือว่าเป็นฉนวน เช่น เส้นไหมนั้นไม่เพียงแต่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่เลวเมื่อแห้งเหมือนด้ายเท่านั้น ไหมยังไม่สามารถดูดความชื้นในอากาศเข้ามาได้อีกด้วย



ในข้อความที่มีการกล่าวถึงในที่นี้แลนเกรย์ได้บรรยายถึงการทดลองอีกมากมายรวมทั้งที่การทดลองนำเด็กชายแขวนไว้บนเส้นไหม เมื่อนำแก้วที่มีอำนาจไฟฟ้ามาแตะที่เท้าของเด็กชาย หน้าของเขาสามารถดึงดูดเศษทองเหลืองได้ เกรย์สรุปว่าร่างกายของสัตว์สามารถนำไฟฟ้าได้ ในการทดลองต่อไปเขาได้เผชิญกับปรากฏการณ์ที่มีความสำคัญยิ่ง

ที่บ้านของมิสเตอร์กอดเฟรย์ ข้าพเจ้าได้ทำการทดลองเพื่อที่จะแสดงว่าอำนาจไฟฟ้าอาจถูกถ่ายทอดจากหลอดแก้วและเส้นด้ายโดยไม่ต้องสัมผัสเส้นด้าย ข้าพเจ้าได้ใช้เส้นด้ายจากผ้า เช่น ลินินที่ทำให้แห้งยาวประมาณ 11 ฟุตแขวนปลายบนไว้กับตะปูที่ตอกอยู่บนจันทันหรือซื่อในท้องเพดาน ปลายล่างของเชือกติดแขวนเหล็ก แล้วนำตุ่มน้ำหนักตะกั่ววงไว้วางเศษทองเหลืองไว้ใต้ตุ่มน้ำหนักนี้ เมื่อหลอดแก้วถูกถูแล้วนำมาใกล้ๆเส้นด้ายโดยไม่ให้สัมผัสเส้นด้าย ตุ่มน้ำหนักจะดูดและผลักเศษทองเหลืองหลายครั้งสูงประมาณ 3-4 นิ้ว เมื่อหลอดแก้วถูกถือห่างจากเส้นด้าย 3 หรือ 4 ฟุตจึงจะเกิดการดูด แต่ถ้าสูงกว่านี้ก็จะไม่เกิดการดูด



รูปที่ 12 การทดลองแขวนเด็กไว้บนเส้นด้ายของเกรย์

เกรย์พบว่าเมื่อนำหลอดแก้วที่ถูกถูเข้ามาใกล้แต่ ไม่สัมผัส วัตถุอื่นซึ่งในที่นี้คือเส้นด้ายที่มีตุ่มน้ำหนักผูกติดอยู่ ตุ่มน้ำหนักจะมีอำนาจไฟฟ้า ซึ่งเห็นได้จากการที่ตุ่มน้ำหนักสามารถดึงดูดเศษทองเหลืองได้ นี่ก็เป็นปรากฏการณ์เดียวกับการเกิดอำนาจไฟฟ้าด้วยการชักนำ (influence) ที่ฮอคลีได้พบเมื่อเขาถือภาชนะแก้วที่ถูกสูบลูกโป่งออกไปบางส่วน เข้าไปใกล้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเขาและเห็นแสงไฟเกิดขึ้น ซึ่งแสดงว่าภาชนะแก้วมีอำนาจไฟฟ้า สมมติฐานของฮอคลีก็คือภาชนะแก้วเกิดอำนาจไฟฟ้าโดยการกระทบกับไอที่ได้มาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่เกรย์กลับตรงกันข้าม ไม่ได้พยายามที่จะอธิบายสิ่งที่เขาสังเกตได้ในเรื่องเกี่ยวกับไอ ที่จริงแล้วเขาเอ่ยถึง “ไอ” ในรายงานของเขาน้อยมาก ในความคิดของเขานั้นเขาไม่คิดว่าไอมีบทบาทสำคัญแต่อย่างใด



เกรย์ได้รายงานการทดลองดังกล่าวข้างต้นในปี ค.ศ. 1729 และต่อจากนั้นก็หันความสนใจของเขาไปทำการทดลองอื่นๆ อีกหลายเรื่อง บางเรื่องได้บรรยายไว้แล้วให้ตอนต้นๆ แต่ในปี ค.ศ. 1732 เขาหันกลับมาศึกษาเรื่องการเกิดอำนาจไฟฟ้าด้วยการชักนำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเขาสนใจความสำคัญของเรื่องนี้มากกว่าฮอคสปี บางทีฮอคสปีอาจพบปรากฏการณ์ดังกล่าวในสภาพของการทดลองที่ยุงยากกว่าเกรย์ เกรย์ทำการทดลองต่อไปและสามารถแสดงให้เห็นได้ว่าสารหลายชนิดรวมแม้กระทั่งน้ำ สามารถถูกทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าดังชุดเครื่องมือวัดประจุไฟฟ้าของเขาได้ในขณะที่อยู่ใกล้หลอดแก้วที่ถูกดู ยิ่งกว่านั้นเขาทำให้เชือกเกิดอำนาจไฟฟ้าโดยการชักนำและแสดงให้เห็นว่าเชือกนั้นสามารถเหนี่ยวนำให้เชือกเส้นอื่นเกิดอำนาจไฟฟ้า แม้เชือกทั้งสองเส้นนั้นจะอยู่ห่างกันมากกว่า 1 ฟุตก็ตาม

จะสังเกตได้ว่าวัตถุแม้จะถูกกั้นจากสิ่งที่อยู่รอบตัวมัน ก็สามารถจะทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าได้ด้วยการชักนำได้ ทรายเท่าที่อยู่ใกล้วัตถุที่มีอำนาจทางไฟฟ้าอื่นๆ กล่าวโดยสรุปก็คือการเกิดอำนาจไฟฟ้านั้นเกิดขึ้นชั่วคราวซึ่งต่างจากการเกิดอำนาจไฟฟ้าโดยการนำ ดังเช่นเมื่อทำให้วัตถุเกิดอำนาจไฟฟ้าโดยการสัมผัสหรือเชื่อมต่อกับหลอดที่ถูกดู ซึ่งวัตถุแม้จะถูกกั้นจากสิ่งที่อยู่รอบๆ ก็ยังสามารถแสดงอำนาจไฟฟ้าได้แม้หลอดแก้วจะถูกนำออกไปแล้ว

ในฤดูใบไม้ร่วงของปีเดียวกัน คือปี ค.ศ. 1732 มีอักษรย่อ "F.R.S" ต่อท้ายชื่อของเกรย์เป็นครั้งแรกใน Philosophical Transactions แสดงว่าท้ายที่สุดเขาก็ได้รับแต่งตั้งให้เป็น "สมาชิกของสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งอังกฤษ" ในเวลา 12 ปีหลังจากที่รายงานแรกเกี่ยวกับการนำไฟฟ้าของเขาได้รับการพิมพ์เผยแพร่ ในช่วงเวลานั้นมีเพียงเกรย์และเวเลอร์เท่านั้นที่มีผลงานที่สำคัญสำหรับการศึกษาค้นคว้าในเรื่องนี้ อย่างไรก็ตามในปีต่อไป ค.ศ. 1773 ปรากฏว่าจะมีนักวิทยาศาสตร์คนใหม่ในฝรั่งเศสที่สนใจการทดลองของเกรย์โดยทำการทดลองของเกรย์ซ้ำบางการทดลองและได้ค้นพบสิ่งที่สำคัญมาก

5. การทดลองและการค้นพบของดูเฟย์ (Dufay)

ชาร์ลส์ ฟรังซัว เดอ ซิลเทอร์เน ดูเฟย์ หรือดูเฟย์ (ค.ศ. 1698-1739) เดิมเป็นทหารแต่เนื่องจากมีสุขภาพไม่ดีเขาจึงกลับไปเป็นทูต และต่อมาเป็นนักวิทยาศาสตร์ ซึ่งได้อุทิศเวลาตลอดช่วงหลังของชีวิตในการศึกษาค้นคว้า เขาแตกต่างจากสตีเฟน เกรย์มากในการที่ได้รับการศึกษาและมีประสบการณ์ที่กว้างมากกว่าในฐานะของสมาชิกของสมาคมวิทยาศาสตร์ฝรั่งเศส เขาประสบความสำเร็จในการทำให้ตัวเองมีชื่อเสียงในวิทยาศาสตร์สาขาต่างๆ ซึ่งสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งฝรั่งเศสในสมัยของเขาให้ความสนใจทุ่มเทการสนับสนุนให้ศึกษา ซึ่งได้แก่เรขาคณิต ดาราศาสตร์ ฟิสิกส์ เคมี พฤกษศาสตร์ และกายวิภาคศาสตร์



ช่วงฤดูใบไม้ผลิปี ค.ศ. 1733 ดูเฟย์เรียนรู้เกี่ยวกับผลงานของเกรย์เป็นครั้งแรก และเขาเริ่มทำการทดลองในทำนองเดียวกันทันที ในเดือนธันวาคมของปีเดียวกันเขาก็ได้เตรียมข้อสรุปเกี่ยวกับผลงานการวิจัยเกี่ยวกับไฟฟ้าที่เขาทำได้สำเร็จในช่วงเวลาอันสั้น และส่งไปเพื่อเสนอผลงานที่สมาคมวิทยาศาสตร์ของอังกฤษซึ่งดูเฟย์เป็นสมาชิกอยู่ จดหมายนี้ได้บรรยายถึงการทดลองและการค้นพบของดูเฟย์ซึ่งน่าสนใจที่สุดสำหรับเรา และได้มีการแปลเป็นภาษาอังกฤษในไม่ช้าและพิมพ์เผยแพร่ใน Philosophical Transactions ในปี ค.ศ. 1734

จดหมายจากมิสเตอร์ดูเฟย์ สมาชิกของสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งอังกฤษ และสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งฝรั่งเศส เสนอต่อเจ้าฟ้าชายชาร์ลส์ ดยุกแห่งบริมมอนด์และเลนออกซ์เกี่ยวกับไฟฟ้า แปลจากภาษาฝรั่งเศส

ปารีส ธันวาคม 27, 1733

ท่านที่เคารพ

ถ้าข้าพเจ้าจะยกย่องตัวเองว่าเป็นผู้ค้นพบเกี่ยวกับไฟฟ้าในวัตถุ ท่านก็คงประหลาดใจ และคงจะไปรดให้ข้าพเจ้าได้ขอเสนอเรื่องนี้ต่อสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งอังกฤษ โดยข้าพเจ้าเป็นหนี้การศึกษาค้นคว้าในเรื่องนี้ของมิสเตอร์เกรย์และมิสเตอร์ฮอคสปี ไม่เพียงในฐานะสมาชิกของสมาคมฯ แต่ในผลงานของเขาที่ทำให้ข้าพเจ้าเกิดความสนใจในเรื่องนี้ และให้แนวทางที่ทำให้ข้าพเจ้าได้ค้นพบสิ่งต่อไปนี้

ประการแรก ข้าพเจ้าได้ค้นพบว่า วัตถุทุกชนิด (โดยเฉพาะโลหะและสิ่งที่ยืดหยุ่น หรือของเหลว) สามารถทำให้เกิดอำนาจทางไฟฟ้าได้ โดยตอนแรกเผาให้ร้อนและถูมันด้วยผ้าชนิดใดก็ได้ ดังนั้นหินทุกชนิด ทั้งที่มีค่าหรือหินทั่วไป ไม่ทุกชนิด และกล่าวโดยสรุปก็คือทุกสิ่งทุกอย่างที่ข้าพเจ้าได้ทดลองจะเกิดสมบัติทางไฟฟ้าได้ด้วยการเผาและถู

นี่คือบัญชีสารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าที่สมบูรณ์ที่สุดซึ่งเริ่มโดยกิลเบิร์ตก่อนปี ค.ศ. 1600 โดยการทดลองกับสารต่างๆหลายชนิดรวมทั้งที่นักวิทยาศาสตร์คนก่อนๆไม่สามารถทำให้เกิดคุณสมบัติทางไฟฟ้าได้ ดูเฟย์ก็ทำให้บัญชีนั้นมีสารอีกหลายชนิดเพิ่มเติมขึ้น ซึ่งถ้าไม่มีการค้นคว้าเพิ่มจากเท่าที่รู้เดิมอาจจะไม่มีประโยชน์เท่าใดนัก เขาได้พบว่าสารบางอย่างไม่สามารถทำให้เกิดไฟฟ้าได้นอกจากจะต้องทำให้แห้งสนิทบางอย่างเช่น สารที่ทำจากยางไม้จะอ่อนตัวเมื่อถูกถู ดังนั้นการถูนานๆก็ทำให้ลำบาก ซึ่งสำหรับโลหะนั้น ยกเว้น แต่อีกประการหนึ่งก็คือทุกสิ่งที่สามารถถูได้นั้นสามารถทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าได้



ประการที่ 2 ด้วยการได้อ่านจดหมายของมิลเคอร์เกรย์ (*Philosophical Transactions*, 1732) ที่ว่าน้ำสามารถเกิดไฟฟ้าได้โดยการถือหลอดแก้วที่ถูกฉีกไว้ใกล้ๆ (ซึ่งเป็นการทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าด้วยการชักนำ) นั้นข้าพเจ้าพบว่าสิ่งนี้เกิดขึ้นกับวัตถุทุกชนิดโดยไม่มีข้อยกเว้นไม่ว่าวัตถุนั้นจะเป็นของแข็งหรือของเหลว เพื่อจะทดสอบความจริงนี้จึงได้วางวัตถุนั้นที่วางแก้วที่ทำให้ร้อนหรือแห้งเพียงเล็กน้อย และโดยการนำหลอดแก้ว (ที่มีอำนาจไฟฟ้า) เข้ามาใกล้มันจะเกิดสมบัติทางไฟฟ้าขึ้นมาทันที ข้าพเจ้าได้ทำการทดลองนี้กับน้ำแข็ง ไม้ใบๆ ถ่านหิน และกับทุกอย่างที่ข้าพเจ้าสามารถจะคิดขึ้นมาได้ และข้าพเจ้าก็ได้พบเสมอว่าวัตถุที่ตัวของมันเองมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าน้อยมากนั้นจะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมากเพื่อนำหลอดแก้วที่มีอำนาจไฟฟ้าเข้าไปใกล้

นี่เป็นการสังเกตที่สำคัญแต่สิ่งที่สำคัญที่สุดนั้นรอดพ้นจากการสังเกตของเขาไปดังที่เราจะเห็นต่อไปในไม่ช้านี้ ซึ่งสิ่งที่กล่าวถึงนั้นจะเป็นกุญแจไปสู่ความเข้าใจอย่างสมบูรณ์ขึ้นยิ่งกว่าข้อสังเกตใดๆ ที่นักวิทยาศาสตร์ในอดีตเคยพบมาก่อนเกี่ยวกับเรื่องที่ว่าวัตถุที่ถูกดูสามารถดึงดูดวัตถุอื่นได้

ประการที่ 3 มิลเคอร์เกรย์ได้กล่าวไว้ในตอนท้ายของจดหมายฉบับที่ 2 (ใน *Philosophical Transactions*) ของเขาว่าวัตถุดึงดูดมากขึ้นหรือน้อยลงตามสีของมัน สมมติฐานนี้ชักนำให้ข้าพเจ้าทำการทดลองหลายการทดลอง ข้าพเจ้าใช้ริบบิ้นไหม ๑ เส้นที่มีขนาดเท่ากัน เส้นหนึ่งเป็นสีขาว อีกเส้นหนึ่งเป็นสีดำ ส่วนอีก 7 เส้นเป็นสีแดงที่เกรย์ใช้ อีก 7 สีแสดเป็นแถวเรียงลำดับบนหลอด เมื่อนำหลอดแก้วที่ถูกฉีกเข้าไปใกล้ ด้ายสีดำจะถูกดึงดูดก่อน ถัดไปเป็นสีขาว และสีอื่น ๆ ก็จะถูกดึงดูดๆ ไปตามลำดับ จนถึงสีแดงซึ่งเป็นสีที่ถูกดึงดูดท้ายที่สุด ผลที่เกิดขึ้นนี้ในตอนแรกทำให้ข้าพเจ้าคิดว่าสีมีผลต่อการเกิดอำนาจไฟฟ้าเป็นอย่างมาก แต่การทดลองต่อมาทำให้ข้าพเจ้าแน่ใจว่าผลที่ได้มันตรงกันข้าม (ถ้าริบบิ้นถูกดูดก่อน) สีดำและสีขาวจะไม่ถูกดูดมากกว่าสีอื่น ๆ ถ้าริบบิ้นเปียก ทุกสีจะถูกดูดด้วยแรงเท่ากัน...ถ้าสีของแสงจากปริซึมส่องกระทบสำลีสีขาวแต่ละสีก็ไม่ทำให้สำลีสีเกิดแรงดึงดูดต่างกัน เมื่อสีไม่ได้ทำให้เกิดการดึงดูดแตกต่างกัน แสดงว่าต้นเหตุต้องมาจากสารที่ใช้ขั้วทำให้เกิดสี ข้าพเจ้าจึงข้อมสรีบบิ้นโดยดูด้วยถ่านหรือสีแดงเข้มจากพืชและสีจากสารอื่น ๆ ก็ปรากฏว่าแม้จะมีสีเช่นเดิม แต่การดึงดูดของริบบิ้นก็แตกต่างไปจากเดิมเมื่อใช้สารขั้วต่างกัน

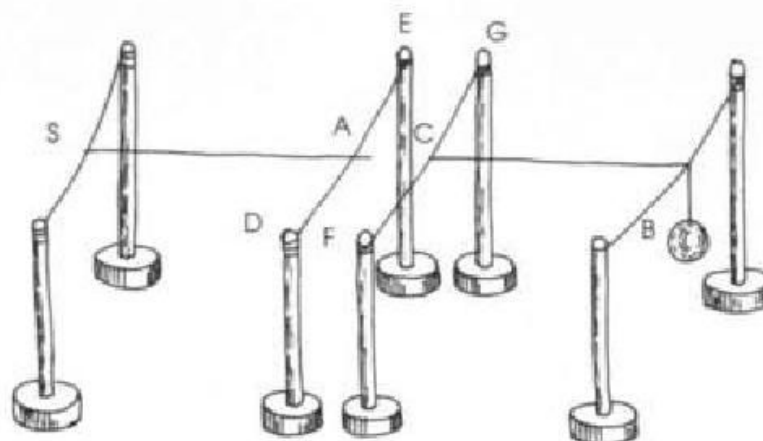


การทดลองกับสีของวัตถุของเกรย์นั้นเป็นเรื่องที่น่าสนใจสำหรับดูเฟย์ที่จะทำการทดลองต่อไป เพราะถ้าพบว่าสีมีอิทธิพลต่ออำนาจแรงดึงดูดทางไฟฟ้าของสารแล้วละก็หมายความว่าจะต้องมีความสัมพันธ์บางอย่างระหว่างแสงและไฟฟ้า เราเห็นแล้วว่าในการทดลองครั้งแรกของดูเฟย์เกี่ยวกับรีบบิ้นสีต่างๆ ได้ผลการทดลองที่สนับสนุนความคิดของเกรย์ อย่างไรก็ตามในรายงานฉบับหนึ่งของเขาที่พิมพ์เผยแพร่ใน *Mémoires* ของสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งฝรั่งเศส ดูเฟย์ได้แย้งว่าถ้าสีเพียงอย่างเดียวทำให้เกิดความแตกต่างในการดึงดูดของสารได้ไม่ว่าสีนั้นจะเกิดจากสารธรรมชาติหรือสารสังเคราะห์ก็ควรจะเหมือนกัน ดังนั้นเขาจึงทดลองกับใบไม้และกลีบดอกไม้อหลายชนิด และพบว่ามันดึงดูดได้ดีเท่าๆกันไม่ว่าจะมีสีอะไร

ต่อไปเมื่อย้อนกลับมาที่รีบบิ้นสีต่างๆ เขาสังเกตพบว่าหลังจากที่ได้ทำให้ร้อนและเปียก ทุกสีจะมีแรงดึงดูดได้ดีเท่าๆกัน ท้ายที่สุดเพื่อที่จะทดสอบกับผลของสีที่บริสุทธิ์แยกจากสีย้อม เขาได้ทดลองให้แสงอาทิตย์ผ่านแก้วปริซึมเพื่อให้เกิดสเปกตรัมของแสงสีต่างๆบนสาลีสีขาว แต่สาลีที่ได้รับแสงแต่ละสีจะมีแรงดึงดูดเท่าๆกันไม่ว่าจะเป็นสีอะไร ดังนั้นเขาจึงสรุปจากการทดลองนี้และการทดลองอื่นๆว่าสีไม่ใช่สาเหตุที่สำคัญ ความแตกต่างของแรงดึงดูดของวัตถุสีต่างๆที่ปรากฏครั้งแรกนั้นเนื่องมาจากน้ำจากสีย้อมที่ติดอยู่ในรีบบิ้นสีต่างๆไม่เท่ากัน

ประการที่ 4 การทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าจากการชักนำด้วยหลอดแก้วที่ถูกฉีกผ่านทางเส้นด้ายที่มีสเตอร์เกรย์ได้ทำการทดลองนั้น ข้าพเจ้าสังเกตว่าการทดลองจะได้ผลดีขึ้นเมื่อเชือกเปียกและใช้หลอดแก้วมารับน้ำหนักเส้นด้าย แทนที่จะใช้เส้นไหมรับน้ำหนัก ข้าพเจ้าทำการทดลองได้ผลกับเชือกที่ยาวถึง 1,250 ฟุตในสวน... (ต่อไป) ข้าพเจ้าได้ใช้เชือก 2 เส้นให้ปลายทั้งสองของเชือกทั้งสองเส้นนั้นอยู่ห่างกัน 1 ฟุต และพบว่าสมบัติทางไฟฟ้าก็ยังสามารถถ่ายทอดคู่กันไต่ระหว่างเชือกทั้งสองเส้น ต่อจากนั้นข้าพเจ้าจึงได้พบใน *Philosophical Transactions* (1732) ว่ามีสเตอร์เกรย์มีความคิดเดียวกันและได้ทำการทดลองเช่นเดียวกัน โดยใช้แท่งแก้ว

แม้ว่าการทดลองแรกใน 2 การทดลองนี้คล้ายคลึงกับการทดลองหลายๆการทดลองเกี่ยวกับไฟฟ้าโดยการนำสมบัติไฟฟ้าผ่านกลุ่มด้ายของเกรย์มาใช้ ดูเฟย์ก็สามารถจะได้ข้อมูลใหม่ 2 ประการคือ ก) ด้ายเปียกจะนำไฟฟ้าได้ดีกว่าด้ายแห้ง (ซึ่งสนับสนุนสมมติฐานของเราที่ว่ากลุ่มด้ายของเกรย์นำไฟฟ้าได้ดีเพราะอากาศมีความชื้น) ข) แก้วก็เช่นเดียวกับไหมที่เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ช่วยให้ไฟฟ้าไม่ออกไปจากเชือกการทดลองที่ 2 นั้นคล้ายกับการทดลองของเกรย์กับเชือก 2 เส้นวางไว้ใกล้ๆกันโดยไม่สัมผัสกัน รูปที่ 13 ซึ่งแสดงการจัดการทดลองนี้ได้มาจากรายงานฉบับหนึ่งของดูเฟย์



รูปที่ 13 ลวดนำไฟฟ้า 2 เส้น SA และ CB ยาว 6 และ 8 ฟุต ตามลำดับ พาดอยู่บนเส้นไหมที่ขึงในแนวขวาง DE และ FG เมื่อหลอดแก้วที่ถูกถูด้วยผ้าที่ปลาย S ของลวดเส้นหนึ่ง ลูกบอล B ที่อยู่ที่ปลายอีกด้านหนึ่งของลวดอีกเส้นหนึ่งเกิดอำนาจไฟฟ้าขึ้นได้ ซึ่งแสดงให้เห็นได้จากเครื่องวัดประจุหรือเล็กโตรสโคปที่นำไปไว้ใกล้ๆ มัน (ดูเฟย์, *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences* (1733), p. 254)

เราจะข้ามรายงานต่อไปหรือตอนที่ 5 ของจดหมายของดูเฟย์ไป ซึ่งเขาได้อธิบายว่าเขาได้ “แขวน” เด็กบนเส้นไหมและทำการทดลองตาม “มิสเตอร์เกรย์บรรยายไว้ทุกประการ” และต่อจากนั้นได้แขวนตัวเขาเองแทนเด็กแล้วทำการทดลองในทำนองเดียวกัน

ตอนที่ 6 ที่ตามมานั้นเป็นการทดลองที่นักวิทยาศาสตร์ทางด้านไฟฟ้าอ้างถึงกันเป็นครั้งแรก อย่างน้อยที่สุดก็ในฝรั่งเศสหรืออังกฤษ ว่าเป็นการทดลองของออตโต ฟอน เกอริค (Otto von Guericke) เมื่อ 50 ปีก่อนหน้านี้ ที่ว่าหลังจากที่ขนนกถูกดูดติดลูกกลมซิลเฟอร์ที่ถูกถูแล้ว ขนนกจะถูกผลักออกมา และลูกกลมจะไม่สามารถดูดขนนกได้อีก จนกว่าจะนำไปแตะกับวัตถุอื่นที่ไม่มีอำนาจไฟฟ้า เราคงจะจำได้ว่าฮอคลปีได้บรรยายถึงการทดลองที่คล้ายคลึงกันซึ่งทดลองกับเศษทองเหลือง ตอนนี้จะเห็นได้ว่าดูเฟย์ได้ทำการทดลองกับเศษทองเหลืองและได้พบสิ่งที่สำคัญที่แตกต่างไปจากนักวิทยาศาสตร์คนก่อนๆ



รูปที่ 14 ออตโต ฟอน เกอริก

ประการที่ 6 ในการทดลองเกี่ยวข้องกับที่ ออตโต ฟอน เกอริกได้ทำไว้ในชุดการทดลอง *de Vocuo Spatio* (1672) ซึ่งลูกกลมซิลเฟอร์ไม่ดึงดูดชนนกที่ตกลงไปสัมผัสวัตถุที่ไม่มีอำนาจไฟฟ้าขึ้นมาใหม่อีก ข้าพเจ้าพบว่าผลการทดลองเช่นเดียวกันนี้เกิดขึ้นได้กับวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นหลอดแก้วที่ถูกถูหรืออะไรก็ตาม และได้ค้นพบว่ากฎเกณฑ์ง่าย ๆ ที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวก็คือวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าจะดึงดูดวัตถุที่ตัวเองไม่มีอำนาจไฟฟ้าและผลักวัตถุนั้นทันทีที่วัตถุนั้นมีอำนาจไฟฟ้า (โดยการนำไฟฟ้าของมัน) ดังนั้นตอนแรกเศษทองจึงถูกดึงดูดด้วยหลอดแก้วที่ถูกถู หลังจากที่ได้รับอำนาจไฟฟ้าโดยการนำจากหลอดแก้วแล้ว เศษทองก็จะถูกผลักโดยหลอดแก้วทันที และจะไม่ถูกดูดกลับเข้าไปอีกในขณะที่มันยังมีอำนาจไฟฟ้าอยู่ แต่ถ้าเศษทองนั้นเกิดไปสัมผัสกับวัตถุอื่นที่ไม่มีอำนาจไฟฟ้า มันจะเสียอำนาจไฟฟ้าไปและถูกดูดกลับโดยหลอดแก้วเข้าไปใหม่ถ้าอำนาจไฟฟ้ามาใหม่ จะถูกผลักออกมาอีก เป็นอยู่เช่นนี้ไปเรื่อย ๆ ทรายที่หลอดแก้วยังมีอำนาจไฟฟ้าอยู่ หลังจากได้ใช้กฎนี้อธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทางไฟฟ้าแล้วก็จะสามารถแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่น่าสงสัยหรือยังไม่กระจ่างทางไฟฟ้าได้อย่างแจ่มแจ้งได้หลายประการ...



ตอนนี้ดูเพย์ได้ตั้งสมมติฐานในระดับที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งยังสามารถพิสูจน์ได้ว่าถูกต้องมาจนกระทั่งทุกวันนี้ : ถ้าวัตถุที่ไม่มีอำนาจไฟฟ้าเข้ามาสัมผัสกับวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าจนถูกนำไปเกิดอำนาจไฟฟ้าขึ้นในตัวมันได้แล้ว มันจะถูกผลึกและมันจะไม่ถูกดูดเข้าไปใหม่จนกว่ามันจะสูญเสียอำนาจไฟฟ้าที่ได้รับมาให้กับสารอื่น ที่มันไปสัมผัส แม้ว่าดูเพย์จะทำให้เป็นที่กระจ่างแล้วว่าสมมติฐานนี้หรือที่เขาเรียกว่าหลักการนี้ได้มาจากการทดลองของเขาและแนวคิดของเกรย์เกี่ยวกับการนำไฟฟ้า ผลงานที่ยิ่งใหญ่ของเขาอยู่ที่การใช้การค้นพบนี้ในการแปลผลการทดลองและได้แนวคิดใหม่ที่สมบูรณ์ การผลึกจะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุทั้งสองต่างก็มีอำนาจไฟฟ้า โดยที่วัตถุหนึ่งได้รับการนำไปเกิดไฟฟ้าจากอีกวัตถุหนึ่ง เขาได้มาซึ่งสมมติฐานนี้อย่างไรนั้นเขาไม่ได้กล่าวไว้ และก็เป็นที่ยกย่องกันจนกระทั่งถึงปัจจุบันนี้ว่าเขาอาจจะได้สมมติฐานนี้มาจากการรวบรวมความรู้จากผลการทดลองของนักวิทยาศาสตร์หลายคนหลายศตวรรษก็ได้ เรายังคงมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการทางความคิด ที่เกี่ยวกับความคิดสร้างสรรค์อยู่น้อย

ในรายงานฉบับหนึ่งของเขาที่เสนอต่อสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งฝรั่งเศสนั้น ดูเพย์ได้ทำการทดลองต่อไปและพยายามที่จะอธิบายเกี่ยวกับการผลึกทางไฟฟ้าตามอย่างการคาดเดาเกี่ยวกับธรรมชาติของสารและไฟฟ้าในยุคนั้น แนวคิดที่แพร่หลายในฝรั่งเศสในยุคนั้นคือ สารที่มีอำนาจไฟฟ้าจะถูกล้อมรอบอยู่ด้วย “โอบวงๆ” ที่เคลื่อนไปมาบางทีก็โดยการหมุนเป็นวงเข้าสู่ศูนย์กลางแบบวงน้ำวน และเมื่อมีวัตถุใดๆ เข้ามาอยู่ภายในบริเวณนี้ก็จะดูดเข้าหาสารที่มีอำนาจไฟฟ้า และเนื่องจากการค้นพบการนำไฟฟ้าโดยเกรย์ จึงเชื่อกันว่าโอบวงนี้สามารถแยกตัวออกไปจากสารที่มีอำนาจไฟฟ้าได้ บางส่วนของมันจะผ่านไปสู่วัตถุอื่น ถ้าวัตถุอื่นนั้นสัมผัสกับสารที่มีอำนาจไฟฟ้า แต่หลักการนี้จะอธิบายปรากฏการณ์ที่ว่าหลังจากสัมผัสกันแล้ววัตถุทั้งสองนั้นเกิดการผลึกกันได้อย่างไร ในรายงานของดูเพย์ได้ชี้แนะคำตอบที่เป็นไปได้เอาไว้ว่าโอของสารอาจจะมีการผลึกกันเอง โอส่วนที่ไปอยู่กับวัตถุอื่นจะผลึกโอที่อยู่กับวัตถุเดิมออกไป ดังนั้นวัตถุทั้งสองจึงผลึกออกจากกัน แนวคิดหลายๆแนวคิดรวมทั้งประสบการณ์ของเขาเองทำให้เกิดคำถามใหม่ขึ้นมา 2 คำถามในความคิดของเขา

ดังนั้นก็เป็นสิ่งที่แน่นอนว่าวัตถุที่ทำให้มีอำนาจทางไฟฟ้า (โดยการนำ) แล้วจะถูกผลึกโดยวัตถุที่ให้อำนาจไฟฟ้าแก่มัน แต่มันจะถูกผลึกด้วยวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าอื่นในลักษณะเช่นเดียวกันหรือไม่ และวัตถุที่ถูกทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าแต่ละชนิดจะแตกต่างกันหรือไม่ในการเก็บรักษาความแรงของอำนาจไฟฟ้าที่ได้รับไว้ การตรวจสอบความจริงในเรื่องนี้ทำให้ข้าพเจ้าค้นพบสิ่งที่ข้าพเจ้าไม่เคยคาดคิดมาก่อน ซึ่งข้าพเจ้าเชื่อว่าไม่มีผู้ใดเคยมีความคิดในสิ่งนี้มาก่อนเลยแม้แต่คนเดียว



“การตรวจสอบในเรื่องนี้” ของคูเพย์ดังที่ได้บรรยายไว้ในรายงานฉบับหนึ่งของเขานั้นเป็นวิธีการทดลองตรวจสอบสมมติฐานดังกล่าว โดยทำให้แผ่นทองคำเกิดอำนาจไฟฟ้าด้วยการให้สัมผัสกับหลอดแก้วที่ถูกดู ซึ่งแผ่นทองคำจะถูกผลักโดยหลอดแก้วและลอยอยู่ในอากาศเหนือหลอดแก้ว เมื่อนำเศษชิ้นซึ่งเป็นยางพืชรឹងๆเข้าไปใกล้แผ่นทองคำนี้มันจะดูดแผ่นทองคำ เขาเขียนไว้ว่า “ข้าพเจ้าคาดว่า จะเกิดปรากฏการณ์ที่ตรงกันข้าม เพราะตามเหตุผลของข้าพเจ้านั้น ยางพืชรឹងและแผ่นทองคำซึ่งต่างก็ถูกทำให้มีอำนาจไฟฟ้าทั้งคู่ น่าจะผลักรัน”

แต่ตอนนี้เขากำลังสังเกตพบปรากฏการณ์ที่ตรงกันข้ามกับที่รู้กันมาก่อนเกี่ยวกับสมบัติของสารที่ถูกทำให้มีอำนาจทางไฟฟ้า เขาเขียนว่า “สิ่งที่ปรากฏนั้นขัดแย้งกับความคาดคะเนของข้าพเจ้า” แม้กระนั้น การทดลองต่อไปของเขากับสารอื่นๆนานาชนิดก็ทำให้เขาต้องเชื่อว่าเขากำลังเผชิญกับผลที่เกิดขึ้นใหม่อย่างแท้จริง เขาได้สรุปการตีความปรากฏการณ์เหล่านี้ไว้ในตอนที่ 7 และตอนสุดท้ายของจดหมายที่เขาเขียนถึงดยุกแห่งริชมอนด์และเลนออกซ์นั้นก็คือ

ประกาศที่ 7 ข้าพเจ้าบังเอิญได้ค้นพบหลักการใหม่อีกหลักการหนึ่ง ซึ่งกว้างขวางกว่าและสำคัญกว่าหลักการที่มีมาก่อนและให้แสงสว่างต่อวิชาไฟฟ้า หลักการนี้ก็คือ มีไฟฟ้าที่แตกต่างกันอยู่ 2 ชนิดซึ่งแตกต่างกันเป็นอย่างมาก เรียกว่าไฟฟ้าจากแก้ว (vitreous electricity) และไฟฟ้าจากยางไม้ (resinous electricity) ไฟฟ้าจากแก้วก็คือจากแก้วผลึกแร่ อัญมณี ขนสัตว์ ผ้าที่ทำจากขนสัตว์ และวัตถุอื่นๆ อีกหลายอย่างที่ถูกต้อง ไฟฟ้าจากยางพืชรឹង ได้แก่ อำพัน ขัน ยางไม้ ครั่ง ไหม ด้าย กระดาษ และสารอื่นๆ อีกหลายชนิดที่ถูกต้อง

สมบัติของสารที่มีอำนาจไฟฟ้าทั้งสองชนิดนี้ วัตถุที่จัดเป็น “ไฟฟ้าจากแก้ว” จะผลักวัดุดในพวกเดียวกันทุกชนิดที่มีอำนาจไฟฟ้า และตรงกันข้ามจะดูดวัตถุที่จัดเป็น “ไฟฟ้าจากยางไม้” ทุกชนิด ดังนั้นหลอดแก้วที่ถูกดูจะผลักรัน แก้ว ผลึกแร่ ขนสัตว์ และอื่นๆ ที่ถูกต้อง และจะดูดไหม ด้าย กระดาษ และอื่นๆที่ถูกต้อง ริบบิ้นไหม 2 เส้นที่ถูกทำให้มีอำนาจทางไฟฟ้าด้วยการถูจะผลักรันเองเช่นกัน แต่ด้ายจากขนสัตว์ที่ถูกต้องและเส้นไหมที่ถูกต้องจะดูดซึ่งกันและกัน หลักการนี้สามารถอธิบายได้โดยธรรมชาติว่าเพราะเหตุใดปลายของเส้นไหมและเส้นด้ายจากขนสัตว์จึงถอยห่างออกจากกัน (เหมือนขนของแปรง) เมื่อถูกกระตุ้นให้เกิดอำนาจทางไฟฟ้า จากหลักการนี้อาจจะใช้อธิบายปรากฏการณ์อื่นๆอีกมากมาย และบางทีจากความจริงนี้จะช่วยให้เราสามารถค้นพบสิ่งต่างๆได้อีกมาก



เพื่อที่จะศึกษาว่ามีอะไรบ้างที่จัดอยู่ในไฟฟ้า 2 ประเภทนี้ ก็เพียงแต่ดูเส้นไหมให้เกิดอำนาจไฟฟ้าซึ่ง “เป็นประเภทไฟฟ้าจากยางพารา” และวัตถุที่สงสัยให้เกิดอำนาจไฟฟ้า แล้วดูว่าวัตถุที่สงสัยนั้นจะถูกดูดหรือถูกผลักด้วยเส้นไหมดังกล่าว ถ้าวัตถุนั้นถูกดูดก็แสดงว่าเป็นวัตถุที่ถูกทำให้มีอำนาจทางไฟฟ้าประเภทไฟฟ้าจากแก้วได้ แต่ตรงกันข้ามถ้าวัตถุนั้นถูกผลักก็แสดงว่าวัตถุนั้นถูกทำให้มีอำนาจทางไฟฟ้าประเภทเดียวกับเส้นไหมคือไฟฟ้าจากยางได้

ข้าพเจ้าได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการรักษาอำนาจไฟฟ้าของวัตถุด้วยเช่นเดียวกัน เพราะว่าถ้าลูกกลมจากขี้ผึ้งหรือลูกกลมไม้ถูกวางบนแท่นแก้วที่ถูกทำให้มีอำนาจไฟฟ้า (โดยการนำ) จากหลอดแก้วที่ถูกดู ลูกกลมทั้งสองจะต้องผลักรวมกันทุกชนิดที่หลอดแก้วผลักได้ แต่ถ้าลูกกลมหนึ่งถูกทำให้เกิดอำนาจทางไฟฟ้าโดยให้สัมผัสกับแท่งทรงกระบอกของยางหรือครั้ง ก็จะทำให้เกิดผลตรงกันข้าม คือจะเป็นเช่นเดียวกับที่ยางที่ถูกดู ในการทดลองนี้วัตถุ 2 ประเภท คือยางและแก้วจะต้องได้รับอำนาจไฟฟ้ามากที่สุดเท่าที่จะมากได้ คือ ถ้าหากประเภทหนึ่งไม่ได้รับอำนาจไฟฟ้าเลยหรือได้รับน้อย ก็จะถูกดูดโดยอีกประเภทหนึ่ง แม้ว่าที่จริงแล้วตามธรรมชาติจะต้องถูกผลัก การทดลองจะประสบผลสำเร็จอย่างสมบูรณ์เสมอถ้าวัตถุทั้งสองประเภทนั้นถูกทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าอย่างเพียงพอ

ข้าพเจ้ามีวิธีหลายวิธีที่จะค้นพบธรรมชาติของไฟฟ้าในวัตถุต่างๆ แต่จุดหมายของข้าพเจ้านั้นยาวพอแล้ว และการออกแบบการทดลองของข้าพเจ้าก็เพียงพอให้พระองค์ทรงสามารถที่จะสกัดข้อมูลจากการทดลองที่ข้าพเจ้าได้ทำเมื่อปีที่แล้วเท่านั้น ข้าพเจ้าขอให้ท่านติดต่อไปที่สมาคมวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะกับมิสเตอร์เกรย์ผู้ซึ่งทำการศึกษาค้นคว้าในเรื่องนี้ ด้วยการปฏิบัติทดลองอย่างจริงจังและประสบผลสำเร็จดียิ่ง และเป็นผู้ที่ข้าพเจ้ารู้สึกยกย่องว่าตัวเองเป็นหนี้ผลงานของเขา ช่วยให้ข้าพเจ้าสามารถค้นพบข้อมูลที่สำคัญดังกล่าวแล้วและที่ข้าพเจ้าอาจจะค้นพบต่อไป เพราะจากรายงานของเขานั้นข้าพเจ้าได้นำมาใช้ในการทดลองของข้าพเจ้าในเรื่องนี้

ข้าพเจ้ารู้สึกเป็นเกียรติที่ได้ติดต่อกับผู้ที่ข้าพเจ้าเคารพและมีความจริงใจด้วยเป็นที่สุด

ข้าพเจ้า

ผู้รับใช้ที่จงรักภักดีที่สุดของท่าน

ดูเฟย์



ในย่อหน้าสุดท้ายของดูเฟย์นี้ ได้บรรยายถึงการค้นพบที่ยิ่งใหญ่ที่สุดของเขามีก้อนที่มีอำนาจไฟฟ้าอยู่ 2 ประเภท และวัตถุ 2 ชนิดที่มีอำนาจไฟฟ้าประเภทเดียวกันจะผลักรัน ส่วนวัตถุ 2 ชนิดที่มีอำนาจไฟฟ้าต่างประเภทกันจะดึงดูดกัน เขาได้เพิ่มเติมไว้ในที่อื่นว่าเพื่อที่จะ “หลีกเลี่ยงความสับสนในการใช้ศัพท์และความยุ่งยากที่จะต้องให้นิยามอยู่เสมอกับผู้ซึ่งพาเขาให้คำอธิบาย” การใช้คำว่า “แบบแก้ว” กับวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าประเภทหนึ่ง และใช้คำว่า “แบบยางไม้” กับวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าอีกประเภทหนึ่งนั้น

“ไม่ใช่เพราะข้าพเจ้าคิดว่าวัตถุที่มีสมบัติเหมือนแก้วเท่านั้นที่จะจัดอยู่ในประเภทนี้และวัตถุที่มีคุณสมบัติเหมือนยางพาราเท่านั้นที่จะจัดอยู่ในประเภทนี้ แต่เพราะแก้วและยางพาราเป็นสาร 2 ประเภทที่ข้าพเจ้าได้ค้นพบก่อนในการศึกษาค้นคว้าสารอื่นๆ ที่จัดอยู่ในแต่ละประเภทของทั้งสองประเภทนั้น”

ตอนนี้เราอาจจะสรุปได้ว่าหลักการที่สำคัญที่ดูเฟย์หรืออาจจะเป็นคนอื่นด้วยได้ค้นพบนั้นสามารถที่จะพิสูจน์ได้ด้วยหลักฐานข้อมูลที่ค่อนข้างแน่นอนมากกว่า

1) วัตถุทุกชนิดนอกจากโลหะและสารที่อ่อนเหลวสามารถทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าได้ด้วยการถู และมีสมบัติทางไฟฟ้า (อย่างไรก็ตามในตอนแรกๆในการศึกษาค้นคว้าของเกรย์ก็เป็นที่ยึดเหนี่ยวแล้วว่า แม้แต่โลหะและสารที่อ่อนเหลวก็สามารถจะทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าได้ ยิ่งกว่านั้นดังเป็นที่รู้กันในปัจจุบันก็คือการที่กล่าวว่าสามารถทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้า “โดยการถู” หรือ “โดยการเสียดสี” นั้นทำให้เกิดความเข้าใจผิด เพราะหมายถึงว่าแรงจากการถูหรือจากการเสียดสีนั้นเป็นตัวทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้า แต่ที่จริงแล้วการถูวัตถุหนึ่งไปบนอีกวัตถุหนึ่งก็ทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าได้เท่าๆกันหรือมากกว่าการถูวัตถุไปอย่างแรงๆ การถูหรือการถูทำให้เกิดไฟฟ้าเพียงช่วยทำให้วัตถุทั้งสองที่ต่างกันสัมผัสกันเป็นบริเวณกว้าง กล่าวโดยย่อสิ่งที่เรียกว่า ไตรโบอิเล็กทริฟิเคชัน (triboelectrification) หรือการทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้า “โดยการถู” หรือ “โดยแรงเสียดทาน” นั้นเกิดจากการสัมผัสและการแยกออกในภายหลังของสารที่ต่างกัน ไม่ควรจะสับสนระหว่าง ไตรโบอิเล็กทริฟิเคชันกับกระบวนการอีก 2 กระบวนการที่เรียกว่าการทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าโดยการนำ (conduction) และ การทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ (influence))

2) โลหะและวัตถุที่เหลวเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี ดังนั้นจึงเป็นฉนวนไฟฟ้าที่เลว กลับกันคือสาร เช่น อำพัน โคม และแก้วเป็นตัวนำไฟฟ้าที่เลว ดังนั้นจึงเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี

3) สารที่เป็นตัวนำไฟฟ้านั้นคือสารที่สามารถทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าได้มากที่สุดโดยการเหนี่ยวนำ

4) วัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าใดๆและวัตถุที่ไม่มีอำนาจไฟฟ้าใดๆจะดึงดูดซึ่งกันและกัน แต่ถ้าวัตถุที่



ไม่มีอำนาจไฟฟ้าได้รับการถ่ายทอดมาจากวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าแล้ว วัตถุทั้งสองจะผลักรัน

5) มีอำนาจไฟฟ้าต่างกันอยู่ 2 ประเภทซึ่งเรียกโดยดูเพย์ว่า “แบบแก้ว” และ “แบบยางไม้” วัตถุที่จัดอยู่ในประเภทเดียวกันจะผลักรัน วัตถุที่จัดอยู่ในประเภทต่างกันจะดูดกัน (หลังจากสมัยของ ดูเพย์แล้วมีการค้นพบว่าชนิดของไฟฟ้าที่ได้จากการถูวัตถุนั้นขึ้นกับเนื้อสารที่ใช้ในการถูเท่า ๆ กับเนื้อสารของวัตถุที่ถูกถู และจะแปรเปลี่ยนไปตามสภาพของพื้นผิวของวัตถุที่ถูกถู ตัวอย่างเช่นแก้วถูด้วยไหม ขนสัตว์หรือขนแมว มักจะเกิดอำนาจไฟฟ้าชนิดที่ดูเพย์เรียกว่า “แบบแก้ว” แต่ถ้าถูด้วยขนกระต่ายจะเกิดอำนาจไฟฟ้าชนิดที่เรียกว่า “แบบยางไม้”)

ทฤษฎีของไหล 2 ประเภท เราได้เห็นถึงความสนใจของฮอคสนีย์นี้มุ่งไปที่กลไกที่กระตุ้นให้เกิดอำนาจไฟฟ้ากับวัตถุที่ไม่ได้สัมผัสกันต้นกำเนิด เขายังมุ่งความสนใจไปที่ไอที่มองไม่เห็นซึ่งเกิดขึ้นจากการถู วัตถุที่มีสมบัติทางไฟฟ้าเช่นเดียวกับกิลเบิร์ต และเขาค้นพบหลักฐานที่น่าเชื่อถือได้เกี่ยวกับธรรมชาติของเนื้อสารของไอดังกล่าว

แม้ว่าเกรย์จะยอมรับการดึงดูดทางไฟฟ้าที่เกิดจากไอของสาร แต่ไม่ค่อยได้ให้ความสนใจมากนัก เขามุ่งความสนใจไปที่การค้นพบของเขาที่ว่าสมบัติในการดึงดูด หรือ อำนาจทางไฟฟ้า นั้นสามารถถ่ายทอดจากวัตถุหนึ่งไปอีกวัตถุหนึ่งได้ แม้ว่าเกรย์มักจะเขียนเกี่ยวกับการถ่ายเทอำนาจไฟฟ้า แต่นักวิทยาศาสตร์ที่เชื่อในเชิงกลไกในศตวรรษที่ 18 มักจะเอนเอียงไปในความเชื่อที่ว่า การถ่ายเทสมบัติทางไฟฟ้าจากวัตถุหนึ่งไปสู่วัตถุที่สองต้องเกิดเนื่องมาจากการถ่ายเทสารบางอย่างไป เช่น ดังที่หนักขึ้นก็เพราะว่าใส่สารบางอย่างที่หนักเข้าไปในถัง และวัตถุที่ร้อนขึ้นก็เพราะมีความร้อนใส่เข้าไปในตัวมัน ในทำนองเดียวกันวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าก็เพราะมีสารที่มีอำนาจไฟฟ้าเข้าไปอยู่ในตัวมัน ดังนั้นภายหลังจากการเผยแพร่ผลงานของเกรย์ไม่นานนักก็ปรากฏศัพท์ “อำนาจไฟฟ้า (electricity)” ที่หมายถึงสารที่มีอำนาจไฟฟ้าซึ่งอยู่ภายในหรืออยู่บนผิวของสารที่ถูกทำให้มีอำนาจไฟฟ้าออกมาใช้กันทั่วไป สารนี้เป็นสิ่งที่มองไม่เห็น แต่การอ้างถึงความมีอยู่ของมันช่วยให้สามารถอธิบายการเกิด การถ่ายทอดอำนาจทางไฟฟ้าโดยการสัมผัสได้อย่างมีเหตุผล วัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าโดยการถู จะมีอำนาจไฟฟ้าที่มองไม่เห็นนี้อยู่ และเมื่อมันสัมผัสกับวัตถุที่ไม่มีอำนาจไฟฟ้าอยู่ก็จะถ่ายทอดอำนาจไฟฟ้านี้ให้ ความง่ายในการถ่ายทอดจากวัตถุหนึ่งผ่านเส้นเชือกหรือตัวกลางอื่นๆโดยตรงสู่วัตถุที่ 2 นั้นทำให้เกิดความคิดว่าไฟฟ้าที่เคลื่อนจากวัตถุหนึ่งไปสู่อีกวัตถุหนึ่งนั้นก็คือของไหล และมักจะเรียกว่า “ของไหลไฟฟ้า (electric fluid)”

ดูเพย์ไม่เคยอ้างถึงของไหลดังกล่าว แต่การค้นพบของเขาเกี่ยวกับไฟฟ้า 2 ประเภทนั้นสามารถอธิบายได้ด้วยสมมติฐานที่ว่า มีของไหล 2 ประเภท ประเภทหนึ่งคือแบบแก้ว และอีกประเภทหนึ่งคือแบบ



ยางไม้ และเมื่อวัตถุถูกถูจะทำให้เกิดของไหลไฟฟ้าเหล่านี้ ไม่ว่าจะเป็นโดยการถูหรือการถ่ายทอดของไหลไฟฟ้าจากวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าอยู่ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสมบัติของวัตถุนั้นว่าสามารถถูกทำให้มีอำนาจไฟฟ้าได้

ดังนั้น ถึงแม้ว่าทั้งเกรย์และคูเพอร์ต่างก็ไม่ได้กล่าวถึงของไหลไฟฟ้าหรือใช้คำว่า “ไฟฟ้า” ในลักษณะเช่นนั้นออกมาอย่างชัดเจน แต่นักวิทยาศาสตร์รุ่นต่อจากเขาก็ใช้เช่นนั้น และในกลางศตวรรษที่ 18 ปราภฏการณ์ทางไฟฟ้าก็ถูกอธิบายในศัพท์หรือแนวคิดหลักที่เรียกว่า ทฤษฎีของไหลไฟฟ้า 2 ประเภท

ทฤษฎีของไหลไฟฟ้า 2 ประเภทนี้เกี่ยวข้องกับสมมติฐานต่อไปนี้คือ

ก) มีของไหลไฟฟ้าที่แตกต่างกันอยู่ 2 ประเภท ประเภทหนึ่งเรียกว่า “แบบแก้ว” อีกประเภทหนึ่งเรียกว่า “แบบยางไม้”

ข) วัตถุที่ไม่มีอำนาจทางไฟฟ้านั้นจะมีของไหลไฟฟ้าทั้งสองประเภทอยู่ในตัวเท่าๆกัน ซึ่งทำให้มีอำนาจทางไฟฟ้า 2 ประเภทที่สะเทินกันไปหรือเป็นกลาง

ค) การถูวัตถุให้เกิดอำนาจทางไฟฟ้านั้นเป็นการดึงเอาของไหลไฟฟ้าประเภทใดประเภทหนึ่งออกไปจากวัตถุ (ตัวอย่างเช่น การถูแก้วแล้วทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าประเภท “แบบแก้ว” ตามที่คูเพอร์เรียกนั้น ก็เพราะวัตถุนั้นถูกดึงเอาของไหลไฟฟ้าประเภท “แบบยางไม้” ออกไปจากแก้วเหลือไว้แต่ของไหลไฟฟ้าประเภท “แบบแก้ว” ไว้มากเกินไป)

ง) ยิ่งของไหลไฟฟ้าประเภทใดก็ตามถูกดึงออกไป ก็ยิ่งทำให้วัตถุนั้นมีอำนาจทางไฟฟ้าอีกประเภทหนึ่งมากขึ้น จะสังเกตได้ว่าโดยการที่มีของไหลไฟฟ้าทั้งสองประเภทอยู่ใน “ปริมาณที่เท่ากัน” ในที่นี้มันหมายถึงในปริมาณที่ทำให้วัตถุนั้นไม่มีอำนาจทางไฟฟ้าคือในปริมาณที่สะเทินกันพอดี ทำให้เกิดความเป็นกลางทางไฟฟ้าในวัตถุนั้นได้อย่างสมบูรณ์

การเกิดไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำนั้นสามารถอธิบายโดยทฤษฎีของไหลไฟฟ้า 2 ประเภทได้ว่าเป็นการแลกเปลี่ยนของไหลไฟฟ้าที่เกินพอจากวัตถุที่มีประจุไฟฟ้า (electrified object) ไปสู่วัตถุที่ไม่มีประจุไฟฟ้า ดังนั้น การเกิดไฟฟ้าจึงหมายถึงการเติมของไหลไฟฟ้าเข้าไปในวัตถุ ซึ่งเปรียบเทียบเหมือนกับการเติมหรือการใส่บางสิ่งบางอย่างเข้าไป เช่นการใส่กระสุนเข้าไปในกระบอกปืนเราเรียกว่า “การประจุไฟฟ้า (charging)” การใช้คำว่า “การประจุ” หมายถึง “การทำให้เกิดไฟฟ้า” นั้นยังคงใช้กันอยู่จนถึงปัจจุบัน และในไม่ช้า คำว่า “ประจุไฟฟ้า” หรือพูดสั้นๆว่า “ประจุ” ก็ถูกเปลี่ยนเป็น “ไฟฟ้า” หรือ “ของไหลไฟฟ้า” ดังนั้น ต่อไปนี้เราจะใช้ศัพท์ 3 คำนี้สลับกันไปมา

ในการมีน้ำใจให้การยกย่องผลงานของผู้ที่เกี่ยวข้องไว้ในจดหมายของเขานั้น ทำให้เขาต้องเข้าไปเกี่ยวข้องกับบุคคลเหล่านั้นและกระตุ้นให้เกรย์เริ่มทำการศึกษาค้นคว้าใหม่ ดังนั้นในขณะที่ทำการทดลอง



เกี่ยวกับการสปาร์คไฟฟ้าที่ดูเฟย์สังเกตพบและเล่าให้เขาฟังนั้น เกรย์สังเกตว่าเมื่อแท่งโลหะปลายแหลมถูกนำไปใกล้วัตถุที่มีประจุไฟฟ้า วัตถุที่มีประจุไฟฟ้าจะค่อยๆ เสียประจุไฟฟ้าอย่างช้าๆ และเวียน ๆ จนหมดประจุไฟฟ้า คือปล่อยกระแสไฟฟ้าออกไป (discharged) ตรงกันข้ามกับถ้าใช้แท่งโลหะปลายทื่อ การเสียประจุไฟฟ้าจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเกิดเสียงดัง เขาสรุปว่า “ในช่วงเวลานั้นอาจจะหาวิธีที่จะเก็บไฟฟ้าไว้ได้เป็นปริมาณมากขึ้น ซึ่งโดยการทดลองเหล่านั้นหลายครั้งดูเหมือนจะเป็นเหมือนกับการเกิดฟ้าร้องและฟ้าแลบ”

6. ผลการทดลองที่สำคัญของการเผยแพร่ผลงานทางวิทยาศาสตร์ ในศตวรรษที่ 18

มีแรงกระตุ้นและผลตอบแทนจากการค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์หลายอย่าง และรูปแบบของการพัฒนาวิทยาศาสตร์หลายรูปแบบนั้นจะเห็นได้จากตัวอย่างพัฒนาการของวิทยาศาสตร์ทางไฟฟ้าในระยะ 10 ปีหลังจากการทดลองของดูเฟย์เช่นเดียวกับการทดลองก่อนหน้านี้ ความสำเร็จที่น่าประทับใจของวิทยาศาสตร์ทางกายภาพ โดยเฉพาะกลศาสตร์และดาราศาสตร์ที่ปรากฏครั้งแรกที่อิตาลีและภายหลังช่วงกลางศตวรรษที่ 17 ที่อังกฤษนั้นเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง ทำให้ประชาชนทั่วไปสนใจกันมากเป็นอิสระจากความมกมายในเรื่องเวทมนตร์ และโดยที่จิตของมนุษย์สามารถที่จะเข้าใจธรรมชาติได้ ทำให้เกิดความมั่นใจมากขึ้นที่จะตัดสินใจด้วยตนเองที่จะเชื่อในปรากฏการณ์ธรรมชาติโดยไม่ขึ้นกับอำนาจหรือทฤษฎีดั้งเดิมใดๆ

เพื่อให้ผลงานทางวิทยาศาสตร์แพร่หลายในหมู่ผู้สนใจ สมาคมวิทยาศาสตร์สนับสนุนให้สมาชิกเสนอผลงานในภาษามาตรฐานของประเทศตน (vernacular) มากกว่าภาษาละติน แต่นักวิทยาศาสตร์มีความสามารถในการเสนอผลงานการค้นพบและเจตคติทางวิทยาศาสตร์ให้เป็นที่น่าสนใจได้อย่างชัดเจนแก่ประชาชนทั่วไปได้น้อยกว่านักกวี นักเขียนนิยาย และนักเขียนบทความทางวิทยาศาสตร์ บุคคลเหล่านี้คือคนกลุ่มแรกๆ ที่ได้แสดงให้เห็นถึงการนำความรู้และวิธีการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ในกิจกรรมอื่นๆ ของมนุษย์ด้านการเมือง เศรษฐกิจ และสังคม ความพยายามในการขยายขอบเขตการนำวิทยาศาสตร์ไปใช้ดังกล่าวนั้นค่อนข้างริบร้อนเกินไป ปรากฏจากความใคร่ครองและมีความรู้เกี่ยวกับข้อจำกัดของวิธีการทางวิทยาศาสตร์หลายประการ แต่กระนั้นเขาเหล่านั้นก็พยายามหาวิธีการที่จะนำผลการค้นพบทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ให้มีประโยชน์ต่อมนุษย์ให้กว้างที่สุดโดยไม่ใช้คำศัพท์ที่ยุ่งยาก แต่ใช้ภาษาที่สร้างสรรค์และทำให้เกิดอารมณ์ที่ชื่นชมความฉลาดปราดเปรื่องของนักวิทยาศาสตร์ เพราะความพยายามสร้างภูมิปัญญาให้กับประชาชนประกอบกับผลงานที่มีคุณค่าของบรรดานักวิทยาศาสตร์ทำให้ศตวรรษที่ 18 ได้ชื่อว่าเป็นยุค



แห่งความรู้ที่กระจ่างแจ้ง (The age of enlightenment) หรือบางทีถ้าจะให้ถูกต้องกว่านั้นควรจะเรียกว่าเป็นยุคแห่งสามัญสำนึก

ในตอนนั้นวิทยาศาสตร์จัดเป็น “ความสำเร็จทางด้านสังคม” เพราะเป็นที่นิยมทั้งในหมู่ชนชั้นสูงและชนชั้นกลางที่จะเข้าฟังการบรรยายทางวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียงและแสดงความสนใจในวิทยาศาสตร์ ในยุคของดูล์เฟย์นั้นไฟฟ้าเป็นที่นิยมกันอย่างมาก และผู้บรรยายทั้งหลายต่างก็อุทิศเวลาทั้งหมดให้กับการออกแบบการค้นคว้าทดลองที่ยอดเยียม ซึ่งดูเหมือนกับเป็นงานอดิเรกทางวิทยาศาสตร์มากกว่างานวิจัย ความสนใจที่เกิดขึ้นกับคนทั่วไปในเรื่องไฟฟ้านี้ในไม่ช้าก็มีการแพร่กระจายจากอังกฤษไปฝรั่งเศส และจากฝรั่งเศสไปเยอรมัน ซึ่งกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์ค่อยๆ ซ้ำลงในช่วงแรกของศตวรรษที่ 18 เนื่องมาจากการไปร่วมเป็นพันธมิตรในสงครามและความแตกร้างทางการเมืองภายในประเทศเอง แม้ว่านักวิทยาศาสตร์เยอรมันจะเก็บตัวไม่สนใจกับความก้าวหน้าภายนอก แต่ที่เด่นชัดก็คือความต้องการผู้บรรยายที่มีชื่อเสียงที่เพิ่มขึ้น ทำให้นักวิทยาศาสตร์เหล่านั้นทำการทดลองทางด้านไฟฟ้าขึ้นมาเองบ้าง

เพื่อให้การบรรยายในด้านนี้เป็นที่นิยมมากขึ้น การค้นคว้าทดลองเกี่ยวกับแรงดึงดูดทางไฟฟ้าที่แรงขึ้นจึงได้เกิดขึ้นมาก เมื่อ ซี เอ ฮอเซน (C.A. Hausen) บรรยายที่สมาคมวิทยาศาสตร์ไลป์ซิกในปี ค.ศ. 1743 นั้น ได้กล่าวถึงแรงไฟฟ้าที่เกิดจากการถูตลอดแก้วว่าเกิดขึ้นน้อยมากและยังยืนยันว่าฮอคลปีได้เป็นผู้พัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากแรงเสียดทานขึ้นมา ต่อมาไมซ์ฮอเซนได้สร้างเครื่องมือดังกล่าวขึ้นมาเองและใช้ในการทดลองซ้ำการทดลองของเกรย์และดูล์เฟย์ที่ทำกับหลอดแก้ว ซึ่งบางการทดลองเขาได้ชวนเด็กตามแนวถนนฉวยเงินโดยให้เท้าของเด็กชายแตะกับลูกกลมที่ถูกหมุนด้วยมือ ประจุไฟฟ้าผ่านด้วยการนำจากลูกกลมที่ถูกกระตุ้นไปสู่ร่างกายที่เป็นฉนวนของเด็กชายและสะสมอยู่ในนั้นจนตัวที่นำนั้นหมดประจุ ฮอเซนใช้นิ้วของเขาเข้าไปใกล้ ำร่างกายของเด็กชาย ปรากฏว่าเกิดประกายไฟแลบจากร่างกายของเด็กชายและนิ้วของเขา

เกือบจะในเวลาเดียวกันนี้ จี เอ็ม โบส (G.M. Bose) แห่งมหาวิทยาลัยไลป์ซิก ก็ได้ทำการทดลองซ้ำและทำการทดลองใหม่ๆ อีกหลายการทดลอง แต่เนื่องจากขาดเครื่องมือที่เหมาะสมโบสจึงซื้อเครื่องกลั่นในห้องทดลองออกมาตัดส่วนที่เป็นกระเปาะของขวดกลั่นขนาด 7 แกลลอนออก และติดกระเปาะกลมนี้ลงบนเครื่องหมุนเช่นเดียวกับเครื่องมือของฮอคลปี กระเปาะกลมนั้นใหญ่มากจนในตอนนั้นโบสก็ได้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีอำนาจมากกว่าเครื่องอื่นๆ ที่เคยมีการสร้างกันมาก่อน เขาเป็นนักทดลองที่ปราดเปรื่องมากมีไหวพริบของนักแสดงอย่างหาตัวจับยาก โดยในการสาธิตการทดลองครั้งหนึ่งของเขานั้น เขาได้ใช้ผู้หญิงสาวมากแทนเด็กชายในการทดลองของฮอเซน และโดยการซ่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่ให้ผู้ชมเห็น เขาให้ผู้ชมอาสาสมัครที่จะยื่นมือไปจับหรือจับผู้หญิงคนนั้น ซึ่งก็จะถูกกระตุกอย่างไม่คาดฝันและไม่ค่อย



สนุกนัก ไม่มีใครรายงานให้เราทราบว่าผู้หนึ่งคนนั้นได้มีปฏิกิริยาตอบสนองอย่างไรสำหรับการทดลองดังกล่าว

สิ่งที่น่าสนใจก็คือการพยายามให้เกิดผลที่รุนแรงกว่านั้น โบลสรุปว่าวิธีการที่จะรวบรวมไฟฟ้าให้ได้ปริมาณมากกว่านั้นจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น ทำได้โดยการเปลี่ยนผู้หญิงหรือเด็กชายเป็นโลหะที่เป็นฉนวนขนาดใหญ่ ที่ปรากฏชัดเจนก็คือเขาคิดในเรื่องของไหลไฟฟ้า และต่อมามีความคิดว่าของไหลไฟฟ้างดงกล่าวน่าจะเก็บไว้ได้ในภาชนะที่ใหญ่ขึ้น ด้วยการที่มีกระบอกของกลองโทรทัศน์ขนาดใหญ่อยู่ เขาจึงใช้ส่วนที่เป็นกระบอกโลหะของกลองซึ่งยาว 21 ฟุต หลังจากที่ได้ทดลองด้วยการถือกระบอกโลหะไว้ในมือแล้ว เขาได้แนวคิดว่าจะสามารถจะเก็บรวบรวมไฟฟ้าได้จากการนำของเส้นด้ายที่ผูกกับกระบอกโลหะให้อีกปลายหนึ่งของเส้นด้ายแตะกับผิวของลูกกลมที่ถูกปั่น ต่อมานักวิทยาศาสตร์อื่นๆ ได้ใช้ลวดลึงเป็นเป็นโลหะฉนวนและใช้ใช้โลหะแทนเส้นด้ายในการทดลองดังกล่าว

จนกระทั่งถึงตอนนี้นักลูกกลมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็ยังใช้วิธีโดยการใช่มือวางบนลูกกลม แต่ในปี ค.ศ. 1744 เจ. เอช. วินค์เลอร์ (J.H. Winkler) ศาสตราจารย์ภาษาละตินแห่งมหาวิทยาลัยไลป์ซิกซึ่งเป็นผู้ทดลองสมัครเล่นก็ได้แนวคิดใหม่ว่าการถูกลูกกลมเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นอาจทำได้โดยเชิงกลด้วย “เครื่องถู” โดยใช้หนังที่ทำเบาๆ แก้วให้ด้านการหมุนและเสียดสีกับลูกกลมที่กำลังหมุนด้วยการปรับตะปูเกลียว อย่างไรก็ตามก่อนที่การใช้ “เครื่องถู” เชิงกลจะถูกนำมาใช้กันทั่วไปนั้นจะต้องรู้ว่ามีงานได้ผลเป็นที่น่าพอใจก็ต่อเมื่อต่อมันกับวัตถุขนาดใหญ่ที่เป็นฉนวนเท่านั้น ซึ่งโลกก็คือวัตถุดังกล่าว และเมื่อใช้มือของผู้ทดลองเป็นเครื่องขัดถูก็จะติดต่อกับโลก โดยผ่านทางร่างกายของคนซึ่งเป็นสารตัวนำในตัวเอง

ในขณะนี้ส่วนประกอบที่สำคัญทั้งหมดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไดรไบโออิเล็กตริกพัฒนาขึ้นมาก ได้แก่เครื่องปั่นลูกกลมหรือทรงกระบอกโลหะตัวนำสำหรับเก็บไฟฟ้าและ “เครื่องถู” เชิงกล แต่ก็มีควมพยายามต่อไปที่จะสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีพลังสูงกว่าเดิม ตัวอย่างเช่นโดยการใช้ลูกกลมหลายๆ ลูกต่อเข้าด้วยกันและหมุนไปพร้อม ๆ กันด้วยเพลาดียวกัน โบลกล่าวว่าเขาได้ไฟฟ้าที่โชติช่วงด้วยการใช้ลูกกลม 3 ลูกและแก้วเบียร์ เช่นเดียวกับฮอคลี โบลได้ทำการทดลองกับไฟที่สว่างวาวจากการทำให้เกิดไฟฟ้าในภาชนะที่สูบลูกอากาศออก และพบว่า “ไฟฟ้านั้นจะไหลต่อกันไป หมุนกลับ เคลื่อนที่ไปจนทั่วและสว่างวาว” ดังนั้นจึงไม่มีชื่อใดจะเหมาะสมกับไฟฟ้างดงกล่าวเท่ากับแสงเหนือ

ในปี ค.ศ. 1745 ความตื่นเต้นเกี่ยวกับความประหลาดมหัศจรรย์ของไฟฟ้ายิ่งเพิ่มมากขึ้นจนประชาชนทั้งหลายพากันแห่ไปฟัง แม้แต่การบรรยายธรรมดาของมหาวิทยาลัยก็มักจะเต็มไปด้วยกลุ่มนักเรียนที่แน่นขนัดจนไม่มีที่นั่ง ในช่วงนี้ช่างชาวเยอรมันต่างก็สร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากันมากมายและขายดีให้แก่คนรวยที่ใช้เป็นเครื่องเล่นในบ้านเล่นซ้ำแล้วซ้ำอีก ในระหว่างนักทดลองที่เป็นช่างเหล่านี้มีคนหนึ่งที่เป็นเสมียนของเมืองพอมเมอเรเนียคือ อี.จี. ฟอน ไคลส์ (E.G. von Kleist)



วิวัฒนาการของตัวเก็บประจุไฟฟ้า มีความเชื่อกันอยู่พักหนึ่งว่าไฟฟ้าที่ค่อยๆหมด... จะเกิดเมื่อวัตถุที่ถูกทำให้เกิดไฟฟ้าอยู่ในที่โล่งแจ้งนั้นเนื่องมาจาก “การระเหย” ของของไหลไฟฟ้า “การระเหย” นี้ จะสามารถทำให้ลดลงด้วยการเก็บสารที่ถูกทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้านั้นไว้ในภาชนะได้หรือไม่ ในฤดูใบไม้ร่วงปี 1745 โคลล์ทดลองใช้สารหลายชนิดมาเก็บประจุไฟฟ้า เช่น น้ำ เป็นต้น โคลล์ใส่น้ำไว้ในขวดแล้วยึดตะปูไว้ที่คอขวดเพื่อเป็นตัวนำไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสู่น้ำในขวด เขาก็ขวดไว้ในมือ และนำตะปูที่ยึดกับคอขวดไปแตะกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากนั้นนำตะปู (ซึ่งยังยึดอยู่ที่คอขวด) ไปแตะกับวัตถุที่ไม่มีประจุไฟฟ้า จะเกิดประกายไฟขึ้นระหว่างตะปูกับวัตถุนั้น เขาแตะตะปูด้วยมืออีกข้างหนึ่งและพบว่าเกิดการกระตุกอย่างแรง เมื่อทำการทดลองนี้ซ้ำกับปรอทหรือแอลกอฮอล์ในขวด ผลที่ได้รุนแรงกว่าเดิม เขากล่าวว่า “การกระตุกทำให้มือและไหล่ของข้าพเจ้าชาไปหมด” ถ้าไม่มีวัตถุเข้าใกล้ตะปู เครื่องมือนี้ จะสามารถเก็บไฟฟ้าไว้ใช้ได้หลายชั่วโมง อย่างไรก็ตามสิ่งที่โคลล์ได้พบว่าน่าสังเกตที่สุดก็คือไม่มีประกายเจิดจ้าหรือการกระตุกเกิดขึ้นจากตะปูเมื่อเขาวางขวดที่มีประจุไฟฟ้าลงบนโต๊ะ การที่จะมีไฟฟ้าอยู่ในขวดได้ก็ต่อเมื่อขวดอยู่ในมือของเขานั้นทำให้เขาคิดว่า “ร่างกายมนุษย์มีคุณสมบัติบางอย่าง” คุณสมบัติที่ว่าคือ “ไฟฟ้าในร่างกายสัตว์” ที่บางทีก็เห็นเป็นแสงสว่าง ซึ่งเขาคิดว่าการสังเกตที่พบมีความสำคัญมากยิ่งกว่าการค้นพบว่าสามารถเก็บไฟฟ้าปริมาณมากไว้ได้เป็นเวลาหลายชั่วโมงในแต่ละครั้ง

โคลล์บรรยายการสังเกตของเขาเอาไว้ในจดหมายซึ่งเขาส่งไปให้ผู้ที่คุ้นเคยหลายคนในปลายปี ค.ศ. 1745 ซึ่งเป็นผู้ส่งต่อข้อมูลนี้ไปยังสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งกรุงเบอร์ลินและนักวิทยาศาสตร์เยอรมันหลายคนอีกต่อหนึ่ง บางคนพยายามที่จะทำการทดลอง ซึ่งในตอนแรกก็ไม่สามารถทำได้สำเร็จเนื่องจากมิได้ทำตามทีโคลล์ได้ให้ข้อสังเกตไว้ ว่าจะต้องจับขวดไว้ในมือหนึ่งเมื่อใช้อีกมือหนึ่งไปแตะตะปูเพื่อให้เกิดประกายไฟ

ในเดือนมกราคม 1746 หลังจากที่ได้รับจดหมายของโคลล์ถูกเวียนไปยังบุคคลต่างๆไม่นานนัก ก็มีจดหมายจากอาจารย์ที่มีชื่อเสียงและนักทดลองทางเคมีของมหาวิทยาลัยแห่งเมืองโลเคน ประเทศฝรั่งเศส ส่งไปถึงสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งฝรั่งเศส ปีเอเตอร์ แวน มัสเซนบรอก (Pierer van Musschenbrock) ได้บรรยายถึงการทดลองที่ใหม่มากต่อนักวิทยาศาสตร์ฝรั่งเศสมาก เจ เอ นอลเลต (J.A. Nollet) ได้ร่วมคัดย่อข้อความเกี่ยวกับการค้นพบที่สำคัญจากจดหมายนั้นไว้ในบทความของเขาเองซึ่งพิมพ์เผยแพร่ในต้นปี 1746 ใน Mémoires ของสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งฝรั่งเศส

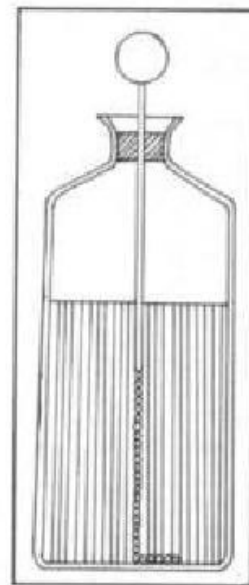
ข้าพเจ้ากำลังจะบอกท่านเกี่ยวกับการทดลองที่ใหม่แต่น่ากลัว ซึ่งข้าพเจ้าขอแนะนำไม่ให้ท่านทำการทดลองแค่โดยลำพัง ข้าพเจ้าได้ทดลองเกี่ยวกับแรงไฟฟ้าโดยแขนล่างล้อง



เป็นด้วยไหมสีน้ำเงิน 2 เส้นซึ่งได้รับอำนาจไฟฟ้าจากลูกกลมแก้วที่ถูกปั่นอย่างรวดเร็วให้หมุนรอบแกน โดยนำค้ำมป็นไปแตะบนลูกกลม ที่อีกปลายหนึ่งของลากล้องแขวนลวดทองเหลืองไว้ โดยให้ปลายลวดทองเหลืองผ่านเข้าไปในขวดแก้วที่มีน้ำอยู่บางส่วน ข้าพเจ้าถือขวดแก้วนี้ไว้ด้วยมือขวา ในขณะที่ใช้มือซ้ายทำให้เกิดประกายไฟแลบจากลากล้องป็นทันทีนั้นมือขวาของข้าพเจ้าเกิดการกระตุกอย่างรุนแรงจนทุกส่วนของร่างกายข้าพเจ้ากระตุกไปด้วยเหมือนการถูกฟ้าผ่า... แขนและส่วนต่างๆของร่างกายทั้งหมดกระตุกน่ากลัวมากจนข้าพเจ้าไม่สามารถบรรยายเป็นคำพูดได้ ข้าพเจ้าคิดว่าคงตายแน่... ผู้ทำการทดลองอาจยืนบนพื้น แต่สิ่งที่สำคัญก็คือ ถ้าทำการทดลองคนเดียว จะต้องถือขวดแก้วด้วยมือข้างหนึ่ง และใช้มืออีกข้างหนึ่งทำให้เกิดประกายไฟ ถ้าผู้ทดลองมี 2 คน ผลที่เกิดขึ้นจะไม่รุนแรงนัก ถ้าวางขวดแก้วไว้บนที่วางที่ทำด้วยโลหะบนโต๊ะไม้ เมื่อใช้แม่เหล็กปลายนิ้วมือหนึ่งแตะโลหะและใช้อีกมือหนึ่งทำให้เกิดประกายไฟแลบ นิ้วที่แตะที่วางโลหะนั้นก็เกิดการกระตุกอย่างรุนแรงมาก



รูปที่ 15 โคลต์ และ มัลเชนบรอก



ขวดลีเดน

รูปที่ 15 การค้นพบว่าน้ำสามารถนำไฟฟ้าได้นั้นทำให้เกิดการประดิษฐ์ขวดลีเดน (รูปที่ 15 ขวามือ) ขึ้นได้สำเร็จ โดยเลียมินชาวเยอรมันชื่อ อี จี ฟอน โคลต์ และนักวิทยาศาสตร์ชาวดัตช์ชื่อ ทิเอเตอร์ แวน มัลเชนบรอก โดยมัลเชนบรอก (1697-1761) ใช้แรงเสียดทานเหนียวทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าผ่านแท่งทองเหลืองและลวดทองเหลืองที่แขวนอยู่ในบีกเกอร์แก้วที่ใส่น้ำเต็ม เขาเล่าว่า "ร่างกายของข้าพเจ้าสั่นเหมือนถูกฟ้าผ่า" ผลการทดลองดังกล่าวมีความสำคัญมากในการพัฒนาความรู้วิทยาศาสตร์ทางด้านไฟฟ้า



แน่นอนที่การทดลองนี้จะเป็นการทดลองเดียวกันกับที่โคลลีได้รายงานไว้ อย่างไรก็ตามเราจะเห็นได้ว่ามัลเชนบรอกไปไกลกว่า ตรงที่ว่าเขาแสดงให้เห็นว่าสามารถจะทำให้เกิดผลการทดลองได้โดยไม่ต้องถือแก้วไว้ในมือ ตรงนี้ร่างกายมนุษย์ไม่ใช่ส่วนจำเป็นของเครื่องมืออีกต่อไป และไม่จำเป็นที่จะต้องเตาอีกต่อไปว่า “ไฟฟ้าจากสัตว์” เป็นตัวการที่ทำให้เกิดผลการทดลองหรือไม่ กล่าวโดยย่อก็คือสิ่งที่มัลเชนบรอกแสดงให้เห็นก็คือร่างกายของผู้ทดลองทำหน้าที่เพียงเป็นตัวนำไฟฟ้าที่เชื่อมระหว่างโลหะที่วางชิดแก้วกับลวดซึ่งสัมผัสกับไฟฟ้าภายในขวดแก้ว

รายงานของนอลเลต์ใน *Mémoires* ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางมาก เนื่องจากการค้นพบนี้รายงานมาจากเมืองไลเดน (Leiden) จึงมักเรียกว่าการทดลองของมัลเชนบรอก หรือการทดลองไลเดน ในขณะที่เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองดังกล่าวมักจะเป็นที่รู้จักกันในชื่อของ ขวดลีเดน หรือ ไลเดน

ปัจจุบันการปรับปรุงขวดลีเดนได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วมาก เฉพาะในอังกฤษและเยอรมันพบว่าไม่จำเป็นที่จะต้องใส่ของเหลวลงในขวด ที่สำคัญคือภายในและภายนอกภาชนะจะต้องหุ้มด้วยวัสดุที่นำไฟฟ้า นักวิทยาศาสตร์คนหนึ่งได้ใช้ลูกปิงโหลแทนน้ำ อีกคนหนึ่งนุและหุ้มกันขวดและส่วนล่างของขวดทั้งข้างในและข้างนอกด้วยกระดาษตะกั่ว ใช้โซ่เชื่อมสิ่งที่นุภายในกับลวดหรือแท่งโลหะที่ผูกไว้ที่ปากขวดและใช้ปลายข้างหนึ่งของสายไฟต่อจากกระดาษตะกั่วที่หุ้มขวดขึ้นนอก ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งนำมาใกล้แท่งโลหะที่ปากขวดจะเกิดประกายไฟขึ้น ซึ่งเป็นการใช้สายไฟต่อให้ครบวงจรแทนที่จะใช้ร่างกายมนุษย์เหมือนในการทดลองดั้งเดิม

มีการค้นพบวิธีที่จะทำให้เกิดประกายไฟแล่นหรือการกระตุกโดยการเพิ่มพื้นที่ของสิ่งที่เคลือบผิวขวดทั้งภายในและภายนอก อย่างไรก็ตามก็ต้องใช้เวลาอีกหลายปีกว่าจะพบว่าสามารถเปลี่ยนแปลงความแรงของการปล่อยกระแสไฟฟ้าออกไปได้ โดยการเปลี่ยนขวดแก้วเป็นสารที่ไม่นำไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ซิผึ้ง ไมกา หรือแม้แต่อากาศ

ในขณะเดียวกัน ความสนใจในเรื่องของไฟฟ้าก็เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในอังกฤษมีวารสารที่มีชื่อเสียงมากมายพิมพ์เผยแพร่ข่าวเกี่ยวกับการค้นพบทางไฟฟ้าอย่างรวดเร็วทันทีที่นักวิทยาศาสตร์ประกาศการค้นพบ ในช่วงนี้การบรรยายเกี่ยวกับการทดลองทางวิทยาศาสตร์ได้แพร่กระจายไปทั่วจนถึงคนอังกฤษที่เข้าไปอยู่ในอเมริกา และก็เพราะการบรรยายการทดลองทางไฟฟ้าที่มีชื่อเสียงมากครั้งหนึ่งนี่เองที่ไปกระตุ้นความสนใจอย่างใหญ่หลวงของผู้ที่มีความคิดสร้างสรรค์มากที่สุดในยุคนั้น คือ “ดร.แฟรงคลินผู้เรื่องนาม” นักวิทยาศาสตร์ผู้ยิ่งใหญ่คนแรกของอเมริกา



7. การทดลอง ทฤษฎี และการประดิษฐ์ของเบนจามิน แฟรงคลิน

เบนจามิน แฟรงคลิน (Benjamin Franklin, 1706-1790) มีอายุเกือบ 37 ปีแล้วเมื่อเขาเริ่มสนใจเกี่ยวกับ “ความมหัศจรรย์ของไฟฟ้า” ซึ่งเป็นช่วงที่เขาไปทำธุระที่บอสตันในราวปี ค.ศ.1743 เขาได้พบกับ ดร. สเปนเซอร์ (Spencer) นักบรรยายทางวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียง “เป็นคนที่มีมาจากสกอตแลนด์ และได้สาธิตการทดลองทางไฟฟ้าให้ข้าพเจ้าชมการสาธิตนั้นไม่ค่อยจะดีนักเพราะเขาไม่ใช่ผู้เชี่ยวชาญมากนัก แต่เนื่องจากเรื่องนี้ค่อนข้างจะใหม่สำหรับข้าพเจ้า จึงทำให้ข้าพเจ้ารู้สึกประหลาดใจและพอใจมาก”

ในขณะนั้นแฟรงคลินเป็นนักธุรกิจ นักหนังสือพิมพ์ และนักวารสารที่ประสบความสำเร็จ เป็นผู้ที่มีชื่อเสียงและทำงานเพื่อสังคมแห่งชุมชนชาวเมืองฟิลาเดลเฟียและเพนซิลวาเนีย เมื่อเขาอายุ 21 ปีเขาก็เป็นที่รู้จักในหมู่นักวิทยาศาสตร์ของอังกฤษและในฟิลาเดลเฟีย เป็นผู้ช่วยให้เกิดการศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์ โดยก่อตั้งสมาคมและให้ความรู้ซึ่งกันและกัน เป็นสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกา และยังคงอยู่จนปัจจุบัน



รูปที่ 16 เบนจามิน แฟรงคลิน



หลังจากที่ได้รับการกระตุ้นความสนใจจากการทดลองของ ดร.สเปนเซอร์ แฟรงคลินก็ได้เครื่องมือทางไฟฟ้าชิ้นแรกของเขามา เขาได้กล่าวถึงเหตุการณ์ในตอนนั้นไว้ในประวัติชีวิตของเขาว่า

หลังจากที่ข้าพเจ้ากลับจากฟิลาเดลเฟีย บริษัทห้องสมุดของเราได้รับของขวัญเป็นหลอดแก้ว พร้อมทั้งวิธีการทดลองทางไฟฟ้าจากมิลเตอร์พี คอลลินสัน สมาชิกของสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งอังกฤษ ข้าพเจ้ารีบคว้าโอกาสนี้ทำการทดลองซ้ำ สิ่งที่ข้าพเจ้าได้เห็นจากการสาธิตที่บอสตัน และโดยการทดลองที่รอบคอบระมัดระวังกว่า เจริญพร้อมกว่าที่ได้เห็นมา ทำให้ค้นพบสิ่งแปลกใหม่มากขึ้น และด้วยการทดลองต่างๆมากมายนี้ บ้านของข้าพเจ้าเต็มไปด้วยผู้คนที่มาชมอย่างไม่ขาดระยะ เพราะผู้คนเหล่านั้นอยากจะเห็นสิ่งแปลกใหม่

เพื่อที่จะแบ่งปันเครื่องมือเหล่านี้ให้กับเพื่อน ๆ ข้าพเจ้าได้ให้เพื่อนใช้อุปกรณ์จากหน่วยเครื่องแก้วของเรา โดยเป็นหลอดแก้วคล้าย ๆ กันนั้นขึ้นมาหลายหลอด จนได้ผู้ที่ทำการทดลองเช่นเดียวกันขึ้นมาอีกหลายคน

“บริษัทห้องสมุด” ที่แฟรงคลินเอ่ยถึงนี้เป็นห้องสมุดที่เวียนหนังสือกันอ่านแห่งแรกในอเมริกา ซึ่งเขาและสมาชิกของสมาคมจับโตได้จัดดำเนินการขึ้นเพื่อช่วยให้สมาชิกได้อ่านให้ฟัง

โชคดีมากที่แฟรงคลินมีฐานะทางการเงินดีมาก ที่ช่วยให้เขาสละเวลาจากธุรกิจของเขาไปศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์และสามารถจะซื้อหาวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่จำเป็นสำหรับการทดลองได้ เขาซื้อเครื่องมือทดลองทางไฟฟ้าของสเปนเซอร์และเครื่องมืออื่นๆที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม รวมทั้งขอชุดของลิเดนซึ่งเพิ่งประดิษฐ์ขึ้นใหม่ ๆ ด้วย ในจดหมายที่เขาเขียนถึงคอลลินสันในเดือนมีนาคม 1747 นั้น เขาเขียนว่า

ของขวัญหลอดแก้วไฟฟ้าพร้อมทั้งวิธีการทดลองทางไฟฟ้าที่ท่านกรุณาให้แก่บริษัทนั้นช่วยให้เราสามารถทำการทดลองทางไฟฟ้าได้หลายอย่าง ซึ่งเราได้ค้นพบปรากฏการณ์แปลก ๆ ซึ่งคิดว่าเป็นปรากฏการณ์ใหม่อีกหลายอย่าง ดังนั้นข้าพเจ้าจึงต้องบอกให้ท่านทราบก่อนใคร ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่าปรากฏการณ์ดังกล่าวนั้นอาจจะไม่ใหม่สำหรับท่าน เนื่องจากทำการทดลองเหล่านี้อยู่ตลอดเวลา อาจจะพบปรากฏการณ์ที่ข้าพเจ้าได้พบนี้มาก่อนแล้วสำหรับข้าพเจ้าเองนั้นไม่เคยพบปรากฏการณ์เหล่านี้มาก่อนจึงสนใจมากและใช้เวลาทั้งหมดไปในการทดลองเหล่านี้...



ในจดหมายฉบับต่อไปที่เขาเขียนถึงคอลลินสันในอีก 2 เดือนต่อมา คือในเดือนพฤษภาคม 1747 นั้น แฟรงคลินได้ทำตามสัญญาที่ว่า จะเล่าการค้นพบ “ที่เป็นปรากฏการณ์ที่เราคิดว่าใหม่” เขาเริ่มต้นโดยการบรรยายถึงการสังเกตของกลุ่มนกทศลงขาวอเมริกันของเขาเกี่ยวกับ “ปรากฏการณ์ที่มหัศจรรย์ของวัตถุปลายแหลม ที่สามารถทั้งดึงดูดและผลักแสงไฟจากฟ้า” ซึ่งที่จริงแล้วแม้ว่าในขณะนั้นเขาไม่รู้ว่าวัตถุปลายแหลมที่เป็นตัวนำไฟฟ้าไม่ใช่เรื่องใหม่เสียทีเดียวในประเทศอื่น

แม้ในยุคแรกๆ นี้แฟรงคลินก็คุ้นเคยกับความรู้ทางไฟฟ้าที่ศึกษากันในต่างประเทศ เพราะคอลลินสันได้ส่งข้อมูลเกี่ยวกับกิจกรรมในเรื่องนี้ในเยอรมันและบทกวีของวิลเลียม วัตสันในหัวเรื่อง *A sequel to the experiments and observations tending to illustrate the nature and properties of electricity* (ลอนดอน 1746) ไปให้ วัตสันเป็นเจ้าหน้าที่พัสดุในกรุงลอนดอนและเป็นสมาชิกของสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งอังกฤษ ซึ่งในช่วงท้ายของชีวิตมีชื่อเสียงรุ่งโรจน์ทางด้านการแพทย์

ในส่วนที่เหลือของจดหมายที่เขียนถึงคอลลินสันนี้ แฟรงคลินได้อ้างถึงงานของวัตสันและตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับธรรมชาติของไฟฟ้าและออกแบบการทดลองตามที่เคยทำ

เราเคยมีความคิดว่าของไหลไฟฟ้าจะไม่สามารถทำให้เกิดขึ้นได้จากการเสียดสี แต่สามารถจะเก็บไว้ได้นั้น ที่จริงแล้วเป็นสิ่งที่กระจายออกมาและถูกดึงดูดด้วยสารอื่น โดยเฉพาะน้ำและโลหะ ความรู้ที่ว่าเป็นไปไม่ได้ที่จะทำให้เกิดไฟฟ้าขึ้นเอง (แม้จะยืนอยู่บนเทียนไข) โดยการถูหลอดและดึงไฟฟ้าไปจากหลอดและโดยการผ่านหลอดเข้าไปใกล้คนหรือสิ่งของที่อยู่บนพื้นนั้น เราเพิ่งได้รับเมื่อหลายเดือนก่อน ก่อนที่บทกวีของมิลเตอร์วัตสันจะออกมา และมีปรากฏการณ์ใหม่บางอย่างที่ข้าพเจ้าอยากจะบอกกับท่าน แต่ในตอนนั้นข้าพเจ้าเพียงแต่อยากจะเย้ยถึง แต่ไม่ต้องการชี้ว่าใดๆถึงสาเหตุของปรากฏการณ์ดังกล่าว แม้ว่าจะมีแนวคิดอยู่ในใจแล้วก็ตาม

1. คนหนึ่งยืนบนซี่มั่งและถูหลอด คนที่สองยืนบนซี่มั่งดึงไฟฟ้าเข้าสู่ตัว (โดยขอข้อนิ้วของเขาเข้าไปใกล้หลอด จะเกิดประกายไฟผ่านระหว่างหลอดและข้อนิ้วของเขา) คนทั้งคู่นี้ (ถึงแม้ไม่ได้สัมผัสกัน) สามารถประจุไฟฟ้าให้กับคนที่สามที่ยืนอยู่ที่พื้นได้ หากคนที่สามมาแตะตัวคนที่หนึ่งหรือคนที่สอง จะเกิดประกายไฟขึ้น

2. แต่ถ้าคนที่ 1 และคนที่ 2 แตะตัวกัน ขณะกระตุ้นหลอดให้เกิดไฟฟ้า ปรากฏว่าทั้งคู่จะไม่มีประจุไฟฟ้า (ไม่เกิดประกายไฟ)

3. แต่ถ้าเขาสัมผัสกันหลังจากที่หลอดถูกกระตุ้นและดึงไฟฟ้าเข้ามาหาตัวดังกล่าว



ข้างต้น (ในข้อ 1) จะเกิดประกายไฟมากกว่าระหว่างคนใดคนหนึ่งกับคนที่ยืนอยู่บนพื้น

4. หลังจากที่มีการเกิดประกายไฟอย่างแรงแล้ว คนเหล่านั้นก็จะไม่มีไฟฟ้าอีก (นั่นคือ จะไม่ถูกทำให้เกิดไฟฟ้าอีกต่อไป)

ปรากฏการณ์เหล่านี้เป็นปัญหาที่เราอยากศึกษาค้นคว้าต่อจากปรากฏการณ์ข้างต้น นั้น เราตั้งสมมติฐานได้ว่าไฟฟ้า (ของไหลไฟฟ้า) ที่บุคคล 3 คนดังกล่าวข้างต้นได้รับนั้นเป็น ไฟฟ้าเดียวกัน ต่างคนต่างมีอยู่เท่า ๆ กัน ก่อนที่จะมีการกระทำใด ๆ กับหลอด นาย ก. ที่ยืนอยู่ บนซีมิ่งและหลอด จะถ่ายทอดไฟฟ้าจากตัวเขาไปสู่แก้ว ต่อไป นาย ข. (ซึ่งยืนบนซีมิ่ง) ใช้ ข้อนิ้วของเขาเคลื่อนนิ้วไปมาข้าง ๆ หลอด จะได้รับไฟฟ้าที่สะสมอยู่ที่แก้วจาก นาย ก. นาย ข. ยังคงรักษาไฟฟ้าส่วนที่เพิ่มซึ่งได้รับมาจากแก้วนั้นไว้ นาย ค. ยืนอยู่บนพื้นจะได้รับการกระตุ้นให้เกิดไฟฟ้าในขณะที่เขาใกล้ นาย ข. ซึ่งมีปริมาณไฟฟ้าเกิน เพราะนาย ค. มี ปริมาณไฟฟ้าในตัวอย่างปกติ คือเป็นกลางอยู่แต่จะให้ไฟฟ้ากับนาย ก. ซึ่งมีปริมาณไฟฟ้าน้อยกว่าปกติ

ถ้านาย ก. และนาย ข. ต่างสัมผัสซึ่งกันและกัน (หลังจากที่นาย ก. ได้กระตุ้น หลอดแก้ว และนาย ข. ได้ดึงไฟฟ้าไปจากหลอดแล้ว) ประกายไฟก็จะแรงขึ้น เพราะ ความแตกต่างระหว่างทั้งสองคนมากขึ้น หลังจากสัมผัสกันแล้วก็จะไม่มีประกายไฟระหว่าง ทั้งสองคน และนาย ค. อีกต่อไป เพราะไฟฟ้าในทุก ๆ คนได้ลดลงจากปริมาณดั้งเดิมหมดแล้ว ถ้านาย ก. และนาย ข. สัมผัสกันระหว่างที่กระตุ้นหลอดให้เกิดไฟฟ้า ปริมาณไฟฟ้าในร่างกาย ทั้งคู่จะเท่ากัน ประจุจะหมุนเวียนเท่านั้น

ดังนั้นจึงมีศัพทใหม่ ๆ เกิดขึ้นสำหรับเรา เรากล่าวว่า นาย ข. (และวัตถุที่มีคุณสมบัติ คล้ายกัน) ถูกทำให้เกิดไฟฟ้าเพิ่ม นาย ก. ถูกทำให้เกิดไฟฟ้าน้อย หรือถ้าจะให้เหมาะสม ยิ่งกว่านั้นก็คือ นาย ข. ถูกทำให้เกิดไฟฟ้าบวก นาย ก. ถูกทำให้เกิดไฟฟ้าน้อย ในการทำให้เกิด ไฟฟ้าบวกหรือน้อย เพียงแค่รู้ว่าการถูแก้วหรือถูกลมแก้วหรือถูกลมมันจะดึงดูดไฟฟ้า มาจากสิ่งที่ใช้ถู และทันทีที่การถูสิ้นสุดลง แก้วหรือลูกกลมก็พร้อมที่จะถ่ายทอดไฟฟ้าที่ได้รับ มานั้นให้กับวัตถุใด ๆ ก็ได้ที่มีไฟฟ้าอยู่ในตัวน้อยกว่า ซึ่งท่านสามารถจะทำให้เกิดการส่งไฟฟ้า ต่อ ๆ กันไปในลักษณะเช่นนี้ได้เรื่อย ๆ ดังที่มิสเตอร์วัตสันได้แสดงให้เห็นแล้ว ท่านอาจจะเก็บ ไฟฟ้านั้นไว้ในวัตถุใด ๆ หรือทำให้ไฟฟ้านั้นลดลงจากวัตถุใด ๆ ก็ได้ ถ้าท่านเชื่อมต่อวัตถุเหล่านั้น เข้ากับสิ่งที่ถูหรือผู้ที่ได้รับไฟฟ้าไปจากสิ่งที่ถู การเชื่อมต่อของไฟฟ้าเดียวกันนี้ก็สิ้นสุดลง



เราคิดว่านักวิทยาศาสตร์ผู้ปราดเปรื่องเหล่านี้เข้าใจผิด เมื่อเขาตั้งสมมติฐานไว้ในรายงานของเขาว่า ไฟฟ้ามาจากลวดที่เชื่อมต่อกับเพดานมายังกระบอกบินและต่อไปยังลูกกลมอีกต่อหนึ่งแล้วไปกระตุ้นให้เกิดไฟฟ้าในเครื่องกลและคนหมุนล้อ เราตั้งสมมติฐานว่าไฟฟ้าถูกปล่อยออกไปมากกว่า ไม่ได้ถูกถ่ายทอดไปสู่ลวด นั่นคือเครื่องกลและคนได้รับการกระตุ้นให้เกิดไฟฟ้าลบ คือถูกทำให้มีไฟฟ้าอยู่น้อยกว่าปกติ

การกล่าวถึง “ผู้ดู” หรือ “ผู้รับ” (เช่น กระบอกบินต่อโดยใช้หลอดมุกกับลูกกลมที่ถูกหมุน) ในที่นี้มันแสดงให้เห็นว่า แฟรงคลินรู้เกี่ยวกับการปรับปรุงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของฮอดสบีซึ่งเพิ่งเกิดขึ้นเมื่อไม่นานมานี้ สิ่งที่คอลลินสันส่งให้เขานั้นเป็นเพียงหลอดแก้วธรรมดาเท่านั้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าค่อยๆ ถูกนำมาใช้อย่างช้าๆ ในอังกฤษ แต่ที่แฟรงคลินได้อ้างถึงในจดหมายแบบเดียวกันนี้ได้กล่าวถึงผู้ร่วมงานคนหนึ่งของเขาในฟิลาเดลเฟียว่าได้สร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบง่ายๆ ขึ้น ซึ่งประกอบด้วยลูกกลมแก้วติดอยู่บนปลายหนึ่งของแกนเหล็กซึ่งมีมือหมุนเล็กๆ ติดอยู่ “ซึ่งท่านสามารถจะหมุนลูกกลมนั้นได้เหมือนกับการหมุนลูกกลิ้งสำหรับบด” เขากล่าวเพิ่มเติมว่า “เป็นความจริงที่ลูกกลมนั้นจะหมุนให้ลอยไม่ได้คล่องถ้าใช้ล้อที่ใหญ่ แต่การหมุนให้ลอยนั้นเขาคิดว่าไม่สำคัญเท่าใดนัก เพราะเพียงหมุนไม่ถึงรอบก็จะเกิดไฟฟ้าที่จะเก็บไว้ในภาชนะแก้ว (ขวดลีเดน) ได้อย่างเพียงพอแล้ว”

คอลลินสันได้นำจดหมายนี้ไปให้วัดสันอัน ซึ่งวัดสันก็ได้คัดข้อความบางตอนในจดหมายนี้ใส่ไว้ในรายงานของเขาเองใน Philosophical Transactions ส่วนที่เขาข้ามไปก็คือย่อหน้าแรกและข้อความสุดท้ายที่ขึ้นต้นด้วย “เราคิดว่าท่านสุภาพบุรุษผู้ปราดเปรื่อง (วัดสัน) เข้าใจผิดว่า...” วัดสันจบรายงานของเขาด้วยการตั้งข้อสังเกตว่าสมมติฐานของแฟรงคลินนั้น “สอดคล้องกับสิ่งที่ข้าพเจ้าได้ให้ข้อมูลไว้ตั้งแต่ต้นฤดูใบไม้ผลิที่แล้วเป็นอย่างมาก จนข้าพเจ้ามีอาจที่จะไม่เอ่ยถึง”

ตั้งแต่บัดนี้และในเวลาต่อมาวัดสันไม่เคยพลาดที่จะอ้างถึงผลงานและแนวคิดของแฟรงคลินเลย และเขายอมรับว่าแฟรงคลินได้ตั้งสมมติฐานต่างๆ นั้นด้วยตนเอง แต่เขาก็กังขังจนกระทั่งท้ายที่สุดว่าทั้งสองสมมติฐานนั้นคล้ายกัน ความคิดเห็นเกี่ยวกับเรื่องนี้ในปัจจุบันก็คือสมมติฐานดังกล่าวมีแนวความคิดคล้ายกัน แต่แนวความคิดของแฟรงคลินสมบูรณ์กว่า ชัดเจนกว่า และมีข้อความที่เฉพาะเจาะจงกว่าที่สำคัญที่สุดก็คือ ด้วยแนวคิดของแฟรงคลินนี้เองที่ทำให้เกิดประโยชน์มากกว่า ช่วยให้เกิดแนวคิดใหม่ในการทดลองได้ดีกว่า

โดยแท้จริงแล้ว การทดลองใหม่ๆ ดังกล่าว ที่ช่วยทำให้แฟรงคลินได้เห็นว่าสมมติฐานแรกของเขา นั้นไม่น่าพอใจเสียทีเดียว เพราะในเดือนสิงหาคม 1747 เขาได้เขียนจดหมายถึงคอลลินสันว่า



ในการที่จะทำการทดลองต่อไปนั้น เนื่องจากข้าพเจ้าได้สังเกตปรากฏการณ์เกี่ยวกับ ไฟฟ้าเพียง 1 หรือ 2 ปรากฏการณ์เท่านั้น ข้าพเจ้าจึงไม่สามารถหาหลักการที่จะอธิบายได้ ทำให้ข้าพเจ้าไม่ค่อยมั่นใจในสมมติฐานของข้าพเจ้ามากนัก และรู้สึกละอายที่จะกล่าวถึง ตัวเองว่า มีความคิดถูกต้องได้ ซึ่งในการทำการทดลองเหล่านี้มีแนวคิดที่สวดยหรูมากมาย ก็แนวคิดแล้ว ซึ่งเราค้นพบในไม่ช้าว่าใช้ไม่ได้ อย่างไรก็ตาม ถ้าจะพิจารณาถึงประโยชน์ ของสมมติฐานที่ใช้ไม่ได้แล้วนั้นว่ามีอยู่บ้าง ก็คือ อาจจะช่วยให้ นักวิทยาศาสตร์ที่ล้มเหลว รู้จักความอ่อนน้อมถ่อมตนได้ ซึ่งตอนนี้ข้าพเจ้าต้องขอร้องไม่ให้ท่านเผยแพร่จดหมายนี้ต่อ ผู้ใด หรือถ้าท่านจะเล่าเรื่องนี้ให้เพื่อนคนใดของท่านฟังก็ตาม ขอได้โปรดลงวนชื่อของ ข้าพเจ้าไว้เป็นความลับด้วย

แน่นอนที่คำขอร้องนี้ถึงมือคอลลินสันช้าไป เพราะเขาได้แสดงจดหมาย 2 ฉบับแรกของแฟรงคลิน ต่อวัดสันเสียแล้ว เป็นไปตามที่แฟรงคลินกล่าวคือ “แนวคิดที่สวดยงาม” หรือสมมติฐานส่วนใหญ่คงอยู่ได้ ไม่นานจริงๆ สมมติฐานส่วนมากบางทีก็ถูกยกเลิกก่อนที่คนอื่นจะรับรู้ด้วยซ้ำ เพราะโดยประสบการณ์ที่ ผู้ศึกษาค้นคว้ามีอยู่ก่อนนั้นทำให้เขารู้ได้เลยว่าเป็นสมมติฐานที่ใช้ไม่ได้และยกเลิกเอง สำหรับสมมติฐาน ที่ยังคงเหลืออยู่จนถึงขั้นที่จะพิสูจน์กันต่อไปอีกนานนั้นเหลืออยู่เพียงส่วนน้อย และที่เหลืออยู่เพียงส่วนน้อย นั้นก็มักจะถูกเปลี่ยนแปลง ที่เป็นสมมติฐานดั้งเดิมโดยไม่ถูกเปลี่ยนแปลงเลยนั้นมีน้อยเต็มที

แฟรงคลินก็เช่นเดียวกับวัดสัน ยอมรับว่ามีของไหลไฟฟ้าเพียงชนิดเดียว ซึ่งเขาเชื่อว่ามีอยู่ในวัตถุ ทุกชนิด วัตถุที่ไม่แสดงอำนาจไฟฟ้านั้นแสดงว่ามีไฟฟ้าอยู่ในปริมาณที่ปกติหรือสมดุล จึงไม่แสดง ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าออกมา เขาคิดว่ากระบวนการในการทำให้วัตถุแสดงอำนาจทางไฟฟ้าออกมาได้นั้น คือการดึงเอาไฟฟ้ามาจากวัตถุหนึ่งและให้ไปกับวัตถุอื่นๆ ดังนั้นของไหลไฟฟ้าจึงมีใช้สิ่งที่ถูกสร้างให้เกิดขึ้น ใหม่ แต่ได้จากการถ่ายเทระหว่างวัตถุเท่านั้น เมื่อวัตถุที่ไม่แสดงปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าถูกถูมันอาจจะ ได้รับไฟฟ้าเข้ามาจนถึงระดับที่เรียกว่าเป็นบวก (หรือเพิ่ม) หรืออาจจะถูกดึงไฟฟ้ามาจากสิ่งที่ใช้ถูและ กลายเป็นมีไฟฟ้าบวกหรือเพิ่ม ในขณะที่สิ่งที่ใช้ถูซึ่งถูกดึงไฟฟ้าออกไปจะกลายเป็นมีไฟฟ้าลบหรือลด

ในกระบวนการเกิดไฟฟ้าโดยการนำ ซึ่งเมื่อวัตถุตัวนำ 2 ชนิดมาสัมผัสกันหรือเข้ามาอยู่ใกล้กัน จนเกิดประกายไฟแลบผ่านอากาศระหว่างวัตถุทั้งสองนั้น เขาตั้งสมมติฐานว่า วัตถุที่มีไฟฟ้าในปริมาณปกติ จะรับไฟฟ้าเพิ่มเข้าไปจากวัตถุที่มีไฟฟ้าบวก และจะให้ไฟฟ้าไปกับวัตถุที่มีไฟฟ้าลบ ดังนั้น “ทิศทางของ การไหล” ของของไหลไฟฟ้าในระหว่างการนำนั้นจะไปจากวัตถุที่มีไฟฟ้าบวกไปสู่วัตถุที่มีไฟฟ้าเป็นกลาง หรือไปสู่วัตถุที่มีไฟฟ้าลบ และจากวัตถุที่เป็นกลางไปสู่วัตถุที่มีไฟฟ้าลบ นี่คือหลักการการหาทิศทางของ การไหลของไฟฟ้า (กระแสไฟฟ้า) ซึ่งยังคงใช้กันอยู่จนถึงปัจจุบัน



ในระยะนั้นด้วยความที่ยังไม่รู้ถึงการค้นพบที่มีมาก่อนของดูเฟย์ว่าไฟฟ้ามี 2 ชนิดที่เขาเรียกว่า “แก้ว” และ “ยางไม้” แฟรงคลินจึงตั้งศัพท์สำหรับปรากฏการณ์นี้ของเขาขึ้นมาเอง คือ ตามหลักของไหลไฟฟ้าชนิดเดียว นั้นวัตถุใดที่มีปริมาณไฟฟ้ามากกว่าระดับปกติหรือเป็นกลางซึ่งดูเฟย์เรียกว่า “แก้ว” นั้น แฟรงคลินใช้ศัพท์ บวกหรือเพิ่ม ที่ดูเฟย์เรียกว่า “ยางไม้” นั้น แฟรงคลินใช้ศัพท์ว่า ลบหรือลด หรือ ลดลง ซึ่งมีประโยชน์ที่ช่วยแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการวัดไฟฟ้าที่มีอยู่ได้ในเชิงปริมาณ โดยแท้จริงแล้วทฤษฎีของเขาเป็นการสมมติว่าปริมาณไฟฟ้าในวัตถุที่เป็นฉนวนนั้นอยู่ในสภาพที่ยังไม่เปลี่ยนแปลง และกระบวนการทำให้เกิดไฟฟ้านั้นเป็นเพียงการถ่ายเทไฟฟ้า บางทีแนวคิดนี้อาจจะถือได้ว่าเป็นการอธิบายที่ชัดเจนเป็นครั้งแรกเกี่ยวกับหลักการทางไฟฟ้าที่สำคัญอย่างยิ่งยวดที่ว่า ไฟฟ้าไม่สามารถทำให้เกิดขึ้นหรือหมดไปได้ ซึ่งหลักการนี้ต่อมาเรียกว่า หลักการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า (*principle of conservation of electric charge*) ตัวอย่างเช่น สมมติว่านำวัตถุต่างกัน 2 ชนิดมาถูกัน ผลก็คือจะเกิดการถ่ายเทไฟฟ้าจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่ง และโดยหลักการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า ปริมาณไฟฟ้าที่วัตถุหนึ่งได้รับนั้นจะเท่ากับปริมาณไฟฟ้าที่วัตถุที่ให้อิเลิไปพอดี กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือถ้าเราให้ q แทนปริมาณของไฟฟ้าที่ถ่ายทอดในขณะที่เกิดการถู วัตถุหนึ่งจะได้ของไหลไฟฟ้าเพิ่มขึ้น $+q$ และอีกวัตถุหนึ่งจะเสียของไหลไฟฟ้าไป $-q$ เราจะเห็นได้ว่าจะต้องรู้หลักการอนุรักษ์ไฟฟ้างดกล่าวนั้นเสียก่อนจึงจะสามารถศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าอย่างกว้างขวางและลึกซึ้งได้

การอธิบายของแฟรงคลินเกี่ยวกับขดเก็บไฟฟ้าลิเดน และการเกิดอำนาจไฟฟ้า
โดยการเหนี่ยวนำ ในจดหมายถึงคอลลิสันในเดือนกรกฎาคม 1747 นั้น แฟรงคลินแสดงให้เห็นว่าสมมติฐานของไหลไฟฟ้าชนิดเดียวของเขานั้นอาจจะอธิบายการทำงานของขดลิเดนได้ เราได้เปลี่ยนแปลงคำศัพท์และคำกล่าวที่แฟรงคลินใช้ในข้อความที่ได้จากจดหมายฉบับนี้ไปหลายอย่างเพื่อไม่ให้เกิดความสับสนในการอธิบาย

ในขณะเดียวกันกับที่สารที่ฉาบภายในของขด (ลิเดน) ถูกทำให้เกิด ไฟฟ้าบวก หรือ ไฟฟ้าเพิ่ม นั้น สารที่ฉาบภายนอกขดก็จะเป็น ไฟฟ้าลบ หรือ ไฟฟ้าลด ในสัดส่วนที่สัมพันธ์กันพอดี ไม่ว่าปริมาณไฟฟ้าที่ใส่เข้าไปในสารที่ฉาบภายในขดเท่าใด ก็จะมีไฟฟ้าออกมาที่สารที่ฉาบขดภายนอกเท่านั้น (ซึ่งก็จะต่อไปสู่ดิน) เพื่อที่จะให้เข้าใจในเรื่องนี้ดีขึ้น ลองสมมติว่าปริมาณไฟฟ้าในแต่ละส่วนของขดก่อนทำการทดลองเป็น 20 ในการถูขดแก้วแต่ละครั้งปริมาณไฟฟ้าเป็น 1 เมื่อถูครั้งหนึ่งก็จะทำให้มีปริมาณไฟฟ้าในสารที่ฉาบ



ในขวดเป็น 21 ในขณะที่ปริมาณไฟฟ้าที่สารที่ฉาบนอกขวดเหลือ 19 เมื่อให้ไฟฟ้าแก่ขวดครั้งที่ 2 สารภายในขวดจะมีปริมาณไฟฟ้าเป็น 22 ภายนอกขวดเป็น 18 เป็นดังนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งในการดู 20 ครั้ง สารภายในขวดจะมีปริมาณไฟฟ้า 40 สารภายนอกขวดไม่มีไฟฟ้าเลย กระบวนการทำให้เกิดไฟฟ้าจะหยุดลงเพราะไม่มีไฟฟ้าจากสารภายนอกขวดเข้าไปภายในขวดได้อีกแล้ว เพราะไฟฟ้าของสารภายนอกขวดไม่มีจะให้แล้ว ถ้าท่านต้องการจะให้ไฟฟ้าจากนอกขวดเข้าไปในขวดได้อีกโดยพยายามจะทำให้มีไฟฟ้าเข้าไปในขวดอีก มันจะไหลกลับออกมา หรือเกิดการไหลออกมาทางด้านข้างของขวดเกิดเสียงดัง

ความสมดุลไม่สามารถจะเกิดขึ้นได้โดยการสัมผัส ภายในขวด จะต้องทำให้เกิดภายนอกขวด ระหว่างสารที่ฉาบขวดภายนอกและภายในเท่านั้นโดยการสัมผัสสารที่ไม่แสดงอำนาจไฟฟ้า (ตัวนำ) หรือโดยสัมผัสทั้งสองส่วนพร้อม ๆ กันซึ่งจะเกิดสมดุลอย่างรุนแรงและรวดเร็ว หรือโดยการสัมผัสแต่ละส่วนสลับกันซึ่งจะเกิดความสมดุลชั่วระยะหนึ่ง

เนื่องจากไม่มีไฟฟ้าจะเข้าไปในสารที่ฉาบภายในขวดได้อีกแล้วในเมื่อถูกไล่ออกไปจากสารที่ฉาบภายนอกขวด ดังนั้นขวดจึงยังไม่ถูกทำให้เกิดไฟฟ้า ไม่มีอะไรจะเข้าไปในสารในขวดได้ถ้าไม่มีอะไรออกไปจากสารภายนอกขวด ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อกันขวดหนาเกินไปหรือเมื่อขวดถูกวางไว้บนสารที่มีอำนาจไฟฟ้า (หรือฉนวน) เมื่อขวดถูกทำให้เกิดไฟฟ้าจะสามารถดึงไฟฟ้าจากภายในขวดได้เพียงเล็กน้อยโดยการสัมผัสกับขวด นอกเสียจากจะมีไฟฟ้าในปริมาณเดียวกันเข้าไปในสารภายนอกขวด (โดยการต่อไปสู่ดิน)

แฟรงคลินได้ปรับปรุงการทดลองหลายการทดลองเพื่อทดสอบคำอธิบายดังกล่าวข้างต้น ตัวอย่างเช่น เพื่อแสดงให้เห็นว่าสารที่ฉาบภายนอกขวดถูกทำให้มีอำนาจไฟฟ้าลบในขณะที่ภายในขวดถูกทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าบวก โดยใช้เครื่องวัดประจุไฟฟ้าประกอบด้วยลูกกลมทำด้วยไม้คอร์ก 2 ลูกแขวนด้วยเส้นไหม เมื่อเครื่องวัดประจุไฟฟ้านี้ถูกนำไปใกล้ขวดที่ต่อกับสารที่ฉาบภายในขวด ลูกกลมจะถูกดูดจนแตะกับขวด มันก็จะกลายเป็นมีอำนาจไฟฟ้าบวกโดยการเหนี่ยวนำ และหลังจากนั้นจะเกิดการผลัก โดยการนำลูกกลมที่มีอำนาจไฟฟ้าบวกนี้เข้าไปใกล้สารที่ฉาบนอกขวด ลูกกลมจะถูกดูดอย่างแรง แสดงว่าสารภายนอกขวดมีอำนาจไฟฟ้าลบ

ในการวิเคราะห์การทำงานของขวดลีดเอนนี้ แฟรงคลินได้อธิบายถึงกระบวนการ การทำให้เกิดไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นการทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้ากับวัตถุที่ถูกนำเข้าไปใกล้แต่ไม่สัมผัสกับวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ ทำให้สารที่อยู่นอกขวดลีดเอนมีอำนาจไฟฟ้า เพราะสารภายนอกขวดนี้แยก



จากสารภายในขวดที่มีอำนาจไฟฟ้าโดยมีแก้วคันซึ่งของไหลไฟฟ้าผ่านไม่ได้ ดังที่แฟรงคลินได้แสดงให้เห็น โดยทำการทดลองกับวัตถุดังกล่าวทีละอย่าง สิ่งที่เกิดขึ้นนี้คืออะไร ในกรอบของทฤษฎีของแฟรงคลิน ก็คือ ของไหลไฟฟ้าส่วนเกินที่อยู่ในสารเคลื่อนภายในขวดจะส่งแรงผลักดันออกมาเหนี่ยวนำของไหลไฟฟ้าที่อยู่ที่สารเคลื่อนภายนอก และถ้าสารเคลื่อนภายนอกนี้ต่อไปสู่ดินของไหลไฟฟ้าก็จะไหลลงลงดิน ทำให้สารเคลื่อนภายนอกขาดอำนาจไฟฟ้า หรือมีอำนาจไฟฟ้าเป็นลบ

ทฤษฎีไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำนี้สามารถที่จะใช้อธิบายการทดลองต่อไปนี้ได้อย่างเพียงพอ ผูกแท่งโลหะยาวด้วยเส้นไหม และวางหลอดแก้วที่ถูกฉีกไว้ที่ปลายหนึ่งของแท่งโลหะโดยไม่ให้สัมผัสแท่งโลหะ โดยการใช้เครื่องวัดประจุไฟฟ้า สามารถแสดงให้เห็นได้ว่าปลายของแท่งโลหะที่อยู่ห่างจากหลอดแก้วที่มีอำนาจไฟฟ้าบวก จะถูกชักนำให้มีอำนาจไฟฟ้าบวก ในขณะที่ปลายของแท่งโลหะที่อยู่ใกล้หลอดแก้วที่มีอำนาจไฟฟ้าบวก จะถูกทำให้มีอำนาจไฟฟ้าลบ การอธิบายปรากฏการณ์นี้โดยทฤษฎีของแฟรงคลิน ก็คือ ไฟฟ้าที่มีอยู่ตามธรรมชาติในแท่งโลหะจะถูกผลักที่ปลายที่อยู่ห่างจากหลอดแก้ว ทำให้มีอำนาจไฟฟ้ามากขึ้น ส่วนอีกปลายหนึ่งจะถูกทำให้มีอำนาจไฟฟ้าลดลง ถ้าในตอนนั้นหลอดแก้วถูกนำออกไป แท่งโลหะก็จะกลับมามีอยู่ในสภาพที่ไม่มีอำนาจไฟฟ้าเช่นเดิม นั่นก็คือการทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าที่ปลายของแท่งโลหะนั้นเกิดขึ้นชั่วคราว



รูปที่ 17 แฟรงคลินทดลองเขว่นกฤษณ์โลหะไว้ที่ว้าวโดยใช้เส้นไหม พบว่าทำให้เกิดประกายไฟฟ้าแลบขึ้นได้



อย่างไรก็ตาม สมมุติว่าในขณะที่หลอดแก้วที่ถูกทำให้มีอำนาจไฟฟ้าบวกถูกนำเข้าไปใกล้แท่งโลหะอีก และให้แท่งโลหะต่อกับดินหรือสัมผัสกับมือชั่วขณะ ถ้านำหลอดแก้วออกไป เครื่องวัดประจุไฟฟ้าจะแสดงให้เห็นได้ว่าแท่งโลหะทั้งแท่งนั้นจะมีอำนาจไฟฟ้าลบและคงอยู่อย่างถาวร ในเชิงทฤษฎีของแฟรงคลิน ไฟฟ้าที่เก็บอยู่ในหลอดแก้วที่ถูกดูจะผลักไฟฟ้าที่มีอยู่ตามธรรมชาติในแท่งโลหะเข้าสู่ดินหรือร่างกายของผู้ทดลอง และเมื่อการเชื่อมต่อกับดินหรือกับมือขาดตอนลง แท่งโลหะก็จะถูกทิ้งให้อยู่ในสภาพขาดอำนาจไฟฟ้าต่อไป

เราจะเห็นได้ว่าทฤษฎีไฟฟ้าชนิดเดียวนั้นสามารถใช้ได้ดีในการชี้แนะให้เกิดการทดลองใหม่ๆ และอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ทางไฟฟ้าได้มากมาย แม้กระนั้นแฟรงคลินก็ได้สังเกตเห็นในการที่จะปรับปรุงและขยายขอบเขตของทฤษฎีดังกล่าวออกไป ดังนั้นในไม่ช้าเขาก็เปลี่ยนทฤษฎีไปจากนักวิทยาศาสตร์ก่อนหน้านี้เขาเป็นอย่างมาก ที่ว่าการดึงดูดและการผลักเกิดจากไอของสารที่อยู่รอบวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้า เขากลับตั้งสมมติฐานว่าของไหลไฟฟ้ามีอยู่ภายในตัววัตถุเองในระหว่างที่เกิดการดูดหรือผลัก เขาคิดว่าของไหลไฟฟ้าประกอบด้วยอนุภาคที่ละเอียดมากจนกลมกลืนเป็นเนื้อเดียวแทรกซึมเข้าไปในเนื้อวัตถุ แม้แต่ในเนื้อโลหะที่มีความหนาแน่นที่สุดก็ตาม โดยสมมุติว่า “อนุภาค” เหล่านั้นผลักรันเองอยู่ภายในเนื้อวัตถุ เขาสามารถจะพิสูจน์ถึงแรงผลักระหว่างวัตถุ 2 ชนิดที่มีอำนาจไฟฟ้าบวกทั้งคู่ได้ โดยสมมุติต่อไปอีกว่ามีแรงดึงดูดอย่างแรงระหว่างอนุภาคไฟฟ้าและสารทั่วไป เขาสามารถอธิบายถึงแรงดึงดูดที่เกิดขึ้นระหว่างวัตถุที่มีอำนาจ ไฟฟ้าบวกกับวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าเป็นกลางหรือเป็นลบได้

การปกป้องทฤษฎีไฟฟ้าชนิดเดียวโดยอีพินัส (Aepinus) โดยเริ่มด้วยคำถามว่า แล้วการผลักระหว่างวัตถุ 2 ชนิดที่มีอำนาจไฟฟ้าลบทั้งคู่ จะอธิบายได้อย่างไร นี่คือการปรากฏการณ์ที่เป็นที่รู้จักกันดีตั้งแต่สมัยของคูเพย์ แต่ถูกแฟรงคลินมองข้ามไปจนกระทั่งเขาไปสังเกตได้ในการทดลองของเขาเอง ในปี ค.ศ. 1748 เขากล่าวว่า “มันทำให้เราประหลาดใจมาก และไม่รู้จะอธิบายได้อย่างไรด้วย” เขาไม่สามารถหาคำอธิบายที่ดีพอในปรากฏการณ์นี้เลย ถึงแม้ว่าทฤษฎีของเขาจะไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าได้ทั้งหมด แต่ก็ทฤษฎีที่มีประโยชน์มากในการตั้งเอาปรากฏการณ์ต่างๆ มากมาย ซึ่งแต่เดิมเป็นปรากฏการณ์ที่อยู่ในลักษณะไม่สัมพันธ์กันเข้ามาสัมพันธ์กันได้เป็นอย่างดีจนไม่สามารถจะละทิ้งทฤษฎีนี้ได้

ประมาณอีก 10 ปีต่อมา วิธีการที่จะ “ปกป้อง” ทฤษฎีนี้ก็ถูกค้นพบโดยนักวิทยาศาสตร์อีกท่านหนึ่งคือ ฟรานซ์ ยู ทิ อีพินัส (Franz U. T. Aepinus) แห่งเบอร์ลิน และภายหลังย้ายไปอยู่เซนต์ปีเตอส์เบิร์ก อีพินัสได้เสนอให้เพิ่มเติมสมมติฐานหรือคำอธิบายว่าอนุภาคของสารโดยปกติจะผลักรันเองอยู่ภายใน



เมื่อสาร โดยการปรับปรุงแนวคิดดังกล่าว วัตถุที่ไม่แสดงอำนาจไฟฟ้าหรือมีอำนาจไฟฟ้า “เป็นกลาง” ก็คือ วัตถุที่มีของไหลไฟฟ้าในปริมาณที่เพียงพอที่จะเกิดการดึงดูดระหว่างของไหลไฟฟ้าและอนุภาคของวัตถุเอง ถ้าวัตถุ 2 ชนิดถูกทำให้มีอำนาจไฟฟ้าลบโดยการดึงดูดอำนาจไฟฟ้าออกไปจากแต่ละชนิด ความสมดุล นั้นก็จะถูกรบกวน เพราะแรงผลักระหว่างอนุภาคภายในสารทั่วไปนั้นจะปรากฏออกมามากกว่า

การ “ปกปิด” ทฤษฎีของไหลไฟฟ้าชนิดเดียว โดยการปรับปรุงให้เข้ากับปรากฏการณ์ที่สังเกตได้นี้ คือกระบวนการที่เราจะได้พบบ่อยๆ ในกรณีศึกษาเกี่ยวกับไฟฟ้านี้ และก็จะเกิดขึ้นต่อๆกันมาในวิทยาศาสตร์ ทุกสาขาที่มีการวิจัยค้นคว้าอย่างเข้มข้น ไม่มีทฤษฎีหรือแนวความคิดหลักใดที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่า มีประโยชน์จะถูกยกเลิกไปในทันทีทันใด โดยเพียงแต่มีการทดลอง “ที่สำคัญ” หรือ “ที่มีเหตุผล” แสดงข้อมูลที่ ขัดแย้งกับทฤษฎีดังกล่าว ซึ่งโดยแท้จริงแล้วไม่มีทฤษฎีใดที่ “สำคัญ” ในแง่ที่ว่าสามารถใช้อธิบาย ปรากฏการณ์ได้ทั้งหมดด้วยความใหม่และแตกต่างอย่างสิ้นเชิงกับทฤษฎีอื่นๆที่เคยมีมาก่อน แม้ว่าการ ปรับปรุงทฤษฎีเดิมจะมีจุดมุ่งหมายที่จะปกป้องความเป็นประโยชน์ของทฤษฎีเดิมและยังคงคำถามอยู่ ก็ตาม ทฤษฎีนั้นๆก็จะไม่ถูกยกเลิกง่ายๆเพียงด้วยการวิจารณ์เชิงลบเท่านั้น บางสมมติฐานหรือแนว ความคิดหลักใหม่จะต้องได้รับการพิสูจน์จนพบว่ามีความแตกต่างแบบเหนือกว่าและมีประโยชน์กว่า เสียก่อนจึงจะถูกนำมาใช้แทน ซึ่งทั้งนี้ต้องการการทดลองอย่างกว้างขวางลึกซึ้งและใช้เวลานาน และแม้ กระนั้นก็ตามก็มักจะพบว่าส่วนมากนักวิทยาศาสตร์จะยอมยกเลิกแนวคิดเดิมก็ต่อเมื่อพบว่าขัดแย้งกับข้อมูลที่ สังเกตได้อย่างมาก และการยกเลิกดังกล่าวก็มักจะเป็นไปอย่างช้าๆ

ฟ้าผ่าและสายล่อฟ้า ในบรรดาผลงานทั้งหมดของแฟรงคลินนั้น การศึกษาปรากฏการณ์การ เกิดฟ้าผ่าและสายล่อฟ้านั้นถือเป็นการศึกษาหนึ่งที่ทำให้เขาได้รับการยกย่องให้เป็นนักวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียง ความคล้ายคลึงระหว่างประกายไฟฟ้าในการทดลองและปรากฏการณ์ฟ้าผ่าในธรรมชาตินั้นได้ถูก สังเกตมาตั้งแต่สมัยฮอคลบิแล้ว และได้มีความพยายามที่จะบันทึกการสังเกตและอธิบายโดยคำอธิบาย ต่างๆกันถึงความคล้ายคลึงของการทดลองทั้งสอง บางครั้งแฟรงคลินก็เคยสังเกตพบความคล้ายคลึงนี้ เช่นกัน ซึ่งบางทีด้วยความไม่สนใจกับคำอธิบายที่เคยมีมาก่อน เป็นนิสัยของเขาที่จะเก็บสมุดบันทึก เกี่ยวกับ “การทดลองที่ข้าพเจ้าทำ พร้อมด้วยบันทึกสิ่งที่ต้องการจะพิสูจน์หรือสมมติฐาน สาเหตุที่ต้องการ จะพิสูจน์สมมติฐาน และการสังเกตที่ได้จากการทดลอง ซึ่งในภายหลังข้าพเจ้าได้ตั้งเพียงบางส่วนซึ่งน้อย มานานเขียนไว้ในจดหมาย” และในสมุดบันทึกฉบับหนึ่ง เขานิยามไว้ดังนี้

7 พฤศจิกายน 1749 ของไหลไฟฟ้ากับฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ที่สัมพันธ์กันตาม คุณสมบัติที่คล้ายคลึงกันดังต่อไปนี้ 1) ให้แสงสว่าง 2) สีของแสงสว่าง 3) ทิศทางโค้ง



4) การเคลื่อนที่รวดเร็ว 5) ใช้โลหะเป็นตัวนำได้ 6) มีเสียงในการระเบิด 7) คงอยู่ได้ในน้ำ หรือน้ำแข็ง 8) ผ่านวัตถุที่ผ่านเข้าไป 9) ทำลายชีวิตสัตว์ (เขามาสัตว์ปีกโดยอำนาจทาง ไฟฟ้าของดินเหนียวๆ ขวดเชื่อมต่อกัน) 10) ทำให้โลหะหลอมละลาย 11) ทำให้สารที่ ดัดไฟได้ถูกไหม้ 12) มีกลิ่นกำมะถัน ของไหลไฟฟ้าจะถูกดูดได้ด้วยวัตถุปลายแหลม เรา ไม่รู้ว่าเป็นสมบัติของฟ้าแลบด้วยหรือเปล่า แต่เนื่องจากมันคล้ายคลึงกันในคุณสมบัติหลาย อย่างที่เราสามารถเปรียบเทียบได้ดังกล่าวแล้ว บางทีอาจจะมีบางอย่างไม่เป็นไปตามที่กล่าว ข้างต้น ลองมาทดลองกันใหม่อีกที

ด้วยคำถามสุดท้ายเกี่ยวกับ “ปลายแหลม” นี่เองที่เป็นเรื่องใหม่และไม่ต้องสงสัยเลยว่าจะต้องได้มา จากการทดลองก่อนหน้านี้ที่เขาได้ทำโดยไม่รู้ว่าจะได้บรรยายการสังเกตเกี่ยวกับความคล้ายคลึงดังกล่าว ข้างต้นมาแล้ว แฟรงคลินวางวัตถุทำด้วยโลหะไว้บนที่วางที่เป็นฉนวน และทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าอย่างแรง ในวัตถุโลหะนั้น เขาก็เอียงโลหะปลายหูลุ่ เข้าไปใกล้วัตถุเพื่อดึงอำนาจไฟฟ้าออกมา เขาจะต้องนำแท่ง โลหะไปใกล้วัตถุมาก ๆ โดยมีระยะห่างไม่เกิน 1 นิ้ว จึงสามารถดึงอำนาจไฟฟ้าออกมาได้ และในการถ่าย ทอดอำนาจไฟฟ้างดกล่าวนั้น มีไฟแลบอย่างแรงและมีเสียงดังเกิดขึ้นด้วย ต่อจากนั้นเขาใช้แท่งโลหะปลาย แหลมแทนแท่งโลหะปลายหูลุ่ โดยไม่หุ้มแท่งโลหะนั้นด้วยฉนวน แต่ถือไว้ในมือหรือแตะกับดิน เขาสามารถ ดึงอำนาจไฟฟ้าออกมาจากวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้านั้นได้ แม้โลหะปลายแหลมนั้นจะอยู่ห่างจากวัตถุถึง 6 หรือ 7 นิ้ว ยิ่งกว่านั้นในตอนนี้การถ่ายเทอำนาจไฟฟ้าก็สิ้นสุดลง และที่ปลายสุดของโลหะปลายแหลมปรากฏว่า มีการเรืองแสงจางๆ ซึ่งต่อมาภายหลังแฟรงคลินได้แสดงให้เห็นว่าเป็นปรากฏการณ์ที่สัมพันธ์กันอย่าง ใกล้ชิดหรือคล้ายคลึงกับปรากฏการณ์ไฟของเซนต์เอลโม

ตอนนี้คำถามที่แฟรงคลินได้ตั้งไว้ในสมุดบันทึกของเขาก็คือ แท่งโลหะปลายแหลมจะทำให้เกิดผล ต่อฟ้าแลบในธรรมชาติ เช่นเดียวกับในการทดลองนี้หรือไม่ ถ้าได้ก็หมายความว่าเมฆฝนคะนองที่ทำให้เกิด ฟ้าผ่านั้นมีอำนาจไฟฟ้า ดังนั้นอาจจะเป็นไปได้ที่จะดึงอำนาจไฟฟ้าจากเมฆอย่างรวดเร็วได้อย่างสงบและ ไม่มีอันตรายจากฟ้าผ่าโดยใช้แท่งโลหะปลายแหลม แม้ว่ามันจะอยู่ห่างจากเมฆมากก็ตาม เพื่อตอบคำถาม นี้เขาได้เสนอผลการทดลองไว้ในรายงานที่เขียนขึ้นในปี ค.ศ. 1740

บนยอดหอคอยสูงและชัน เขาตั้ง “ตุ๋ยาม” ขนาดใหญ่พอที่จะให้ร่วมกับคนติดแท่งเหล็กยาวปลายแหลม เอาไว้บนแท่นฉนวน โดยตัดให้โค้งเพื่อให้ผ่านออกไปทางประตูได้โดยไม่แตะกลอง และตั้งสูงขึ้นไปใน อากาศประมาณ 20 ถึง 30 ฟุต ซึ่งเมื่อเมฆที่ลอยต่ำๆ ผ่านมา คนที่ยืนอยู่บนแท่นฉนวนสามารถที่ จะดึงเอาประกายไฟจากแท่งเหล็กมาได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแท่งเหล็กได้รับไฟฟ้าจากก้อนเมฆลงมา “ถ้ามี



อันตรายต่อคน (ทั้งๆ ที่ข้าพเจ้าคิดว่าจะไม่มีอันตรายใดๆ)” ขอให้คนลงจากแท่นจนวนมายืนที่พื้นในแฉะน้ำ
เส้นลวดที่ปลายข้างหนึ่งต้องลงดินมาแตะกับแท่งโลหะ ดังนั้น “จะเกิดประกายไฟจากแท่งโลหะไปสู่เส้นลวด
โดยไม่มีผลต่อคน” ถ้าหากการทดลองเป็นผลสำเร็จ

ความรู้เกี่ยวกับพลังของโลหะปลายแหลมจะช่วยป้องกันบ้าน โบสถ์ เรือ และอื่น ๆ จาก
การถูกฟ้าผ่า โดยการติดแท่งโลหะปลายแหลมที่ทำด้วยเข็ม และขานทองเพื่อกันสนิมไว้ใน
ส่วนที่สูงที่สุดของบ้าน และที่ปลายล่างของแท่งโลหะดังกล่าวต้องลงลงมาสู่ภายนอกของ
อาคารลงสู่ดิน หรือรอบเชือกยึดเสากระโดงเรือ (และลงมาข้างๆ เรือจนจดน้ำ แท่งโลหะ
ปลายแหลมเหล่านี้อาจจะดึงเอาไฟฟ้าออกมาจากเมฆอย่างสงบก่อนที่มันจะเกิดฟ้าผ่าและ
ทำให้เราปลอดภัยจากภัยพิบัติที่รุนแรงนี้ได้

จดหมายและรายงานของแฟรงคลินที่ส่งไปอังกฤษนั้นเริ่มได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง และ
ต่อจากนั้นก็ไปถึงฝรั่งเศส ซึ่งได้มีการแปลและพิมพ์เผยแพร่เป็นภาษาฝรั่งเศส ที่ฝรั่งเศสนี้เองที่การทดลอง
ที่เขาเสนอได้ถูกทดลองเป็นครั้งแรกโดยนักวิทยาศาสตร์ที่ต่างกัน 2 คน ในเดือนพฤษภาคม 1752 รายงาน
การทดลองดังกล่าวถูกเสนอต่อทั้งสมาคมวิทยาศาสตร์ของฝรั่งเศสและสมาคมวิทยาศาสตร์ของอังกฤษ พบ
ว่าได้ผลสอดคล้องกับสมมติฐานของแฟรงคลิน การทดลองดังกล่าวมีชื่อเสียงโด่งดังมาก ได้มีการเผยแพร่
ต่อประชาชนทั่วไปในหนังสือพิมพ์ของฝรั่งเศสและที่อื่นๆ อีก ยิ่งกว่านั้นแฟรงคลินเองได้เตรียมวิธีการ
ทดลองและสร้างแท่งโลหะที่ทำให้เกิดฟ้าแลบและพิมพ์เผยแพร่ใน Poor Richard's Almanac เพื่อให้ข้อมูล
แก่ประชาชนทั่วไป

ในอีก 2-3 เดือนต่อมา คือในเดือนตุลาคม 1752 แฟรงคลินได้เขียนจดหมายถึงคอลลินสัน
กล่าวถึงความสำเร็จของการทดลองในฝรั่งเศส และเล่าว่าตอนนี้เขาเองก็ได้ทำการทดลองด้วย แม้จะด้วย
วิธีการที่แตกต่างและง่ายกว่า นี่คือการทดลองด้วยวาวซึ่งเป็น การทดลองที่มีชื่อเสียงมาก ซึ่งเขาได้คิด
วิธีการทดลองนี้ขึ้นเนื่องจากในเมืองฟิลาเดลเฟียไม่มีหอคอยที่สูงชันที่จะทำการทดลองตามวิธีที่เคยเสนอไว้
แต่เดิม เขานำลวดปลายแหลมมาผูกติดกับด้านบนสุดของวาว และด้านล่างของวาวผูกถูกกุญแจโลหะและ
ริบบิ้นที่ทำด้วยไหม เมื่อถึงเวลาเกิดพายุฝน เขาและลูกชายของเขาซึ่งขณะนั้นมีอายุ 23 ปีได้ปล่อยวาวขึ้น
สูง และยืนอยู่ในร่มเพื่อไม่ให้ริบบิ้นที่ผูกต่อจากสายวาวเปียก เมื่อพายุฟ้าคะนองผ่านวาวและเชือกเปียกพอ
ที่จะนำไฟฟ้ามาเก็บไว้ในขวดลิเตนได้ และเพื่อใช้ในการทดลองอื่นๆ ทั้งหมดได้ “ซึ่งโดยปกติจะต้องทำ
โดยใช้การถูลูกกลมแก้วและหลอดแก้ว”

ในจดหมายฉบับต่อมา แฟรงคลินได้บรรยายเครื่องมืออีกชนิดหนึ่งไว้ดังนี้ :



ข้าพเจ้าได้ตั้งแท่งโลหะขึ้นสูงเพื่อดึงเอาไฟฟ้าจากฟ้าแลบเข้ามาภายในบ้านของข้าพเจ้าเพื่อจะใช้ในการทดลองบางอย่างเกี่ยวกับไฟฟ้า โดยใช้กระดิ่ง 2 อัน ให้สัญญาณว่าแท่งโลหะได้รับไฟฟ้าแล้ว ซึ่งคล้ายกับ “กระดิ่งไฟฟ้า” ที่เคยถูกสร้างขึ้นในรูปแบบหนึ่ง เมื่อ 2-3 ปีก่อนหน้านี้โดยแอนดรูว์ กอร์ดอน ชาวสกอต ซึ่งสอนอยู่ในเยอรมัน ลักษณะของกระดิ่งไฟฟ้างดกล่าวนั้น คือ ตัวเคาะจะถูกดึงออกมาโดยการดึงดูดของกระดิ่งที่ไปติดมัน เมื่อข้าพเจ้าได้กระแสของประกายไฟจากกระดิ่งหนึ่งไปยังอีกกระดิ่งหนึ่ง ซึ่งมีขนาดประมาณเท่าชนก ข้าพเจ้าได้สั่งคนในบ้านว่าถ้ากระดิ่งดังในขณะที่ข้าพเจ้าไม่อยู่บ้าน ขอให้เขาเก็บไฟฟ้าจากฟ้าแลบไว้ในขวดให้ข้าพเจ้า

การทดลองดังกล่าวอาจเป็นอันตราย ในปี ค.ศ.1753 จี. ดับบลิว. ริชแมน (G. W. Richman) นักฟิสิกส์จากสถาบันอิมพีเรียลแห่งเซนต์ปีเตอส์เบิร์กถูกฟ้าผ่าฆ่าตายทันทีขณะทำการทดลองด้วยอุปกรณ์ที่เขาได้สร้างขึ้นเพื่อเก็บและวัดปริมาณไฟฟ้าจากบรรยากาศเช่นเดียวกัน

เนื่องจากแท่งโลหะที่ทำให้เกิดไฟฟ้านั้นเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการนำความรู้ทางไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ในเชิงปฏิบัติ บางคนอาจจะถามว่าทำไมการศึกษาปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าจึงได้รับความสนใจจากนักวิทยาศาสตร์มากมายนับตั้งแต่กิลเบิร์ตเป็นต้นมา แรงกระตุ้นที่สำคัญดูเหมือนจะเป็นความอยากรู้อยากเห็นสิ่งที่กระตุ้นความอยากรู้อยากเห็นและความกระตือรือร้นเป็นอย่างมากที่จะทำการศึกษาค้นคว้านั้น ที่เห็นได้ชัดก็คือรายงานของนักวิทยาศาสตร์ต่างๆ เช่น ฮอคลี เกรย์ และแฟรงคลิน และที่สำคัญจะต้องมีโอกาสและมีเวลาที่จะทำการศึกษาค้นคว้า เช่น แฟรงคลินได้เน้นเรื่องนี้เป็นพิเศษในชีวิตประวัติของเขาว่า

เมื่อข้าพเจ้าเลิกจากการทำธุรกิจส่วนตัว ข้าพเจ้าต้องยกย่องตัวเองว่า ด้วยความที่มีฐานะพอสมควรแม้จะเป็นในระดับปานกลาง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถหาเวลาว่างในช่วงเวลาที่เหลือของชีวิตในการศึกษาค้นคว้าทางปรัชญาและการทำงานที่สนุกสนาน ข้าพเจ้าได้ทำการทดลองทางด้านไฟฟ้าต่อไปเรื่อยๆด้วยความกระหายใคร่รู้ แต่ประชาชนคิดว่าเป็นเพราะข้าพเจ้ามีเวลาว่างก็เลยจะให้ข้าพเจ้าทำสิ่งนั้นสิ่งนี้ในทุกส่วนของรัฐบาลและพยายามบังคับให้ข้าพเจ้ารับตำแหน่งต่างๆ มากมาย

ในปี ค.ศ. 1757 ประชาชนต้องการแฟรงคลินมากจนเขาต้องหยุดทำการทดลองที่ทำให้เขาได้รับการยกย่องว่าเป็นนักวิทยาศาสตร์ทางด้านไฟฟ้าที่มีชื่อเสียงที่สุดในยุคของเขาเอง ในเวลานั้นเขาได้รับรางวัลเหรียญทองโคปลีย์ ซึ่งเป็นรางวัลเกียรติยศที่สูงที่สุดที่สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งอังกฤษจะให้ได้ และ



ได้รับแต่งตั้งให้เป็นสมาชิกของสมาคมฯ ในปี ค.ศ. 1773 สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งฝรั่งเศสได้แต่งตั้งให้เขาเป็น *"foreign associate"* ซึ่งเป็นเกียรติยศพิเศษที่ไม่เคยมีนักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกันคนใดได้รับจนถึงอีกหนึ่งศตวรรษต่อมา ระหว่างที่ได้พำนักอยู่ในปารีสเป็นเวลาหลายปีในฐานะทูต เขาได้บรรยายเกี่ยวกับธรรมชาติของไฟฟ้าของแสงเหนือของดวงอาทิตย์ *aurora borealis* แม้ว่าจะเป็นเวลานานเกือบ 22 ปีหลังจากที่เขาต้องเลิกการศึกษาค้นคว้าทางไฟฟ้าไปเพราะหน้าที่ต่อประชาชนแล้วก็ตาม ในช่วงท้ายของชีวิตนั้นเขาไม่เพียงแต่จะยังคงสนใจในงานทางวิทยาศาสตร์อย่างมีชีวิตชีวาเท่านั้น แต่ยังให้การสนับสนุนและช่วยเหลือในความพยายามต่างๆ ในการศึกษาค้นคว้าด้านวิทยาศาสตร์แก่นักวิทยาศาสตร์เป็นรายบุคคลหลายคน ในระหว่างคนหลังๆ นี้ คือ โจเซฟ ฟูรีลีย์ ซึ่งเราจะได้พบในตอนต่อไป

ในตอนต้นสุดของกรณีศึกษานี้ เราได้ตั้งข้อสังเกตไว้แล้วว่าทฤษฎีทางไฟฟ้านั้นพัฒนาขึ้นมาจากปรากฏการณ์เกี่ยวกับธรรมชาติของแท่งอำพันและนำมาขยายผลการศึกษากับสารอีกหลายชนิด จนค้นพบแรงผลัก การนำไฟฟ้า การเหนี่ยวนำให้เกิดไฟฟ้า และการมีไฟฟ้า 2 ชนิด จนกระทั่งเราได้เห็นทฤษฎีหรือหลักการของปรากฏการณ์เหล่านี้ซึ่งอธิบายในเชิงของของไหลไฟฟ้า และในตอนนี้เราได้เห็นหลักการของปรากฏการณ์ไฟฟ้าของเซนต์เอลโม และแสงเหนือของดวงอาทิตย์และฟ้าแลบ สำหรับฮอคสปีและนักวิทยาศาสตร์ต่อๆ มานั้นได้ทำให้เกิดแสงเทียมที่เหมือนกับไฟของเซนต์เอลโมแสงเหนือและฟ้าแลบ ส่วนแฟรงคลินนั้น ด้วยการศึกษาค้นคว้าโดยละเอียดเกี่ยวกับคุณสมบัติของฟ้าแลบและไฟฟ้าช่วยยืนยันสมมติฐานของมัลเชนบรอกเกี่ยวกับสิ่งเหล่านั้น ในตอนนี้ไฟฟ้ากำลังอยู่ในขั้นที่เข้าสู่วิธีการคิดที่กว้างขึ้นเป็นสาขาสำคัญของวิทยาศาสตร์กายภาพแล้ว

8. การนำวิธีการวัดเชิงปริมาณมาใช้ในวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับไฟฟ้า

ประมาณกลางศตวรรษที่ 18 ในสมัยการศึกษาทางไฟฟ้าครั้งยิ่งใหญ่ของแฟรงคลินนักวิทยาศาสตร์จำนวนมากเริ่มจะรู้ถึงความต้องการความรู้วิทยาศาสตร์ทางไฟฟ้าที่วัดได้และคำนวณได้เช่นเดียวกับที่ประสบความสำเร็จอย่างใหญ่หลวงกับวิทยาศาสตร์กายภาพอีกสาขาหนึ่งคือกลศาสตร์ในศตวรรษที่ 17 และ 18 นั้นประสบความสำเร็จอย่างยิ่งใหญ่ในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่และแรง ซึ่งสะสมความรู้มาจากการพัฒนาหลักการที่ผสมผสานเป็นหนึ่งเดียวในการอธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุท้องฟ้าเช่นเดียวกับวัตถุบนโลก และทำให้การทำนายเชิงปริมาณของการเคลื่อนที่ดังกล่าวเป็นไปได้ แต่ในช่วงเวลานี้ยังไม่มีความพยายามที่สำคัญแต่อย่างใดในการวัดปริมาณทางไฟฟ้าหรือใช้ผลที่ได้จากการวัดปริมาณเพียงบางอย่างที่ได้จากแนวความคิดหลักทางไฟฟ้าและหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับการวัดเหล่านั้น



เครื่องมือวัดปริมาณทางไฟฟ้าเครื่องแรก เข็มทิศไฟฟ้า (versorium) ของกิลเบิร์ต (รูป 2) และต่อมาก็คือเครื่องวัดประจุไฟฟ้าได้ช่วยทำงานได้อย่างดีที่สุดในการวัดปริมาณของไฟฟ้า ดังนั้นโดยการสังเกตความแรงที่เข็มทิศไฟฟ้าหมุนเมื่อวางห่างจากวัตถุที่ถูกดูในระยะต่างๆ กิลเบิร์ตก็สามารถที่จะทราบถึงการนำไฟฟ้าเชิงกึ่งปริมาณได้ว่า แรงดึงดูดระหว่างวัตถุที่ถูกกระตุ้นให้เกิดอำนาจไฟฟ้ากับวัตถุที่อยู่ใกล้กันจะเพิ่มขึ้นเมื่อวัตถุทั้งสองยิ่งเข้ามาใกล้กันมากขึ้น ด้วยตัวอย่างแยกๆกันเพียง 2-3 ตัวอย่างนั้นทำให้เขาเกิดการสังเกตเชิงปริมาณได้ ดังเช่น “แท่งอำพันหนัก 3 ออนซ์ สามารถยกเมล็ดข้าวบาร์เลย์หนัก $\frac{1}{4}$ ออนซ์ได้” แต่จริงๆ แล้วยังไม่มีใครพยายามที่จะวัดแรงดึงดูดในแต่ละระยะห่างของวัตถุทั้งสองแต่อย่างใด

ในตอนกลางศตวรรษที่ 18 ได้มีการคิดวิธีการต่างๆ มากมายที่จะวัดแรงดึงดูดระหว่างวัตถุต่างๆ ในบรรดาวิธีดังกล่าวก็คือ การวางวัตถุที่ทำให้มีอำนาจทางไฟฟ้าไว้ในจานเครื่องชั่งแบบจาน แรงทางไฟฟ้าที่ดึงดูดน้ำหนักลงข้างหนึ่งนั้น ทำให้สมดุลโดยใส่น้ำหนักในจานเครื่องชั่งอีกจานหนึ่ง ก็จะทำให้รู้แรงทางไฟฟ้าว่าเท่ากับน้ำหนักในจานอีกจานหนึ่งนั้น

อีกวิธีหนึ่งนั้น ใช้โลหะ 2 ชิ้นแขวนไว้ข้างๆ กันด้วยเชือกไหม เมื่อทำให้โลหะทั้งสองเกิดอำนาจไฟฟ้าชนิดเดียวกันมันจะผลักรัน และแรงที่ผลักรันนั้นสามารถคำนวณได้จากมุมที่ถ่างออกของเส้นเชือกทั้งสองและจากน้ำหนักของโลหะทั้งสอง ในปี ค.ศ. 1747 เจ. เอ. นอลเลต เพื่อนร่วมงานเก่าของดูเฟย์ได้ทำให้เครื่องมือนี้มีประโยชน์ยิ่งขึ้นโดยลากเส้นตามเงาของเชือกลงบนจอซึ่งทำให้สามารถวัดมุมที่ถ่างออกระหว่างเชือกได้อย่างเที่ยงตรงโดยใช้ไม้โปรแทรกเตอร์ ในแบบสุดท้ายของเครื่องวัดประจุไฟฟ้านั้นไม้โปรแทรกเตอร์จะถูกติดกับเครื่องมืออย่างถาวร ใช้วัดบางๆ หรือแผ่นทองเป็นแถบแทนเส้นไหม และทั้งหมดจะถูกห่อหุ้มอยู่ในภาชนะแก้ว เครื่องมือวัดประจุไฟฟ้าโดยทั่วไปดังกล่าวถูกใช้กันอย่างกว้างขวางในการศึกษาสารกัมมันตรังสีที่ทันสมัย

การทดลองเชิงปริมาณ ความพยายามในการบุกเบิกเพื่อพัฒนาเครื่องมือวัดเชิงปริมาณนั้นเป็นความก้าวหน้าที่สำคัญ แต่ยังไม่มีการวัดแรงทางไฟฟ้าเลย ยังจะต้องค้นหาปรากฏการณ์ที่สามารถจะวัดได้เชิงปริมาณอยู่อีก ในการค้นหาความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ที่แม่นยำระหว่างปริมาณต่างๆ ทางกายภาพนั้น จำเป็นจะต้องศึกษาปรากฏการณ์ที่สามารถทำให้เกิดขึ้นได้โดยการเปลี่ยนแปลงสาเหตุหรือตัวแปรต่างๆ ในธรรมชาติ ซึ่งสาเหตุเหล่านั้นอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปรากฏการณ์ให้เห็นได้แต่กระนั้นและควบคุมสาเหตุเหล่านั้นได้ยาก แม้กระนั้นถ้าต้องการให้เกิดปรากฏการณ์ตามสาเหตุนั้นๆ เพื่อที่จะวัดปรากฏการณ์เชิงปริมาณได้ การควบคุมดังกล่าวก็จำเป็น ดังนั้นผู้ที่ศึกษาทางไฟฟ้าจึงต้องเผชิญ

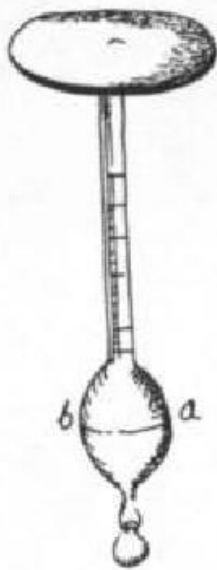


ปัญหาที่ยากมาก ปรากฏการณ์แรกที่สุดในเรื่องนี้ก็คือ ปรากฏการณ์ของแท่งอำพันนั้นมีสาเหตุที่เกี่ยวข้องหลายประการ แต่ละสาเหตุนั้นยากที่จะควบคุมหรือทำให้คงที่ ตัวอย่างเช่นเมื่อหลอดแก้วถูกลบด้วยไหมแล้วถือไว้ในตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งใกล้วัตถุเล็กๆ ขนาดของแรงระหว่างหลอดแก้วและวัตถุนั้นจะไม่ขึ้นเพียงกับระยะเวลาในการถูหลอดแก้ว แต่ขึ้นกับความแรงของการกดผ้าไหมลงบนหลอดแก้วในขณะที่ถู ขนาดของผิวหน้าที่ถูก การเปลี่ยนแปลงของผิวหน้าที่เกิดจากการถู การเปลี่ยนแปลงของอัตราการใช้ไฟฟ้าไปจากแก้ว เนื่องจากความชื้นในอากาศ ดังนั้นในการหาปริมาณของแรงระหว่างหลอดแก้วและวัตถุที่ถูกดูดที่เปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ และการหาสาเหตุที่ทำให้เกิดแรงดังกล่าวนี้ ไม่ใช่สิ่งที่ย่าง

ทฤษฎีของแฟรงคลินที่กล่าวว่ามิไฟฟ้าชนิดเดียวนั้นดูเหมือนจะน่าสนใจเป็นพิเศษ กล่าวคือ ประจุไฟฟ้า หรือ ปริมาณไฟฟ้า ซึ่งตามสมมติฐานหนึ่งของแฟรงคลินนั้นจะคงที่ในวัตถุในขณะที่เป็นฉนวน นั่นคือ ปริมาณของไฟฟ้าจะลดลงก็ต่อเมื่อถ่ายเทให้กับวัตถุอื่นเท่านั้น และไม่ใช่โดยการเปลี่ยนพลังไฟฟ้า เพราะแรงดึงดูดหรือแรงผลักระหว่างวัตถุ 2 ชนิดที่มีอำนาจไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับว่าถูกทำให้มีอำนาจไฟฟ้ามากเพียงใด ดูเหมือนว่าปริมาณไฟฟ้าจะเป็นสาเหตุที่สำคัญ ถ้าสมมติฐานของแฟรงคลินเป็นที่ยอมรับ ตัวแปรสำคัญที่จะต้องควบคุมตัวแปรหนึ่งก็คือสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของแรงไฟฟ้าระหว่างวัตถุที่เป็นฉนวน 2 ก้อน เช่น ระยะระหว่างวัตถุทั้งสอง

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะทาง การหาค่าของแรงที่แน่นอนระหว่างวัตถุ 2 อย่างซึ่งขึ้นกับระยะทางระหว่างวัตถุนั้น เป็นเรื่องที่สนใจศึกษาค้นคว้ากันมาก สำหรับแรงดึงดูดเนื่องจากแรงโน้มถ่วงระหว่างวัตถุ 2 ชนิดนั้น นิวตันได้แสดงให้เห็นเมื่อครึ่งศตวรรษก่อนแล้วว่า แรงดังกล่าวเป็นปฏิภาคผกผันกับระยะทางระหว่างวัตถุยกกำลังสอง ซึ่งก็หมายความว่าเมื่อระยะทางระหว่างวัตถุเพิ่มเป็นสองเท่าของเดิม แรงดึงดูดเนื่องจากแรงโน้มถ่วงระหว่างวัตถุทั้งสองนั้นจะลดลง $\frac{1}{4}$ ของแรงดึงดูดเดิม

ผลงานของนิวตันเกี่ยวกับเรื่องแรงโน้มถ่วงทำให้เกิดความคิดว่า ความสัมพันธ์ผกผันกำลังสองนั้นอาจจะใช้ได้กับแรงทางไฟฟ้าด้วย และก็เป็นความจริงที่หลักฐานจากการทดลองพิสูจน์ได้ว่าเป็นเช่นนั้น โดยในปี ค.ศ. 1760 มีผู้พิสูจน์ได้คือ นักฟิสิกส์ชาวสวิสชื่อ แดเนียล เบอร์นูลลี (Daniel Bernoulli) รูปที่ 18 แสดงถึงวิธีการทดลองที่เขาสร้างขึ้นเพื่อวัดแรงไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะที่มีอำนาจไฟฟ้า 2 แผ่นโดยตรง เมื่อรู้ระยะระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง ผลการวัดที่ได้ทำให้สรุปได้ว่า “แรงระหว่างวัตถุทั้งสองแปรผกผันกับระยะห่าง” ระหว่างวัตถุ อีก 2-3 ปีต่อมาในประเทศอังกฤษ มีผู้ค้นพบความสัมพันธ์ผกผันกำลังสองนี้โดยทางอ้อมจากการใช้ความคิดเชิงเหตุผลหรือเชิงตรรกะ ซึ่งเป็นผลงานของทรีสลีย์ ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีที่สุดในฐานะผู้ค้นพบออกซิเจน



รูปที่ 18 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (electrometer) ของเบอร์นูลิ (จาก *Acta Helvetica*, vol. 4, 1760) จุกกลมกลางโลหะต่อกับจานโลหะที่อยู่ข้างบนโดยก้านโลหะที่มีฉนวนกั้นระดับลอยอยู่ในน้ำมันจนถึงขีด ob เหนือจานโลหะแรกนี้ขึ้นไปประมาณ 1 ฟุต มีจานโลหะจานที่ 2 ซึ่งต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไดนามิโกอิเล็กทริก เมื่อทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงาน คือทำให้จานโลหะที่อยู่ข้างบนมีประจุไฟฟ้า จุกกลมกลางโลหะจะเคลื่อนสูงขึ้นในระดับที่สัมพันธ์กับแรงดึงดูดระหว่างจานโลหะทั้งสองซึ่งสามารถจะหาแรงนี้ได้จากน้ำหนักที่ใช้ถ่วงที่ก้นของจุกกลมโลหะให้ตกกลับลงสู่ระดับเดิม การเปลี่ยนแปลงระหว่างระหว่างจานโลหะ เบอร์นูลิสามารถคำนวณค่าของแรงทางไฟฟ้าสำหรับแต่ละระยะห่างระหว่างจานโลหะได้

การศึกษาค้นคว้าทางด้านไฟฟ้าของพริสทลีย์ โจเซฟ พริสทลีย์ (Joseph Priestley, 1733-1804) เป็นบาทหลวงสอนศาสนาและนักเขียนหนังสือทางศาสนา การเมือง และวิทยาศาสตร์ เขาไม่ได้รับการฝึกอบรมให้เป็นนักวิทยาศาสตร์ที่เป็นระบบแต่อย่างใด แต่ที่เขาศึกษาทางวิทยาศาสตร์ก็เพราะเชื่อว่ามนุษย์สามารถจะเรียนรู้จักพระเจ้าได้โดยการศึกษาวิทยาศาสตร์ในการสร้างของพระเจ้า เขาเป็นนักอ่านผลงานและนักฟังการบรรยายทางวิทยาศาสตร์ ในขณะที่เป็นครูในโรงเรียนสอนศาสนานั้น เขาเริ่มทำการทดลองทางไฟฟ้ามาเรื่อยๆจนประสบผลสำเร็จในปลายปี ค.ศ. 1765 ในช่วงนั้น ระหว่างหยุดคริสต์มาส เขาได้เดินทางเข้าไปในลอนดอนซึ่งเป็นจุดที่ทำให้เขาเปลี่ยนอาชีพ เพราะที่นั่นเขาได้พบแฟรงคลิน ซึ่งอยู่ในลอนดอน กำลังหาทางที่จะให้มีการยกเลิกกฎหมายแสดมปี พริสทลีย์ใช้เวลาหลายวันในบริษัทที่เต็มไปด้วยความรู้เชิงวิชาการของแฟรงคลิน และต่อมาก็กลายเป็นเพื่อนนักวิทยาศาสตร์ที่สนิทของแฟรงคลิน

บางทีอาจจะเป็นผลมาจากการได้ใกล้ชิดกับแฟรงคลิน ไม่นานพริสทลีย์ก็เริ่มต้องการศึกษาความรู้ทางไฟฟ้าเท่าที่ได้ค้นพบมาจนถึงยุคสมัยที่เขาอยู่ และเขาต้องการคำแนะนำถึงแนวทางที่จะศึกษาและวิจัยหาความรู้เพิ่มเติมด้วย และเขายังทำการทดลองของเขาเองเพิ่มมากขึ้นทุกทีเพื่อจะแก้ปัญหาที่ยังเป็นประเด็นโต้เถียงกันอยู่ และไม่สามารถศึกษาได้จากงานของนักวิทยาศาสตร์คนอื่น เขาได้เขียนผลงานที่ได้จากผลการทดลองจำนวนมากมายในหนังสือที่ตีพิมพ์เผยแพร่ในปี ค.ศ. 1767 เพียงบีกว่า หลังจากที่เขาได้ไปที่ลอนดอนเป็นครั้งแรก โดยให้ชื่อหนังสือว่า *The history and present state of electricity, with original experiment*

ในบรรดาการทดลองหลายๆ การทดลองของพริสทลีย์ ทั้งก่อนและหลังที่ปรากฏในหนังสือของเขานั้น มีอยู่การทดลองหนึ่งที่เราสสนใจกันมาก ได้มีการบรรยายไว้ในประวัติของเขาได้ชื่อเรื่องว่า "*Experiments with electrified cup*"



รูปที่ 19 เบนจามิน แฟรงคลิน

ข้าพเจ้าจะปิดท้ายการทดลองของข้าพเจ้าด้วยชุดทดลองเล็ก ๆ ซึ่งถือว่าเป็นการทดลองสุดท้าย ข้าพเจ้าต้องขออภัยวาทะเล็กน้อยว่าได้ทำนอกเหนือจากที่ได้อ้างแล้วว่าทำตามการทดลองของดร.แฟรงคลิน ซึ่งเขาได้ออกข้าพเจ้าว่าเขาได้พบว่า เมื่อนำลูกกลมคอร์กแชนด้วยเส้นด้ายไว้ในถ้วยโลหะหุ้มฉนวนซึ่งทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้า ลูกกลมจะไม่ถูกถ้วยโลหะผลักหรือดูดให้เอียงไปด้านหนึ่งด้านใดเลย และเราต้องการให้ข้าพเจ้าทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผลที่ได้และให้แสดงผลให้ปรากฏแก่สาธารณชน

โดยการทำการทดลองดังกล่าวในวันที่ 21 เดือนธันวาคม (1766) ด้วยการใช้ภาชนะตะกั่วที่ทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าวางบนผ้าไหมอบแห้ง ข้าพเจ้าสังเกตพบว่าลูกกลมคอร์ก 2 ลูกที่เป็นฉนวนโดยผูกติดกับปลายของหลอดแก้วและห้อยแขวนไว้ภายในถ้วย โดยไม่มีส่วนใดของด้ายอยู่เหนือขอบถ้วย ไม่ถูกทำให้มีอำนาจไฟฟ้า

การทดลองของแฟรงคลินซึ่งถูกอ้าง ณ ที่นี้นั้น ได้ทดลองมาก่อนหน้านี้นักว่า 10 ปีแล้ว ซึ่งในการทดลองนั้น แฟรงคลินได้กล่าวว่า “ลูกคอร์กไม่ได้ถูกดึงดูดจากภายในของกระป๋องเหมือนที่ควรจะถูกดึงดูดจากภายนอก และถึงแม้จะสัมผัสกับกับกระป๋อง (ด้านใน) แล้วดึงออกไป ก็ดูราวกับว่าไม่ได้เกิดการถ่ายเทอำนาจทางการสัมผัสเหมือนกับที่นำคอร์กไปแตะกับกระป๋องภายนอก (เมื่อแฟรงคลินนำคอร์กไปแตะกับ



กระป๋องด้านในแล้วพบว่า คอร์กยังคงไม่สลักกับกระป๋องด้านใน รวากับว่าไม่มีการถ่ายเทประจุเลย ซึ่งเขา
หากเขานำคอร์กมาแตะกับกระป๋องด้านนอก คอร์กจะเกิดแรงผลักกับกระป๋องด้านนอกทันทีผู้แปล การสังเกต
ที่ได้จะเป็นเช่นนี้เสมอ” ถ้าท่านต้องการเหตุผลว่าทำไมจึงเป็นเช่นนั้น ข้าพเจ้าก็ตอบไม่ได้ ข้าพเจ้าพบว่า
“การอ้างถึงความไม่รู้ของคนใดคนหนึ่งนั้นไม่ใช่วิธีที่ง่ายที่สุดในการตอบปัญหา แต่เป็นวิธีที่จะทำให้ได้ข้อมูล”
ในเวลาต่อมาแฟรงคลินแสดงความคิดเห็นว่าการที่ไม่มีอำนาจไฟฟ้าภายในผิวในของด้วยน้ำอาจจะเนื่องมา
จากการผลัดกันของของไหลไฟฟ้าของด้านตรงข้ามกัน ของไหลไฟฟ้าจึงถูกผลักออกไปที่ผิวนอกของด้วย
เขาเสนอแนะว่าการอธิบายถึงความน่าจะเป็นไปได้นี้ “ก็เพื่อให้มีการศึกษาถึงความแปลกประหลาดนี้”

แต่ผลอื่นๆ ของการทดลองพบว่าไม่มีแรงลัทธิกระทำบนวัตถุไม่ว่าจะวางวัตถุไว้ที่ใดภายในภาชนะ
ก็ตาม ไม่สามารถทำนายหรืออธิบายโดยทฤษฎีไฟฟ้าใดๆเท่าที่มีอยู่ในขณะนั้นได้เลย รวมทั้งทฤษฎีของ
แฟรงคลินด้วย บางคนอาจจะคิดว่าถ้าวัตถุอยู่ตรงกลางของภาชนะ มันถูกดูดด้วยแรงเท่ากันทุกทิศทาง
โดยผนังภายในของถ้วยรอบๆมันจนทำให้แรงลัทธิที่มีบนตัวมันเป็นศูนย์ แต่ทำไมแรงนี้จึงยังคงเป็นศูนย์
เมื่อวัตถุไม่ได้อยู่ตรงกลางภาชนะแต่ใกล้เข้าไปทางด้านใดด้านหนึ่งของภาชนะมากกว่า นี่คือการถามง่าย ๆ ที่ไม่
สามารถจะตอบได้หากปราศจากความรู้ว่า การเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างวัตถุกับส่วนต่างๆ ของผนัง
ภาชนะมีผลต่อขนาดของแรงระหว่างวัตถุกับผนังภาชนะอย่างไร ในการทำการทดลองเรื่องนี้ต่อของฟริสลิ้น
เขาได้ตั้งสมมติฐานว่า

ถ้าเราสมมุติว่าแรงดึงดูดทางไฟฟ้านี้เป็นไปตามกฎแรงดึงดูดโดยแรงโน้มถ่วงซึ่งเป็นไป
ตามกำลังสองของระยะห่างระหว่างวัตถุ เพราะสามารถจะแสดงให้เห็นได้อย่างง่ายดายว่า
ถ้าโลกอยู่ภายในเปลือกล้อมรอบ วัตถุที่อยู่บนโลกจะไม่ถูกดึงดูดไปสู่ด้านใดด้านหนึ่ง
ของเปลือกที่ล้อมรอบ

จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ฟริสลิ้นได้ใช้ “การให้เหตุผลจากตรรกะ” ขั้นตอนของความคิดของเขา
อาจเป็นไปตามลำดับดังนี้คือ มีความคล้ายคลึงที่เด่นชัดบางประการระหว่างปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าและ
ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับแรงโน้มถ่วงของโลก คือ 1) ทั้งสองกรณีนั้นเกี่ยวข้องกับแรง เรียกว่า “แรงทางไฟฟ้า”
และ “แรงโน้มถ่วง” 2) ทั้งสองกรณีนั้นแรงดังกล่าวจะลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างวัตถุเพิ่มขึ้น 3) ดังที่
แสดงโดยการทดลองของแฟรงคลิน แรงรวมทั้งหมดระหว่างภาชนะที่มีอำนาจไฟฟ้ากับวัตถุที่วางไว้ที่ใด
ก็ตามในภาชนะเป็นศูนย์ เกือบ 1 ศตวรรษก่อนหน้านั้นที่นิวตันได้แสดงให้เห็นเชิงคณิตศาสตร์แล้วว่าแรง
โน้มถ่วงลัทธิระหว่างโลกที่สมมุติว่ากลมและวัตถุที่อยู่ใดก็ตามภายในโลกจะต้องเป็นศูนย์ การพิสูจน์



ความจริงในเรื่องนี้ใช้กฎแรงโน้มถ่วงผูกมัดกับระยะทางกำลังสอง ซึ่งนิวตันคำนวณได้จากแรงดึงดูดระหว่างดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ เขายังสามารถชี้ให้เห็นได้ด้วยว่า แรงที่กระทำต่อวัตถุภายในโลกที่กลวงนั้นจะเป็นศูนย์ก็ต่อเมื่อแรงดึงดูดระหว่างวัตถุทั้งสองนั้นแปรผกผันกับระยะทางระหว่างวัตถุนั้นยกกำลังสอง ดังนั้นเนื่องจากปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าคล้ายคลึงกับปรากฏการณ์แรงโน้มถ่วง จึงน่าจะสันนิษฐานได้ว่าปรากฏการณ์ทั้งสองจะสอดคล้องกับกฎผกผันกำลังสองด้วย

นี่เป็นเพียงหนึ่งในหลายๆ ตัวอย่างซึ่งให้เหตุผลโดยอาศัยตรรกะหรือความคล้ายคลึงของปรากฏการณ์ในการค้นพบหลักการทางไฟฟ้าในยุคต้นๆ เช่นเดียวกับวิทยาศาสตร์สาขาใหม่อื่นๆ ในยุคเริ่มต้น ผลงานทางไฟฟ้าส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการจัดประเภทของปรากฏการณ์แล้วให้เหตุผลโดยตรรกะสรุปเป็นหลักการออกมา ดังเช่นหนึ่งในหลายๆ ตัวอย่างของการสรุปดังกล่าวของแฟรงคลินที่เราได้ทราบมาแล้วนั้น เขาได้สรุป 12 ปรากฏการณ์ที่ “ของไหลไฟฟ้าคล้ายคลึงกับฟ้าแลบ” และอธิบายว่าความคล้ายคลึง ดังกล่าวทำให้เขาสามารถตั้งสมมติฐานว่าฟ้าแลบจัดเป็นปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าได้อย่างไร แต่ควรจะจำไว้ด้วยว่าเขาไม่ได้ถือว่าความคล้ายคลึง 12 ประการนี้เป็นสิ่งพิสูจน์ความถูกต้องของสมมติฐานของเขา ปรากฏการณ์ 2 อย่างอาจจะคล้ายคลึงกันหลายประการ แต่ในภายหลังอาจจะพบว่าอาจจะมีอีกหลายประการไม่คล้ายคลึงกันก็ได้ ดังที่แฟรงคลินกล่าวว่า “ของไหลไฟฟ้าดึงดูดได้ด้วยวัตถุแหลม แต่เราไม่รู้ว่าฟ้าแลบจะมีสมบัตินี้หรือไม่จะต้องลองทำการทดลองดู” ซึ่งเขาก็ทำการทดลองเพื่อทดสอบเรื่องนี้ดังที่แสดงไว้ในการทดลอง “คูดาม”

การตั้งทฤษฎีโดยตรรกะหรือการวินิจฉัยของฟริสลิย์ว่าแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสัมพันธ์กับระยะทางระหว่างวัตถุยกกำลังสองนั้น เป็นการสรุปที่แข็งแกร่งพอที่จะกระตุ้นให้เกิดความพยายามที่จะรวมปรากฏการณ์ต่างๆ ทางไฟฟ้าเข้าด้วยกันแล้วตั้งเป็นทฤษฎีอื่นๆ ทางไฟฟ้าในทำนองเดียวกันนี้ ยิ่งกว่านั้นยังใช้เป็นทฤษฎีนำทางให้เกิดข้อสงสัยในการศึกษาค้นคว้าด้วยการทดลองต่อไป คือความเป็นไปได้ของการวัดปริมาณทางไฟฟ้าโดยใช้แนวคิดและวิธีการวัดปริมาณของแรงโน้มถ่วงและปรากฏการณ์ของกลศาสตร์ต่างๆ เป็นหลัก ผลงานของฟริสลิย์พิสูจน์ให้เห็นถึงก้าวสำคัญของการรวมวิทยาศาสตร์ 2 สาขา คือ กลศาสตร์และไฟฟ้า ซึ่งในระยะแรกๆ ดูเหมือนจะต่างกันมากนั้นเข้าด้วยกันได้

ฟริสลิย์ไม่ได้อ้างว่าวิธีการของเขาในการใช้ตรรกะของความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะห่างระหว่างวัตถุยกกำลังสองของปรากฏการณ์ทางแรงโน้มถ่วงมาสร้างทฤษฎีทางไฟฟ้านั้นจะเป็นการพิสูจน์ความถูกต้องของทฤษฎีที่สร้างขึ้น เพราะสิ่งหนึ่งก็คือ ในขณะที่มีความคล้ายคลึงที่สำคัญมากระหว่างปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าและแรงโน้มถ่วงนั้น ก็มีความแตกต่างที่สำคัญด้วย แรงทางไฟฟ้าจะปรากฏชั่วขณะที่ได้รับการกระตุ้นให้แสดงอำนาจไฟฟ้าเท่านั้น แต่แรงโน้มถ่วงจะปรากฏตลอดเวลา ในทางไฟฟ้ามีทั้ง



แรงดึงดูดและแรงผลัก แต่ในเรื่องแรงโน้มถ่วงสิ่งที่สังเกตได้มีแต่แรงดึงดูดเท่านั้น ท้ายที่สุดสิ่งที่นิวตันได้แสดงให้เห็นโดยชัดเจนแล้วว่าแรงโน้มถ่วงรวมบนวัตถุที่อยู่ในวัตถุกลวงนั้นเป็นศูนย์ก็ต่อเมื่อวัตถุกลวงนั้นมีรูปร่างกลมและมีผิวที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอเท่านั้น แต่พริสทลีย์ได้แสดงให้เห็นว่า สำหรับในกรณีของไฟฟ้านั้นภาชนะกลวงที่มีวัตถุอยู่ภายในนั้นจะมีรูปร่างแบบใดก็ได้ แต่ต้องมีผนังเป็นโลหะตัวนำ แม้กระนั้นก็ตาม แม้ว่าความแตกต่างเหล่านี้จะเป็นที่เข้าใจกันดีในสมัยของพริสทลีย์ สมมติฐานของเขาก็ยังเป็นเพียงการใช้เหตุผลเชิงตรรกะ ข้อเสนอในความถูกต้องของสมมติฐานดังกล่าวนี้จะต้องศึกษาค้นคว้ากันต่อไปด้วยการทดลองโดยตรงที่คล้ายกันที่เบอร์นูลิทำ แต่จะต้องทดลองกับ “อนุภาค” ที่มีไฟฟ้าแทนแผ่นโลหะ

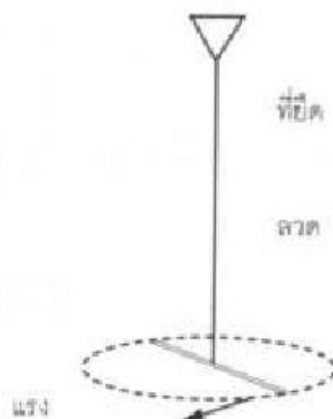
การทดลองโดยตรงของคูโลมบิโดยใช้เครื่องชั่งแบบบิด (torsion balance) เวลาผ่านไป 18 ปี จึงได้มีการทดสอบความสัมพันธ์ของแรงทางไฟฟ้ากับระยะทางระหว่างวัตถุยกกำลังสองโดยตรงในประเทศฝรั่งเศส โดย ชาร์ลส์ ออแกสติน คูโลมบิ (Charles Augustin Coulomb, 1736-1806) อาชีพในตอนแรกๆ ของคูโลมบิก็คือวิศวกรทหาร ซึ่งทำให้เขาเริ่มการศึกษาค้นคว้าทางฟิสิกส์ครั้งแรกเกี่ยวกับคุณสมบัติเชิงกลของวัตถุต่างๆ รวมทั้งที่ใช้กันทั่วไปในเครื่องจักรกล ผลงานในด้านนี้ไม่เพียงแต่ทำให้เขาได้รับแต่งตั้งให้เป็นสมาชิกของสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งฝรั่งเศสเท่านั้น แต่ยังทำให้เขาได้ประสบการณ์มากมายทางวิทยาศาสตร์ด้านกลศาสตร์ และวิธีการวัดซึ่งต่อมาสามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างดีในการศึกษาค้นคว้าทางด้านไฟฟ้า



รูปที่ 20 ชาร์ลส์ ออแกสติน คูโลมบิ



ในระหว่างการศึกษาคันคว่ำทางเครื่องกลของเขานั้น เขาได้ประดิษฐ์เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องชั่งแบบบิด (torsion balance) และแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเครื่องชั่งนี้ว่าสามารถใช้ชั่งแรงที่มีขนาดเล็กน้อยมากๆ ได้ การประดิษฐ์เครื่องมือนี้เกิดขึ้นจากการคันคว่ำทดลองวัดแรงที่เกิดจากการบิดลวดและเชือกที่มีความยาวและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกันและทำด้วยสารต่างๆ กัน ผลที่ได้ก็คือเขาสามารถหาสูตรในการคำนวณแรงที่ต้องใช้ในการบิดลวดหรือด้ายไปเป็นมุมต่างๆ กันได้ ซึ่งการค้นพบนี้พาเขาไปสู่การสร้างเครื่องมือชนิดใหม่ได้อย่างไรนั้น เขาได้อธิบายไว้อยู่ๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 21 หลักการของเครื่องชั่งแบบบิด

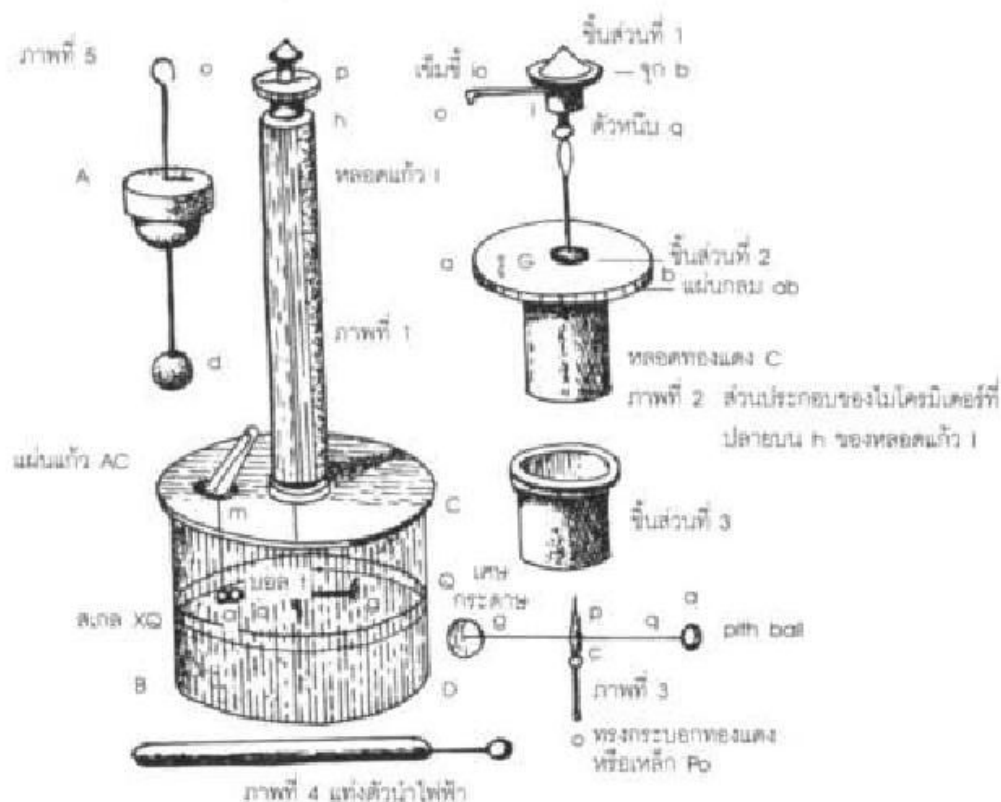
หนีบลวดที่ปลายบน และแขวนตามแนวตั้ง (ดังรูปที่ 21) ที่ปลายล่างติดกับแท่งวัตถุเล็กๆ และเบาตามขวาง ซึ่งจะทำหน้าที่เหมือนคานสำหรับบิดลวด แรงที่ใช้บิดจะอยู่ในแนวราบในทิศที่ตั้งฉากกับแท่งวัตถุเล็กๆ นั้นเสมอ และในระยะห่างจากแกนของลวดเป็นระยะที่คงที่ คูลอมบ์สังเกตพบว่าขนาดของแรงที่ใช้บิดนั้นจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับมุมที่ลวดถูกบิดไปเสมอ ตัวอย่างเช่นถ้าใช้แรง 0.0003 OZ กระทำกับคานบิด ในตำแหน่งที่ห่างจากแกนลวด 4 นิ้ว แกนลวดจะบิดไปเป็นมุม 60° ดังนั้นจึงสามารถทำนายได้ว่าถ้าแกนลวดบิดไปจากตำแหน่งเดิม 120° จะได้แรง 0.0006 OZ ดังนั้นถ้าหาแรงที่ใช้บิดลวดไปเป็นมุมมุมหนึ่งได้ ก็ใช้เครื่องมือนี้วัดแรงที่บิดลวดไปเป็นมุมอื่นๆ ได้

เมื่อคูลอมบ์หันกลับมาศึกษาทางไฟฟ้านั้น เขามองเห็นว่าเครื่องชั่งแบบบิดนี้ถ้าปรับปรุงให้เหมาะสม สามารถใช้ในการวัดแรงระหว่างวัตถุที่มีอำนาจทางไฟฟ้าได้ การที่เขาสนใจไฟฟ้าและแม่เหล็กนั้นเริ่มจากการถูกกระตุ้นโดยสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งฝรั่งเศสซึ่งมอบรางวัลให้แก่ผู้ที่สามารถคิดค้นวิธีที่ดีที่สุดในการสร้างเข็มทิศสำหรับเดินเรือ เช่นเดียวกับเมื่อ 2 ศตวรรษก่อนหน้านั้นที่ความต้องการเครื่องมือในการเดินเรือที่ดีขึ้น กระตุ้นให้กิลเบิร์ตสนใจในเรื่องแม่เหล็ก

รายงานแรกของคูลอมบ์เกี่ยวกับไฟฟ้านั้นถูกเสนอต่อสมาคมฝรั่งเศสในปี ค.ศ. 1785 และพิมพ์เผยแพร่ใน *Mémoires* ในปีนั้น เป็นตัวอย่างที่ดีของการทดลองที่เที่ยงตรงซึ่งนำไปสู่การพัฒนาความรู้ทางไฟฟ้าอย่างรวดเร็วนับจากเวลานั้นเป็นต้นมา



ในรายงานที่เสนอต่อสมาคมฯ ในปี ค.ศ. 1784 นั้น ข้าพเจ้าได้ทำการทดลองหาฏ
ของแรงบิดของลวดโลหะ และพบว่าแรงนี้เท่ากับผลคูณของมุมที่บิดไป กับ เส้นผ่าศูนย์กลาง
ของเส้นลวดยกกำลังสี่ กับ ส่วนกลับของความยาวลวดและค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งขึ้นกับสมบัติ
ของโลหะและสามารถหาค่าได้โดยง่ายจากการทดลอง ข้าพเจ้าได้แสดงไว้ในรายงานเดียวกัน
นี้ว่าแรงบิดนี้สามารถใช้ในการวัดแรงที่น้อยมาก ๆ ได้ ตัวอย่างเช่น $1/1,000$ ของเกรน
(ประมาณ $1/100$ ล้านของปอนด์) วันนี้สิ่งที่ข้าพเจ้าได้วางไว้ต่อหน้าสมาชิกของ
สมาคมก็คือ เครื่องชั่งไฟฟ้า สร้างขึ้นด้วยหลักการเดียวกัน สามารถวัดแรงทางไฟฟ้าที่กระทำ
ต่อวัตถุได้อย่างแม่นยำที่สุด รูปแรก (รูปที่ 22 รายงานของคุลอมบ์กล่าวว่า รูปแรกหมายถึง
รูปที่ 22 ในหนังสือเล่มนี้) รูปของเครื่องชั่งนี้ มีรายละเอียดดังนี้คือ



รูปที่ 22 เครื่องขึงแบบบิดสำหรับวัดแรงทางไฟฟ้าของคูโลมบ์ (จาก *Memoire de l'Academie Royale des Science* ค.ศ. 1785, หน้า 569)

คุณอนันต์ได้รับบรรยายลักษณะและการทำงานของเครื่องมือดังกล่าวไว้ดังต่อไปนี้

“บนภาชนะแก้วทรงกระบอกกลาง ABCD (ภาพที่ 1) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว สูง 12 นิ้ว มีแผ่นแก้ว AC วางอยู่... ซึ่งสามารถปิดปากภาชนะแก้วได้จนมิด แผ่นแก้วดังกล่าวมีรูเจาะอยู่ 2 รู แต่ละรูมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 โหล (1 โหล คือ $\frac{1}{12}$ นิ้ว) รูหนึ่งอยู่ตรงกลางและเหนือรูนี้มีหลอดแก้ว 1 สูง 24 นิ้วเสียบอยู่ รูที่ล้อมรอบหลอดตกจุดด้วยซีเมนต์ที่ใช้กันทั่วไปในเครื่องมือทางไฟฟ้า”

“ที่ปลาย h ของหลอดแก้วมีไมโครมิเตอร์สำหรับวัดกำลังแม่เหล็กซึ่งสามารถมองเห็นรายละเอียดได้ในภาพที่ 2 โดยแสดงเป็นชิ้นส่วนที่ 1, 2 และ 3 ทางขวามือของรูปที่ 22 นี้ ส่วนบนสุดคือชิ้นส่วนที่ 1 มีจุด b



เริ่มที่ o และตัวหนีบ q ขึ้นส่วนที่ 1 นี้ ใส่เข้าไปใต้พ็อตในรูของชิ้นส่วนเลขที่ 2 ชิ้นส่วนที่ 2 (ขวามีรูปลายบน) ประกอบด้วยแผ่นกลม o ซึ่งด้านข้างแบ่งออกเป็น 360 องศา และหลอดทองแดง c ซึ่งใส่เข้าไปใต้พ็อตในรูของชิ้นส่วนเลขที่ 3 ชิ้นส่วนที่ 3 (ขวามีรูปล่าง) จะติดอยู่ภายในหลอดแก้ว i ที่ปลายบน h (ดูภาพที่ 1 ประกอบ) ตัวหนีบ q ของชิ้นส่วนที่ 1 (ภาพที่ 2) หนีบปลายบนของเส้นลวดเงินที่เล็กมากๆไว้ อีกปลายหนึ่งของเส้นลวดนี้ถูกหนีบไว้ที่ P ในตัวหนีบที่ประกอบด้วยทรงกระบอกทองแดงหรือเหล็ก Po (ภาพที่ 3) ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 1 โหล (1/12 นิ้ว)... น้ำหนักของทรงกระบอก Po ควรมากพอที่จะทำให้เส้นลวดเงินตึงได้โดยไม่ขาด”

“ทรงกระบอกเล็ก ๆ Po นี้จะพองออกที่จุด c และรูที่เจาะไว้ข้างทรงกระบอกสามารถสอดเข็ม og เข็มนี้ถูกแขวนไว้ในแนวนอนในระดับสูงครึ่งหนึ่งของภาชนะแก้วอันใหญ่นี้ (แก้ว ABCD ภาพที่ 1) ประกอบด้วยเส้นไหมที่ฉาบขี้ผึ้งสเปนซ์ (ขี้ผึ้งสำหรับอุดรูรั่ว) หรือหลอดกาแฟยาวจาก o ถึง q 18 โหล ที่ฉาบและทำให้เรียบโดยขี้ผึ้งเล็ก ที่ปลาย c ของเข็มมีลูกกลมเล็กๆ (pin ball) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 หรือ 3 โหล อีกปลายหนึ่งคือปลาย q มีเศษกระดาษแผ่นเล็กๆ ที่ชุบน้ำมันสนติดอยู่ในแนวตั้ง ทำหน้าที่เป็นตัวถ่วงน้ำหนักให้สมดุลกับมวลที่ปลาย c และทำให้การแกว่งของเข็มช้าลง”

“.....รอบๆ ภาชนะที่ระดับของเข็มจะทำวงกลม XQ (ภาพที่ 1) แบ่งออกเป็น 360 องศา เพื่อให้ง่ายข้าพเจ้าใช้แถบกระดาษแบ่งเป็น 360 องศา แล้วปะเข้าไประอบภาชนะที่ระดับของเข็ม”

“ในการใช้เครื่องมือนี้ ข้าพเจ้าจัดผ้า AC ให้รู m อยู่ตรงกับจุดแบ่งแรก o ของสเกล XQ ข้าพเจ้าวางเข็มที่ o ของเครื่องมือโครมิเตอร์ที่จุดแบ่งแรกของไมโครมิเตอร์ ข้าพเจ้าหมุนไมโครมิเตอร์ทั้งเครื่องในหลอดแก้ว i จนกระทั่งเมื่อข้าพเจ้ามองในแนวของเส้นลวด (ซึ่งยึดเข็ม og อยู่) กับจุดกึ่งกลางของลูกกลม c จะเห็นเข็ม og อยู่พอดีกับจุดแบ่งแรก o ของสเกล XQ ต่อจากนั้นข้าพเจ้าสอดลูกกลม $+$ อีกลูกหนึ่งลงไปในรู m โดยแขวนไว้ด้วยแท่งไม้ mt (ซึ่งส่วนล่างหาคด้วยขี้ผึ้งเล็ก) ในลักษณะที่แตะกับลูกกลม c ดังนั้นเมื่อในแนวของลวดกับจุดกึ่งกลางลูกกลม $+$ เราจะเห็นจุดแบ่งแรก o ของวงกลม XQ เครื่องซึ่งนี้ก็พร้อมที่จะใช้งาน”

ส่วนหนึ่งของรายงานของคูลอมบ์เป็นการบรรยายรายละเอียดของเครื่องมือดังรูปที่ 22 การบรรยายของเขาแสดงถึงวิธีการนำไปใช้ที่ดูง่ายมากสำหรับนักวิทยาศาสตร์สมัยนี้ ที่จะบรรยายเครื่องมือสมัยใหม่อย่างละเอียดพอที่จะทำให้ นักวิทยาศาสตร์คนอื่นๆสามารถสร้างขึ้นหรือวิจารณ์ควมมีประสิทธิภาพและความเชื่อถือได้ของเครื่องมือดังกล่าวได้ การบรรยายถึงเครื่องมือดังกล่าวคูลอมบ์ได้กล่าวต่อไปว่า

เพื่อเป็นตัวอย่าง เราจะกล่าวถึงวิธีการที่ใช้เครื่องมือนี้ในการหากฎที่วัตถุที่มีไฟฟ้า 2 ชนิดเหมือนกัน

การทดลอง เราทำให้แท่งตัวนำเกิดอำนาจไฟฟ้า (แสดงไว้ในภาพที่ 4 ของรูปที่ 22) ซึ่งเป็นเข็มธรรมดาที่มีหัวใหญ่และทำให้เป็นฉนวนโดยการฝังปลายเข็มลงในปลายของแท่งขี้ผึ้งสเปนซ์ เราเสียบเข็มที่มีไฟฟ้านี้เข้าไปในรู m และให้มันสัมผัสกับลูกกลม $+$ ซึ่งสัมผัสกับลูกกลม c อีกต่อหนึ่ง แล้วจึงดึงเข็มออก ตอนนี้อยู่กับลูกกลม c และ $+$ มีอำนาจไฟฟ้าชนิดเดียวกันแล้ว และจะผลักซึ่งกันและกันเป็นระยะห่างที่เราวัดได้โดยมองในแนวของลวดที่แขวนกับ



กึ่งกลางของลูกกลม a ไปยังส่วนถัดไปของวงกลม $x\omega$ จากนั้นเราจะหมุนเข็มของเครื่องไมโครมิเตอร์ (ปุ่มที่มีตัวเลขรอบๆ ที่อยู่ตอนบนสุด) ในทิศ pqo ซึ่งเป็นการบิดลวดแฉวน p และใส่แรงเข้าไปเป็นสัดส่วนกับมุมที่บิด (มุมที่จุด b ถูกหมุนไป) ซึ่งจะทำให้ลูกกลม a เข้ามาใกล้ลูกกลม t ใหม่ ด้วยวิธีการนี้เราจะสังเกตได้ว่าการนำลูกกลมทั้งสองเข้ามาใกล้กันในระยะห่างค่าหนึ่งๆจะต้องบิดจุด b เป็นมุมเท่าใด จากมุมบิดนี้เราสามารถหาค่าแรงบิดได้ และโดยการเปรียบเทียบแรงบิดกับระยะห่างระหว่างลูกกลมทั้งสอง เราก็สามารถหากฎของแรงผลักได้ ในที่นี้ข้าพเจ้าจะแสดงให้เห็นตัวอย่างการทดลองที่ทำซ้ำได้ง่าย แต่สามารถใช้เป็นหลักฐานของกฎแรงผลัก คือ

- 1) ในการทำให้ลูกกลมทั้งสองเกิดอำนาจไฟฟ้าโดยการไขเข็ม ในขณะที่เข็มชี้ตัวเลขของไมโครมิเตอร์ชี้ที่ 0 ลูกกลม a ของเข็มจะแยก (จากลูกกลม t) 36 องศา
- 2) เมื่อลวดถูกบิดไป 126 องศา โดยการหมุนปุ่มของไมโครมิเตอร์ ลูกกลมทั้งสองจะเข้ามาใกล้กัน และหยุดอยู่ที่ระยะห่าง 18 องศา
- 3) โดยการบิดลวดไป 567 องศา ลูกกลมทั้งสองจะเข้ามาใกล้กันโดยห่างกันประมาณ $8\frac{1}{2}$ องศา

การอธิบายและผลของการทดลองนี้ ก่อนที่ลูกกลมทั้งสองจะมีอำนาจไฟฟ้ามันจะสัมผัสกันอยู่ และกึ่งกลางของลูกกลม a บนเข็มจะเบนจากตำแหน่ง 0 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีแรงบิดเป็นศูนย์ ไม่มากกว่าครึ่งหนึ่งของเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกกลมทั้งสอง (จำเป็นที่จะต้องบอกว่าลวดเงิน p ที่ลูกกลมติดอยู่นั้นยาว 28 นิ้วและบางมากจนมีน้ำหนักเพียง $\frac{1}{16}$ เกรน) แรงที่จะต้องไขที่จุด a เพื่อบิดลวดนั้นสามารถหาได้จากสูตรที่ได้อธิบายไปแล้ว ในรายงานที่เสนอต่อสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งฝรั่งเศสในปี ค.ศ. 1784 แรงที่ต้องใช้เพื่อบิดลวดไป 360 องศา นั้น เป็นเพียง $\frac{1}{340}$ เกรน เนื่องจากแรงบิดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับมุมที่บิด ดังนั้นแรงผลักที่น้อยที่สุดระหว่างลูกกลม 2 ลูกจะแยกลูกกลมออกจากกันให้เป็นที่สังเกตเห็นได้

เราพบในการทดลองที่ 1 ซึ่งเข็มของไมโครมิเตอร์ชี้ที่ 0 นั้นลูกกลมอยู่ห่างกัน 36 องศา ซึ่งในขณะนั้นแรงบิดที่เกิดขึ้นในการบิดมุมไป 36 องศา นั้นเป็น $\frac{1}{3,400}$ เกรน (นั่นคือ $\frac{36}{360}$ ของ $\frac{1}{340}$ เกรน)

ในการทดลองที่ 2 ระยะระหว่างลูกกลมเป็น 18 องศา แต่เมื่อไมโครมิเตอร์ถูกหมุนไป 126 องศา แรงที่ใช้บิดที่ระยะห่าง 18 องศาจะเท่ากับแรงผลักเมื่อบิดเป็นมุม 144 องศา ใน



การทดลองที่ 3 สวดถูกบิดไป 567 องศา และลูกกลมทั้งสองอยู่ห่างกัน $8\frac{1}{2}$ องศา แรงบิดทั้งหมดจะเท่ากับ 567 องศา เป็น 4 เท่า ของการทดลองที่ 2 และระยะห่างระหว่างลูกกลมทั้งสองในการทดลองครั้งที่ 3 นี้ ชาดอีกเพียง $\frac{1}{2}$ องศา ก็จะเหลือเท่ากับครึ่งหนึ่งของการทดลองที่ 2

ผลจากการทดลองทั้ง 3 ครั้งนั้นก็คือ แรงผลักลูกกลมทั้งสองกระทำต่อกันเมื่อถูกทำให้มีอำนาจไฟฟ้าชนิดเดียวกันนั้น จะเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะห่างระหว่างลูกกลมทั้งสอง (ระหว่างจุดกึ่งกลางของลูกกลม) ยกกำลังสอง

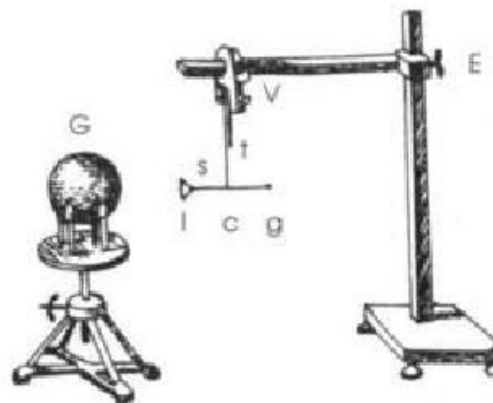
เราได้ข้ามข้อสังเกตหลายประการเกี่ยวกับรายงานซึ่งคูลอมบ์ได้อภิปรายถึงข้อดีของการใช้ลวดที่บางและหนาในการแขวนเข็ม ที่จะช่วยให้รู้วิธีการสังเกตและการปล่อยให้ไฟฟ้าสูญเสียจากลูกกลม จะชี้ให้เห็นว่าระยะห่างระหว่างลูกกลม 2 ลูกควรจะได้มีการวัดตามแนวเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างลูกกลมทั้งสอง แทนที่จะวัดเส้นรอบวงกลมดังที่ทำการทดลอง แต่ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นจะต้องแก้ไขก็ต่อเมื่อระยะห่างเชิงมุมระหว่างลูกกลมทั้งสองนั้นมากเกินไปกว่า 25 องศา ถึง 30 องศา และที่ค่ามุมอื่นๆต่อจากนี้

รายงานฉบับแรกนี้เกี่ยวข้องกับเฉพาะกรณีทีประจุไฟฟ้าบนลูกกลมทั้งสองมีเครื่องหมายเหมือนกัน คือทั้งสองลูกเป็นบวกหรือทั้งสองลูกเป็นลบ ดังนั้นแรงระหว่างลูกกลมทั้งสองจะเป็นแรงผลักร คำถามต่อไปก็คือ กฎความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะห่างระหว่างวัตถุยกกำลังสองนั้นยังคงใช้ได้กับวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าต่างกัน ซึ่งทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างกันด้วยหรือไม่ ปัญหานี้คูลอมบ์ได้ศึกษาค้นคว้าและรายงานไว้ในรายงานเกี่ยวกับไฟฟ้าฉบับที่ 2 ซึ่งเสนอในปี ค.ศ.1785 โดยใช้เครื่องชั่งแบบเดียวกันนี้ เขาพบว่ากฎของแรงกับระยะห่างระหว่างวัตถุยกกำลังสองยังเป็นจริงในกรณีของแรงดึงดูดระหว่างวัตถุด้วย

อย่างไรก็ตาม เขาได้กล่าวถึงว่าเขาได้พบกับความยากลำบากอย่างไรในการใช้เครื่องชั่งแบบบิตนั้นไว้ ณ ที่นี้ด้วย เมื่อไรก็ตามทีระยะห่างระหว่างลูกกลมถูกเปลี่ยนไป แรงทางไฟฟ้าระหว่างลูกกลมทั้งสองจะเปลี่ยนไปรวดเร็วกว่าแรงบิดในลวด ในกรณีของแรงผลักร ปรากฏการณ์นี้จะไม่สร้างความยากลำบากแต่อย่างใด แต่เมื่อเป็นแรงดึงดูด ลูกกลมทั้งสองมีแนวโน้มที่จะลอยเข้าหากันและสัมผัสกัน แม้ว่าคูลอมบ์จะแสดงให้เห็นว่าเครื่องชั่งแบบบิตสามารถทำงานได้ดีในกรณีของแรงดึงดูดถ้าหากทำการทดลองด้วยความระมัดระวัง เขาได้ตัดสินใจที่จะตรวจสอบผลการทดลองนั้นโดยการใช้เครื่องมืออื่นที่ไม่ประสบความยุ่งยากดังกล่าวแล้ว



การทดลองของคูลอมบ์โดยใช้เครื่องชั่งแบบบิดชนิดเพนดูลัม (electric torsion pendulum) ในการทดสอบกฎสำหรับแรงดึงดูดทางไฟฟ้าซ้ำนั้น คูลอมบ์ได้ใช้เครื่องชั่งแบบบิด ซึ่งคล้ายกับที่เราได้สร้างขึ้นก่อนหน้านั้นเพื่อใช้ในการทดลองทางกลศาสตร์ และต่อมาได้ปรับปรุงใช้กับการทดลองทางแม่เหล็ก ในตอนนี้เราได้ปรับปรุงมาเป็นเครื่องชั่งไฟฟ้าแบบบิด ผู้อ่านที่สนใจรายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องมือนี้ และวิธีการทำงานของมันจะอ่านได้จากรูปที่ 23 การทดลองนี้เป็นการเพียงพอที่จะกล่าวว่าผลที่ได้ก็สามารถพิสูจน์กฎผกผันกำลังสองสำหรับแรงดึงดูดทางไฟฟ้าได้ว่าถูกต้อง



รูปที่ 23 เครื่องชั่งแบบบิดชนิดเพนดูลัมของคูลอมบ์ (จาก *Mémoire de l'Académie Royale des Sciences* ปี ค.ศ. 1785 หน้า 578)

จากเส้นไหม s ที่แขวนเข็ม ig ที่หมุนได้รอบในแนวระนาบและรอบเส้นด้ายที่เป็นแกน ที่ปลาย i ของเข็มเป็นแผ่นกระดาษกลมรูปทอง ที่ G เป็นโลหะทรงกลมวางอยู่บนที่ตั้งที่เป็นฉนวน ให้อยู่ในแนวระดับของแผ่นกระดาษกลมรูปทอง i แผ่น กระดาษกลมรูปทองและโลหะทรงกลมถูกทำให้มีประจุตรงกันข้าม ต่อไปเข็ม ig ถูกบิดเพื่อให้หมุน และสังเกตคาบของการหมุนครบรอบ (เวลาที่หมุนครบรอบ) วางโลหะทรงกลมห่างจากแผ่นกระดาษกลมรูปทอง i ที่ระยะต่างๆ กัน และวัดเวลาการหมุนครบรอบของแต่ละระยะ

จากข้อตกลงเบื้องต้นที่ว่ากฎผกผันกำลังสองเป็นจริงและโดยอาศัยหลักการทางกลศาสตร์ สามารถแสดงให้เห็นได้ว่า 1) ประจุไฟฟ้าบนโลหะทรงกลมเสมือนอยู่ที่จุดศูนย์กลาง G ของทรงกลม และ 2) คาบของการหมุนครบรอบของเข็มนั้นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับระยะ Gi ระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางของทรงกลมโลหะกับแผ่นกระดาษกลมรูปทอง จากการวัดของคูลอมบ์แสดงให้เห็นว่า ค่าทั้งสองนั้นเป็นปฏิภาคกันจริง ดังนั้น ข้อตกลงเบื้องต้นที่ว่ากฎผกผันกำลังสองเป็นจริงนั้นจึงสามารถพิสูจน์ได้

ยิ่งกว่านั้นเนื่องจากมีความแตกต่างที่สำคัญระหว่างวิธีการใช้เครื่องชั่งแบบบิดสำหรับวัดแรงทางไฟฟ้า (torsion balance) และเครื่องชั่งแบบบิดชนิดเพนดูลัม คูลอมบ์จึงได้สาธิตความถูกต้องของกฎนี้ด้วยการทดลอง 2 การทดลองที่ไม่เกี่ยวข้องกัน ดังที่เขาได้กล่าวไว้ในรายงาน ฉบับที่ 2 ว่า



เราได้ใช้วิธีการที่ต่างไปจากวิธีการแรกอย่างสิ้นเชิง แต่มลที่ได้ก็ยังคงคล้ายกัน ดังนั้น เราจึงสามารถที่จะสรุปได้ว่าแรงดึงดูดระหว่างของไหลไฟฟ้าที่เรียกว่าบวกและที่เรียกว่าลบนั้น เป็นสัดส่วนผกผันกับระยะห่างระหว่างวัตถุทั้งสองยกกำลังสองเหมือนที่เราเพิ่งพิสูจน์ได้ดังที่ รายงานไว้ในรายงานฉบับที่ 1 ว่า แรงผลักระหว่างของไหลไฟฟ้าที่เป็นชนิดเดียวกันเป็นสัดส่วน ผกผันกับระยะห่างระหว่างวัตถุยกกำลังสอง

กฎของคูลอมบ์ที่สมบูรณ์ การทำการทดลองทางไฟฟ้าของคูลอมบ์นั้นใช้สมมุติฐานที่ว่าแรง ระหว่างวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้า 2 ก้อนเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะทางระหว่างวัตถุ (d) ยกกำลังสองเขียน เป็นสูตรได้ว่า $f \propto 1/d^2$ ดังที่เราได้เห็นแล้วว่าสมมุติฐานนี้ถูกตั้งไว้โดยมิได้พิสูจน์อยู่เป็นเวลานาน และ ไม่ต้องสงสัยเลยว่าถูกตั้งขึ้นได้ด้วยการอ้างอิงโดยตรรกะกับกฎของแรงโน้มถ่วง แต่นิวตันยังตั้งสมมุติฐาน ไว้ด้วยว่า กฎของแรงโน้มถ่วงนั้นเนื่องมาจากเนื้อสารที่เรียกว่ามวลโดยวัตถุ 2 ก้อนที่มีมวล m_1 และ m_2 อยู่ห่างกันเป็นระยะทาง d แรงดึงดูดจะเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะห่างระหว่างวัตถุยกกำลังสอง คือ $m_1 m_2/d^2$ ไม่ต้องสงสัยเลยว่าความรู้เกี่ยวกับแรงโน้มถ่วงได้ชี้แนะว่า ของไหลไฟฟ้าอาจถูกพิจารณาว่ามีมวลไฟฟ้า ซึ่งเป็น สมบัติที่สำคัญของของไหลไฟฟ้าเช่นเดียวกัน

สมมุติฐานนี้จะเห็นได้ชัดเจนสำหรับคูลอมบ์ และเราได้พบว่าเขาเริ่มต้นตั้งสมมุติฐานโดยไม่ต้อง หาทางอธิบายเลยว่า แรงไฟฟ้าระหว่างวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้า 2 ก้อนนั้นเป็นปฏิภาคผกผันกับระยะห่างระหว่าง วัตถุยกกำลังสอง และผลคูณ P ของมวลทางไฟฟ้าของวัตถุทั้งสองคือ $f \propto P/d^2$ ความสนใจหลักของ คูลอมบ์อยู่ที่แรงและระยะทาง แต่ไม่ใช่ที่มวลทางไฟฟ้า อย่างไรก็ตามเขาได้ชี้ให้เห็นว่าความเป็นสัดส่วน ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบด้วยการทดลองนี้สามารถใช้ในการหาอัตราเร็วที่ของไหลไฟฟ้าสูญเสียไปจาก วัตถุโดยการรั่วไหลไปสู่สิ่งที่รองรับหรืออากาศ และหาว่าของไหลได้ถูกถ่ายเทออกจากวัตถุ เมื่อวัตถุนั้น สัมผัสกับวัตถุอื่นไปมากน้อยเพียงใด กล่าวได้โดยสรุปก็คือ ในขณะนี้เป็นไปได้ที่จะอภิปราย “ปริมาณทาง ไฟฟ้า” ของแฟรงคลินได้อย่างมีความหมาย ในศัพท์ใหม่ของคูลอมบ์ที่เรียกว่า “มวลไฟฟ้า” และในศัพท์ที่ ทันสมัยในปัจจุบันที่เรียกว่า “ประจุไฟฟ้า” ถ้าวัตถุ 2 ก้อนมีประจุไฟฟ้า q_1 และ q_2 และวัตถุทั้งสองอยู่ห่าง กันเป็นระยะทาง d ตามกฎแรงทางไฟฟ้าของคูลอมบ์จะกล่าวได้ว่า วัตถุแต่ละก้อนจะได้รับแรงที่เป็น สัดส่วนกับ $q_1 q_2/d^2$ ถ้าระยะห่างระหว่างวัตถุไม่ถูกเปลี่ยน และสภาพทางไฟฟ้าของวัตถุที่ 2 ไม่ถูก เปลี่ยน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงใดๆ ของแรงไฟฟ้าจะต้องเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของ q_1 ดังตัวอย่าง เช่น ถ้าอำนาจไฟฟ้าของวัตถุที่ 1 เพิ่มขึ้นจนแรงไฟฟ้าเพิ่มเป็น 2 เท่า q_1 จะต้องเพิ่มเป็น 2 เท่าด้วย เป็นครั้งแรกที่เป็นไปได้ที่จะบอกถึงระดับอำนาจทางไฟฟ้าของวัตถุเป็นตัวเลข ตัวเลขเหล่านั้นถูกตี ความหมายให้แทนจำนวนหรือปริมาณของไหลไฟฟ้าหรือจำนวนประจุไฟฟ้าที่วัตถุนั้นๆ มีอยู่



การนำการวัดเชิงปริมาณมาใช้กับวิทยาศาสตร์ทางไฟฟ้า ทำให้เป็นไปได้ที่จะหาน้ำหนักทั้งหมดโดยเทคนิคทางด้านคณิตศาสตร์ คณิตศาสตร์ในศตวรรษที่ 18 นั้น ได้มีการพัฒนาไปมาก คู่ขนานมากับการพัฒนาทางกลศาสตร์ของนิวตัน และด้วยการที่การพัฒนาวิทยาศาสตร์ทางไฟฟ้าในเชิงปริมาณนั้น คณิตศาสตร์สามารถเปรียบเทียบได้เป็นอย่างดีกับทางกลศาสตร์ ไฟฟ้าจึงสามารถอธิบายหรือวัดได้ด้วยวิธีการของคณิตศาสตร์ซึ่งทำให้เกิดความเจริญก้าวหน้าของศาสตร์สาขานี้อย่างใหญ่หลวงในศตวรรษที่ 19

ปัจฉิมลิขิต

การปรับปรุงทฤษฎีของไหลไฟฟ้าชนิดเดียวและของไหลไฟฟ้าสองชนิด คูลอมบ์ไม่ชอบทฤษฎีของไหลไฟฟ้าชนิดเดียวของแฟรงคลินและอีพินัส แต่ชอบทฤษฎีของไหลไฟฟ้าสองชนิดที่พัฒนาขึ้นในอังกฤษในปี ค.ศ. 1759 มากกว่า สมมติฐานที่สำคัญสำหรับทฤษฎีของไหลไฟฟ้าสองชนิดนี้กล่าวไปแล้วในการอภิปรายของเราเกี่ยวกับการทดลองของคูเพย์

คงจะจำได้ว่าทฤษฎีของไหลไฟฟ้าชนิดเดียวของแฟรงคลินไม่สามารถอธิบายแรงผลักระหว่างวัตถุสองชนิด เมื่อต่างก็มีประจุลบทั้งคู่ได้ แต่อิพินัสได้พยายามปกป้องทฤษฎีนี้ไว้โดยแสดงให้เห็นว่าสามารถจะอธิบายแรงผลักระหว่างวัตถุสองชนิดได้ ถ้าได้มีการเติมสมมติฐานเฉพาะว่าอนุภาคที่ประกอบกันเป็นเนื้อสารนั้นต่างก็มีลักษณะเหมือนกันและกันอยู่ภายในเนื้อสาร ในการวิจารณ์สมมติฐานดังกล่าว คูลอมบ์ได้กล่าวว่า

“ดูเหมือนจะมีความขัดแย้งสำหรับข้าพเจ้าที่จะยอมรับว่า ในอนุภาคของวัตถุมีแรงดึงดูดที่เป็นปฏิภาคกันกับระยะห่างระหว่างอนุภาคยกกำลังสอง ซึ่งพิสูจน์ได้ในกฎสากลของแรงโน้มถ่วง และในขณะเดียวกันก็มีแรงผลักระหว่างอนุภาคเป็นปฏิภาคกันกับระยะห่างระหว่างอนุภาคเช่นเดียวกัน โดยแรงผลักระหว่างอนุภาคมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดมากอย่างไม่อาจจะนำมาเปรียบเทียบกันได้ทีเดียว”

ทฤษฎีของไหลไฟฟ้าสองชนิด มิใช่ได้เปรียบที่ว่าสมมติฐานเกี่ยวกับแรงผลักระหว่างวัตถุไม่จำเป็นต้องอธิบายด้วยสมมติฐานเกี่ยวกับแรงผลักระหว่างอนุภาคภายในวัตถุ แต่ทว่าทฤษฎีของไหลไฟฟ้าชนิดเดียวกลับนำไปสู่การค้นพบอีกมากมาย ซึ่งไม่ต้องสงสัยเลยว่าเพราะเหตุผลส่วนหนึ่งก็คือ เป็นการง่ายกว่ามากที่จะคิดในเชิงของทฤษฎีของไหลไฟฟ้าชนิดเดียวมากกว่าสองชนิด ในเมื่อทั้งสองทฤษฎีล้วนสามารถอธิบายปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าในขณะนั้นได้ ทฤษฎีที่ง่ายกว่าก็มักจะได้รับความนิยม



ข้อสงสัยที่ว่าทฤษฎีที่ถูกต้องนั้นเป็นทฤษฎีของไหลไฟฟ้าชนิดเดียวหรือสองชนิดนั้นก็ยังคงอยู่ อย่างไรก็ตามก็ยังมีความเป็นไปได้ที่สามคือไม่ถูกต้องทั้งสองทฤษฎี หรือถูกต้องทั้งสองทฤษฎี นั่นคือในบางกรณีก็อยู่ในลักษณะของของไหลไฟฟ้าชนิดเดียวและในบางกรณีก็อยู่ในลักษณะของของไหลไฟฟ้าสองชนิด ประวัติวิทยาศาสตร์จะปรากฏทฤษฎีที่มีลักษณะดังกล่าวนี้อยู่มาก คือมีทฤษฎีที่แข่งขันกัน โดยมีความขัดแย้งกันในบางลักษณะ แต่กระนั้นก็ยังมียบางลักษณะที่ทั้งสองทฤษฎีซึ่งต่างก็ยังมีประโยชน์ และเป็นที่ยอมรับ ดังนั้น ทฤษฎีทั้งคู่จึงมักจะมีบางส่วนที่ถูกและบางส่วนที่ผิด และยังเป็นที่ยังสงสัยตัดสินไม่ได้ว่าควรจะคงทฤษฎีใดไว้และจะยกเลิกทฤษฎีใดไป ซึ่งแทนที่จะทำเช่นนั้นบางคนอาจจะคาดหวังว่าจะพัฒนาทฤษฎีใหม่ขึ้นมาแทนในลักษณะที่ผสมผสานข้อดีของทฤษฎีที่ขัดแย้งกันทั้งสองทฤษฎีนั้นมากกว่า เป็นการสร้างทฤษฎีขึ้นใหม่โดยไม่เพียงแต่พิสูจน์ให้ลักษณะที่ขัดแย้งหมดไป หรือเพียงทำให้สอดคล้องกันเท่านั้น แต่ขยายความสามารถในการอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ได้กว้างขวางครอบคลุมยิ่งกว่าเดิม นี่ก็คือสิ่งที่เกิดขึ้นกับทฤษฎีของไหลไฟฟ้าชนิดเดียวและของไหลไฟฟ้าสองชนิด แม้ว่าจะต้องใช้เวลากว่าร้อยปีในการสร้างให้เกิดทฤษฎีดังกล่าว ต้องมีการค้นพบและต้องมีการทดลองตรวจสอบอีกมากมายที่เกิดขึ้นต่อการค้นคว้าทดลองและทฤษฎีเริ่มต้นในสมัยของคุณอมบ์

ปัจจุบันนี้ทฤษฎีที่ยอมรับกันก็คือ ในสารทุกชนิดจะมีอนุภาคที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ซึ่งจะแสดงบทบาทที่สำคัญในปรากฏการณ์ไฟฟ้า ชนิดหนึ่งคือโปรตอนซึ่งมีประจุบวกและมีมวลเท่ากับออกซิเจนอะตอม อีกชนิดหนึ่งคือ อิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบ และมีมวลประมาณ $1/1,800$ ของโปรตอน ทั้งโปรตอนและอิเล็กตรอนนี้จะมีจำนวนเท่าๆ กันในสารที่ไม่แสดงสมบัติทางไฟฟ้า

ในสารที่เป็นของแข็ง โปรตอนจะมีตำแหน่งที่อยู่คงที่ แต่อิเล็กตรอนจะเป็นอิสระและเคลื่อนที่ได้ ตัวอย่างเช่น เมื่อแก้วและไหมถูกนำมาใกล้ชิดกันมากโดยการถูกัน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากแก้วไปสู่มไหม ปลดปล่อยให้แก้วเหลือแต่ประจุบวกและไหมกลับมีประจุลบมากขึ้น ในโลหะที่เป็นของแข็งซึ่งนำไฟฟ้านั้นส่วนมากศึกษาโดยแฟรงคลินและนักวิทยาศาสตร์ร่วมสมัยของเขา โดยพบว่าอิเล็กตรอนในโลหะจะเป็นอิสระและเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นถ้ามีการต่อโลหะ 2 ชนิดที่มีประจุไฟฟ้าที่ต่างกันด้วยเส้นลวด อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่เป็นลำไปตามเส้นลวดจากโลหะที่มีประจุลบไปสู่โลหะที่มีประจุบวก ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น กล่าวโดยสรุปก็คือสารที่เป็นของแข็งนั้นเป็นของไหลไฟฟ้าสองชนิด แต่ก็ยังเป็นของไหลไฟฟ้าชนิดเดียวด้วย โดยเป็นของไหลไฟฟ้าสองชนิดในแง่ที่ว่า เดิมในตัวโลหะเองมีทั้งประจุบวกและประจุลบ และเป็นของไหลไฟฟ้าชนิดเดียวในแง่ที่ว่า มีเพียงอิเล็กตรอนอย่างเดียวเท่านั้นที่เคลื่อนที่หรือไหลเป็นของไหลไฟฟ้าออกไปได้ การที่มีของไหลชนิดเดียวซึ่งเป็นประจุลบ สอดคล้องโดยบังเอิญกับที่แฟรงคลินได้ตั้งสมมติฐานไว้

ในของเหลวหรือก๊าซ การนำไฟฟ้าเกิดขึ้นได้เนื่องจากไอออนเป็นส่วนใหญ่ อะตอมหรือโมเลกุลจะไม่แสดงสมบัติไฟฟ้า เมื่อมีจำนวนโปรตอนเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอน อะตอมจะเป็นไอออนบวก



ถ้าหากสูญเสียอิเล็กตรอนไปจากสถานะปกติ และจะเป็นไอออนลบถ้าได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มเข้ามาจากสถานะปกติ ของเหลวหรือก๊าซที่นำไฟฟ้าได้จะมีทั้งไอออนบวกและไอออนลบ ไอออนทั้งสองชนิดเคลื่อนที่พร้อมกันในทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นในปรากฏการณ์การนำไฟฟ้าของของเหลวและก๊าซนี้ ไม่เพียงแต่จะมีของไหลไฟฟ้าสองชนิดเท่านั้น ของไหลทั้งสองชนิดนี้ยังมีการเคลื่อนที่ จึงสอดคล้องกับทฤษฎีการนำไฟฟ้าด้วยของไหลไฟฟ้าสองชนิดแบบเดิม

คำถาม

1. (ก) ไฟฟ้าจนถึงปี ค.ศ. 1600

1. ออกแบบการทดลองโดยใช้เครื่องมือทันสมัย เพื่อทดสอบคำอธิบายของพลูตาρχ (Plutarch) เกี่ยวกับปรากฏการณ์ของแท่งอำพัน

2. สามารถจะนำปรากฏการณ์ของแท่งอำพันไปอธิบายสิ่งที่อยู่ในคำพูดต่อไปนี้ได้อย่างไร
“ความแวววาวของท่านสามารถจะเกิดไฟฟ้าได้แม้จะอยู่ในระยะห่างเพียงใดก็ตามและสามารถดึงดูดผู้หญิงให้มาติดท่านได้เหมือนกับการใช้ท่อลมดูดฟาง”

เบน จอห์นสัน, *Every man in his humour* (1598) Act III, Scene II

3. มีวิธีใดอีกบ้างที่จะแปลความหมายของบทบาทของ “การดูด” ในประโยคที่ว่า
“สังเกตได้ว่าแท่งอำพันที่ถูกดูนั้นดูดเศษด้วยได้” เพื่อที่จะทำให้คำกล่าวนั้นเป็นที่ยอมรับได้

4. พาร์ค เบนจามิน (Park Benjamin) ตูเอกสารอ้างอิง 1 ในบรรณานุกรม กล่าวว่าแนวโน้มของความนิยมก็คือการพยายามที่จะหาสาเหตุของปรากฏการณ์ที่ยังไม่สามารถจะเข้าใจได้ในสิ่งต่างๆ ซึ่งทำให้ความไม่รู้ที่มีมาก่อนนั้นเพิ่มมากขึ้นทุกที และแนวโน้มดังกล่าวในอดีตก็มีมากพอๆกับปัจจุบัน ท่านสามารถจะแสดงหลักฐานของแนวโน้มดังกล่าวที่เกิดขึ้นกับนักวิทยาศาสตร์ในอดีตและในปัจจุบันได้อย่างไรบ้าง

5. ในหนังสือ *On subtilty* ของคาร์แดน (Cardan) นั้นมักจะอ้างคำพูดว่า “ทุกสิ่งทุกอย่างดูเหมือนจะเป็นที่น่าพอใจไปหมดจนเมื่อพบสาเหตุหรือเข้าใจสิ่งนั้นแล้ว ความน่าพอใจก็จะหมดลง” ซึ่งคงจะหมายความว่าผู้คนส่วนใหญ่มักจะเลิกพอใจหรือเลิกที่จะอยากรู้อยากเห็นในการค้นพบที่มหัศจรรย์และการประดิษฐ์ใหม่ๆทั้งหลาย เมื่อรู้สึกคุ้นเคยกับสิ่งนั้นแล้ว ไม่ว่าจะรู้สาเหตุที่มาของมันหรือไม่ก็ตาม อภิปรายคำกล่าวข้างต้น

6. (ก) การอธิบายปรากฏการณ์ของแท่งอำพันที่เสนอไว้ก่อนสมัยของกิลเบิร์ตในรูปแบบต่างๆ นั้นมีประโยชน์อย่างไร



(ข) การอธิบายเหล่านั้นจัดเป็น “สมมติฐานอย่างกว้างๆ (broad hypothesis)” ซึ่ง हम येजे ข้อสมมติที่อาจเปลี่ยนแปลงได้ซึ่งนักวิทยาศาสตร์จะต้องนำมาเปลี่ยนให้เป็นสมมติฐานที่เฉพาะเจาะจงสำหรับทดสอบ ซึ่งเรียกว่า “สมมติฐานที่มีขอบเขตในการทดลอง (limited working hypothesis)” ที่สามารถทดสอบด้วยการทดลองได้อย่างชัดเจนหรือไม่

(ค) สมมติฐานเหล่านั้นนำไปสู่การค้นพบข้อมูลเกี่ยวกับปรากฏการณ์ของแท่งอำพันเพิ่มเติมหรือไม่

7. ตามที่คาร์แดน (Cardan) ได้บันทึกความแตกต่าง 5 ประการระหว่างแม่เหล็กและแท่งอำพันเอาไว้ นั้น จะใช้เครื่องมือง่ายๆ ทำการทดลองเพื่อแสดงความแตกต่างดังกล่าวอะไรได้บ้างและอย่างไร

8. อเล็กซานเดอร์ แห่ง อโฟรดิซิส (Alexander of Aphrodisias, ค.ศ.300) ได้แสดงความคิดเห็นเอาไว้ว่าแม่เหล็ก “กินเหล็กและให้เหล็กเป็นอาหาร (eats and feeds on iron)” และในปลายศตวรรษที่ 16 คาร์แดนได้รื้อฟื้นข้อสังเกตนี้ขึ้นมาใหม่เพื่ออธิบายการดึงดูดของแม่เหล็ก บางทีคาร์แดน อาจจะพูดในเชิงเปรียบเทียบ โดยที่จริงหมายความว่าอนุภาคของเหล็กสามารถจะค่อยๆ ถูกนำไปรวมกับแม่เหล็กได้อย่างถาวร ออกแบบการทดสอบสมมติฐานนี้ให้สามารถทดลองได้ในศตวรรษที่ 16

1. (ข) วิลเลียม กิลเบิร์ต

9. กิลเบิร์ตได้ให้ความหมายคำศัพท์ต่อไปนี้ไว้อย่างไร

สารที่มีอำนาจไฟฟ้า (electrics) สารที่ไม่มีอำนาจไฟฟ้า (nonelectrics) การดึงดูดทางไฟฟ้า (electrical attraction) และการดึงดูดซึ่งกันและกันทางแม่เหล็ก (magnetic colition) (ในการตอบคำถามนี้ขอให้หลีกเลี่ยงการใช้ความรู้ในปัจจุบันเกี่ยวกับไฟฟ้าและแม่เหล็ก)

10. ข้อดีหรือข้อเสียของเข็มทิศไฟฟ้า (electrical versorium) ได้แก่อะไรบ้างในการที่ทำได้ด้วย
1) เหล็กที่ไม่มีอำนาจแม่เหล็ก 2) เหล็กที่มีอำนาจแม่เหล็ก 3) อะลูมิเนียม 4) ตะกั่ว 5) ไม้

11. สำหรับวัตถุที่ถูกดูดในการทดลองทางไฟฟ้านั้น กิลเบิร์ตมักจะใช้วัตถุที่ “เบา” หรือ “เล็ก” เช่น ฟาง เศษผ้า หรือเข็มเล็กๆ จงแสดงด้วยการทดลองว่าสารที่ถูกกระตุ้นให้แสดงอำนาจทางไฟฟ้านั้นสามารถดึงดูดวัตถุที่หนักได้ (ใช้เข็มแม่เหล็กที่ประกอบด้วยเศษไม้วางให้สมดุลบนคมมีด)

12. เสนอแนะวิธีที่จะนำการค้นพบของกิลเบิร์ตและนักวิทยาศาสตร์ก่อนหน้านี้มาใช้ประโยชน์ได้ทันที (ตามแนวคิดดั้งเดิมนั้น)

13. อธิบายปรากฏการณ์ต่อไปนี้แต่ละปรากฏการณ์ที่กิลเบิร์ตได้บรรยายไว้ในสมมติฐานเกี่ยวกับไอของไฟฟ้า 1) มีสารอยู่ 2 ประเภทคือ สารที่มีอำนาจไฟฟ้าและสารที่ไม่มีอำนาจไฟฟ้า 2) นอกเหนือจาก



อากาศและเปลวไฟแล้ว วัตถุที่ถูกกระตุ้นให้แสดงอำนาจทางไฟฟ้าจะดึงดูดทุกสิ่งทุกอย่าง รวมทั้ง.....
 หนาทึบ 3) ในการกระตุ้นให้วัตถุแสดงอำนาจทางไฟฟ้าจะต้องดูซ้ำไม่ใช่เพียงแค่ทำให้ร้อน 4) การดึงดูด
 แต่ฝ่ายเดียวมากกว่าการดึงดูดซึ่งกันและกัน ดูเหมือนจะเกิดขึ้นในกรณีของปรากฏการณ์ทางไฟฟ้า
 5) แรงดึงดูดจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างวัตถุที่ถูกกระตุ้นให้แสดงอำนาจทางไฟฟ้าและวัตถุที่ถูกดึงดูดลดลง
 6) น้ำที่เทลงบนวัตถุที่ถูกกระตุ้นให้แสดงอำนาจทางไฟฟ้า จะทำให้อำนาจไฟฟ้าหมดลงทันที

14. หลังจากสมัยของกิลเบิร์ต เป็นที่เข้าใจกันอย่างชัดเจนว่า 1) แรงดึงดูดทางไฟฟ้าเป็น
 “แรงดึงดูดซึ่งกันและกัน” 2) ถ้าวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้า 2 ชิ้นประกอบด้วยสารชนิดเดียวกันถูกดูด้วยสารชนิด
 เดียวกัน (เช่น แท่งแก้ว 2 อัน แต่ละอันต่างก็ถูกดูด้วยไหม) มันจะผลักรซึ่งกันและกัน 3) การทำให้สาร
 แสดงอำนาจไฟฟ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่รับรู้ได้ 4) การกระตุ้นให้เกิดอำนาจไฟฟ้าไปเรื่อยๆทำให้สารแสดง
 อำนาจไฟฟ้าได้เรื่อยๆโดยไม่หมด

อธิบายแต่ละการค้นพบเหล่านี้โดยอาศัยทฤษฎีไอไฟฟ้าของกิลเบิร์ต จำเป็นต้องปรับปรุง
 สมมติฐานของกิลเบิร์ตหรือไม่ และถ้าจะต้องปรับปรุงจะปรับปรุงอย่างไร หรือจะต้องยกเลิกสมมติฐาน

15. ถ้าจะต้องเปลี่ยนสมมติฐานของกิลเบิร์ต จะต้องเปลี่ยนอย่างไรเกี่ยวกับกำเนิดของสาร
 ที่สามารถแสดงอำนาจทางไฟฟ้าและสารที่ไม่สามารถแสดงอำนาจทางไฟฟ้า เพื่อใช้อธิบายการค้นพบ
 หลังจากนั้นว่า สารทุกชนิดสามารถทำให้แสดงอำนาจไฟฟ้าได้

16. ทำซ้ำการทดลองหลักของกิลเบิร์ต โดยใช้เครื่องมือและวัสดุต่างๆ ทำนองเดียวกับที่เขาเคย
 ใช้ทำ (เช่น แท่งแม่เหล็ก เข็มทิศ เศษขี้เลื่อยหรือเศษเหล็ก เศษขี้ผึ้ง หวียางแข็งๆ ผ้าขนสัตว์ เข็มทิศไฟฟ้า
 อย่างง่าย เศษกระดาษ หรือไม้คอร์ก) และทดสอบแนวคิดต่อไปนี้ของกิลเบิร์ตเกี่ยวกับความแตกต่าง
 ระหว่างแม่เหล็กและไฟฟ้า 1) สารที่สามารถจะแสดงอำนาจไฟฟ้าได้ไม่ใช่สารแม่เหล็กที่ต้องการการเสียดสี
 ให้เกิดอำนาจไฟฟ้า 2) แม่เหล็กดึงดูดเฉพาะสารแม่เหล็ก ตรงกันข้าม สารที่มีอำนาจทางไฟฟ้าจะดึงดูด
 ทุกสิ่งนอกจากอากาศและเปลวไฟ 3) เศษเหล็กที่วางใกล้แม่เหล็กมีแนวโน้มที่จะเรียงตัวเป็นระเบียบส่วน
 เศษของสารอื่นๆที่นำเข้าไปใกล้สารที่มีอำนาจไฟฟ้าจะเข้ามารวมกันในลักษณะที่ไม่เป็นระเบียบ

2. และ 3. ศตวรรษที่ 17 : ฟรานซิส ฮอคสบี

17. เสนอแนะเหตุผลที่เป็นไปได้มากที่สุดว่า เพราะเหตุใดปรากฏการณ์ของการดึงดูดซึ่งกัน
 และกันจึงค้นพบกันมากในแม่เหล็กก่อนที่จะค้นพบในสารที่ถูกทำให้มีอำนาจทางไฟฟ้า

18. สมมติฐานใดของไอไฟฟ้าของกิลเบิร์ต หรือคาเบโอ หรือของใครก็ตามในยุคนั้น ที่สามารถ
 อธิบายข้อสังเกตต่อไปนี้ได้ 1) แรงดึงดูดทางไฟฟ้าเกิดขึ้นในสุญญากาศได้ดีเท่ากับที่เกิดขึ้นในอากาศ 2)



แรงดึงดูดทางไฟฟ้าเป็นแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน 3) ทั้งในอากาศหรือในสุญญากาศ วัตถุเล็กๆเมื่อได้สัมผัสกับวัตถุที่ถูกกระตุ้นให้เกิดอำนาจทางไฟฟ้า บางทีจะติดกับวัตถุนั้นและบางทีจะกระเด็นหนีจากวัตถุนั้น 4) ไฟที่สว่างแวบจะเกิดขึ้นในหลอดที่สูบลอยอากาศออกมาบางส่วนเมื่อถูกนำไปใกล้แต่ไม่สัมผัสกับวัตถุที่ถูกทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าอย่างแรง

19. โดยวิธีการใดบ้างที่จะสร้างเครื่องมือแบบของฮอคสปีให้สามารถใช้ในการหมุนลูกกลมแก้ว (ที่ภายในลูกกลมเป็นสุญญากาศ) ในอากาศได้ง่ายกว่าเครื่องมือที่หมุนวัตถุที่อยู่ในภาชนะแก้วสุญญากาศ

20. ก) เขียนการทดลองของฮอคสปี ข) ในแต่ละการทดลองในข้อ ก) ตั้งสมมติฐานแบบกว้าง แล้วเปลี่ยนให้เป็นสมมติฐานแบบมีขอบเขตในการทดลองของเขาที่จะทำให้เขาสามารถทดลองได้ ตัวแปรที่เขาคิดว่าเหมาะสมในการนำมาใช้ออกแบบการทดลอง และข้อสรุปของเขา

21. สร้างเครื่องวัดประจุไฟฟ้าแบบเส้นด้ายคล้ายกับที่ฮอคสปีแขวนไว้รอบทรงกระบอกหรือทรงกลมที่มีอำนาจไฟฟ้า และทำการทดลองที่บรรยายไว้ซ้ำ

22. แสดงด้วยการทดลองว่า เศษกระดาษ โลหะ หรือลูกคอร์กเล็กๆ (pith ball) หลังจากถูกดึงดูดและสัมผัสกับวัตถุที่ถูกกระตุ้นให้แสดงอำนาจไฟฟ้าแล้ว จะถูกผลักจนไปสัมผัสกับวัตถุอื่นที่ไม่ได้ถูกกระตุ้นให้แสดงอำนาจทางไฟฟ้า แล้วจะถูกดูดกลับเข้าไปใหม่

23. ในต้นศตวรรษที่ 18 นักฟิสิกส์ยังไม่เชื่อว่าแสงจากบารอมิเตอร์นั้นเกิดจากปรากฏการณ์ทางไฟฟ้า เพราะฮอคสปีไม่สามารถสาธิตให้เห็นว่าหลอดบารอมิเตอร์ เมื่อถูกครูดด้วยปรอทไม่เพียงแต่จะเกิดแสงแต่ในขณะเดียวกันจะสามารถดึงดูดวัตถุเบาๆที่วางอยู่ใกล้ๆได้ ต่อมาการสาธิตโดยตรงนี้ทำได้สำเร็จโดยนักวิทยาศาสตร์คนอื่นในปี ค.ศ. 1745 โดยการแขวนเส้นด้ายไว้ในหลอดสุญญากาศที่หุ้มรอบหลอดบารอมิเตอร์ เป็นที่กล่าวกันว่าความฉลาดปราดเปรื่องจนเกินไปของฮอคสปีทำให้เขาล้มเหลว เพราะเขาไม่เคยคิดเลยว่าการทดลองง่ายๆ เช่นนี้จะทำได้สำเร็จ ทำให้สามารถแก้ปัญหาที่สงสัยได้ หรืออีกนัยหนึ่งก็คืออาจจะมึนอะไรบางอย่างที่เขาสังเกตพบในระหว่างการทดลองที่ทำให้เขาไม่กล้าที่จะทำการสาธิตโดยตรงเช่นนั้น แม้ว่าเขาจะเคยคิดที่จะทำเช่นนั้นมาก่อนก็ตาม

4. สตีเฟน เกรย์ (Stephen Gray)

24. ใช้เครื่องมือแบบง่ายทำการทดลองของเกรย์ซ้ำเกี่ยวกับการนำไฟฟ้าและการทำให้เกิดประจุไฟฟ้า โดยการเหนี่ยวนำ

25. ถ้ามือเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี ทำไมแท่งอำพันจึงสามารถถูกทำให้แสดงอำนาจไฟฟ้าได้เมื่อถือไว้ในมือ



26. ก) ด้วยตัวอย่างที่ได้จากผลงานของเกรย์บรรยายถึงการที่สมมติฐานแบบมีขอบเขตการทดลองสำคัญกว่าสมมติฐานแบบกว้าง ข) ถ้าการทดลองแสดงให้เห็นว่าสมมติฐานแบบมีขอบเขตการทดลอง ทำให้ได้ผลการทดลองตรงตามสมมติฐาน หมายความว่า จะตรงตามสมมติฐานแบบกว้างซึ่งเป็นที่มาของสมมติฐานแบบมีขอบเขตการทดลอง ด้วยหรือไม่ เพราะเหตุใด

27. กิลเบิร์ตได้ตั้งสมมติฐานแบบกว้างไว้ว่า “วัตถุที่ถูกทำให้สามารถแสดงอำนาจไฟฟ้าได้ทั้งหมดนั้น มีต้นกำเนิดมาจากสารที่เรียกว่าของไหลหรือชิ้น” ถ้านักวิทยาศาสตร์รุ่นต่อมาพบว่าสารบางอย่างดูเหมือนจะมีต้นกำเนิดดังกล่าว แต่ก็ยังไม่มีใครจัดไว้ในสารที่ถูกทำให้สามารถแสดงอำนาจไฟฟ้าได้มาก่อน เขาจึงดูสารนั้นและพบว่ามันสามารถดึงดูดวัตถุเล็กๆ ได้

ก) สมมติฐานแบบมีขอบเขตการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ดังกล่าวข้างต้นคืออะไรและผลการทดลองที่ตรงกับสมมติฐานนั้นคืออะไร

ข) ในปัจจุบันเรารู้กันหรือยังว่าสมมติฐานแบบกว้างของกิลเบิร์ตให้ผลไม่ตรง

28. เกรย์ใช้สมมติฐานเกี่ยวกับไอไฟฟ้าทำอะไรที่คล้ายคลึงกับที่กิลเบิร์ต ฮอคสปี และคนอื่นๆ ได้พัฒนาไว้

29. สมมติฐานเกี่ยวกับไอไฟฟ้าอะไรที่ท่านคิดว่าเพียงพอในการอธิบายปรากฏการณ์ต่อไปนี้ที่เกรย์สังเกตพบ 1) สารเฉพาะบางอย่างมีสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีในขณะที่สารเฉพาะบางอย่างไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า 2) วัตถุสามารถถูกทำให้แสดงอำนาจไฟฟ้าได้ชั่วคราวโดยการเหนี่ยวนำ ระดับของความสามารถในการแสดงอำนาจไฟฟ้าจะลดลงเมื่อระยะทางระหว่างวัตถุและหลอดที่ถูกทำให้มีอำนาจไฟฟ้านั้นเพิ่มขึ้น

30. การสังเกตใดของเกรย์ที่เป็นการสังเกตเชิงกึ่งปริมาณหรือเชิงปริมาณ

5. ซี เอฟ เดอ ซี ดูเฟย์

31. ขอสรุขั้วข้อใดใน 5 ข้อ ที่กล่าวโดยย่อไว้มีต้นตอมาจากดูเฟย์

32. ใช้เครื่องมือง่ายๆ สาธิตเช่นเดียวกับดูเฟย์ว่า 1) เส้นด้ายจะนำไฟฟ้าเมื่อเปียกได้ดีกว่าเมื่อแห้ง และแก้วเป็นตัวให้ไฟฟ้าที่ดีแก่เส้นด้าย 2) วัตถุ 2 ก้อนที่มีอำนาจไฟฟ้าเดียวกันจะผลักรันและตรงกันข้ามวัตถุ 2 ก้อนที่มีอำนาจไฟฟ้าต่างกันจะดึงดูดกัน 3) วัตถุ 2 ก้อนที่มีอำนาจไฟฟ้าชนิดเดียวกันอาจจะดึงดูดกันถ้าอีกก้อนหนึ่งมีอำนาจไฟฟ้าอ่อน 4) ไฟฟ้าที่เกิดจากการนำไฟฟ้าจะยังคงคุณสมบัติเดิมของมัน

33. ศัพท์ต่อไปนี้ตามความหมายของดูเฟย์หมายความว่าอย่างไร ฉนวน ไฟฟ้า “ไฟฟ้าแบบแก้ว” และ “ไฟฟ้าแบบยางไม้” (ในการตอบคำถามพยายามหลีกเลี่ยงการใช้ความหมายตามความรู้สมัยใหม่ของ



คำศัพท์เหล่านี้ที่ท่านอาจจะมิได้อยู่)

34. กฎทางวิทยาศาสตร์นั้นหมายถึงข้อความใด ๆ ก็ตามที่อธิบายความสัมพันธ์หรือลำดับของปรากฏการณ์ที่สังเกตได้ซึ่งเป็นที่แน่นอนแล้วเท่าที่สามารถจะทำได้ในสภาพหนึ่งๆ การสรุปใดต่อไปนี้ที่ดีถือว่าเป็นข้อสรุปที่ได้ตั้งไว้อย่างดีแล้วจากผลงานของดูเฟย์ ซึ่งเราสามารถจะอ้างได้ว่าเป็นกฎที่สนับสนุนสมมติฐานอย่างกว้างๆ 1) โลหะและวัตถุที่เปียกนั้นจะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีเมื่อเทียบกับสารอื่น 2) วัตถุที่ถูกทำให้แสดงอำนาจไฟฟ้าและวัตถุที่ไม่แสดงอำนาจไฟฟ้าจะดึงดูดซึ่งกันและกัน 3) โขของวัตถุที่ถูกทำให้แสดงอำนาจไฟฟ้าจะผลักกันในตัวของมันเอง 4) สารที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีคือสารที่สามารถถูกทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าได้โดยการเหนี่ยวนำ 5) วัตถุที่ถูกทำให้มีอำนาจไฟฟ้าโดยการนำไฟฟ้าจะถูกผลักโดยวัตถุที่ให้อำนาจไฟฟ้าแก่มัน 6) วัตถุที่ไม่แสดงอำนาจไฟฟ้าจะมีปริมาณของไหลชนิด “แก้ว” เท่ากับชนิด “ยางไม้”

35. ถ้าท่านกำลังเตรียมข้อความที่จะบรรยายถึงทฤษฎีไฟฟ้าแบบของไหลสองชนิด ท่านจะเลือกนิยามใดต่อไปนี้เป็นนิยามที่อธิบายได้ดีกว่า เพราะเหตุใด 1) ถ้าวัตถุใดๆ ที่พบว่าไม่แสดงอำนาจไฟฟ้าหมายความว่าวัตถุนั้นมีปริมาณของของไหลไฟฟ้าชนิด “แก้ว” เท่ากับชนิด “ยางไม้” 2) วัตถุใดที่มีปริมาณของของไหลไฟฟ้าชนิด “แก้ว” และชนิด “ยางไม้” เท่ากันแสดงว่าวัตถุนั้นจะไม่แสดงอำนาจไฟฟ้า

36. ก) เท่าที่ท่านได้ตัดสินใจจากผลงานของดูเฟย์นั้น เขาได้ทำการทดลองใดมาก่อนที่แสดงว่าเขาแก้ปัญหาเชิงเทคนิคการทดลองหรือไม่ ข) มีการค้นพบโดยของเขาหรือไม่ ที่เขารู้สึกว่าสามารถนำไปใช้ได้ ในเชิงปฏิบัติ ค) สมมุติว่ามีการโต้เถียงกัน และท่านเชื่อว่าผลงานทางวิทยาศาสตร์มักจะถูกกระตุ้นด้วยปัจจัยทางเศรษฐกิจ ผลงานของดูเฟย์ในลักษณะใดหรือปัจจัยทางเศรษฐกิจใดที่ดีว่าสำคัญในประวัติศาสตร์ของฝรั่งเศสในยุคของเขาที่ท่านคิดว่าจะสนับสนุนความเชื่อนั้น

37. ในการอภิปรายผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 13 ดูเฟย์กล่าวว่าลูกกลมไม้ B สามารถทำให้มีอำนาจไฟฟ้าได้เพราะ “สารไฟฟ้าไหลอย่างอิสระผ่านอากาศ” จาก A ไป C หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือเขาคิดว่าเส้นเชื่อมต่อไฟฟ้า CB ถูกทำให้แสดงอำนาจไฟฟ้าโดยการนำ เหมือนกับกรณีที่เกิดประกายไฟแลบจาก A ไป C เพราะลูกกลม B แสดงอำนาจไฟฟ้า เมื่อความยาวของช่วงที่เป็นช่องว่างอากาศ AC ห่าง 1 ฟุต อาจจะเป็นไปได้ว่าเส้นเชื่อม CB ถูกทำให้แสดงอำนาจไฟฟ้าได้ด้วยการเหนี่ยวนำมากกว่าโดยการนำผ่านอากาศ เสนอแนะการทดสอบง่ายๆ ที่สามารถทำได้ในสมัยของดูเฟย์ เพื่อพิสูจน์ว่าวิธีการทำให้วัตถุแสดงอำนาจไฟฟ้าวิธีใดใน 2 วิธีนี้ที่สามารถทำได้จริง

38. แสดงให้เห็นว่าแนวคิดหลักของดูเฟย์เพียงพอที่จะอธิบายว่าทำไมวัตถุ 2 ก้อนซึ่งมีอำนาจไฟฟ้าชนิดเดียวกันจึงผลักกันเมื่อทั้งสองก้อนต่างก็ถูกทำให้แสดงอำนาจไฟฟ้าอย่างแรง แต่จะดึงดูดกันถ้าก้อน



หนึ่ง ถูกทำให้มีอำนาจไฟฟ้าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับอีกก้อนหนึ่ง

39. ถึงแม้ว่าดูเฟย์จะไม่มีความเข้าใจอย่างชัดเจนเกี่ยวกับการแสดงอำนาจไฟฟ้าได้ด้วยการเหนี่ยวนำว่าต่างจากการทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าได้โดยการนำอย่างไร ทฤษฎีไฟฟ้าสองชนิดซึ่งพัฒนาขึ้นมาจากงานของเขานั้นสามารถใช้อธิบายการเกิดอำนาจไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ

ก) แสดงให้เห็นว่าโดยการพิจารณาจากสมมติฐานแบบเจาะจงวิธีทดลองนั้น จะทำให้การทดลองได้ผลที่ตรงคือ ถ้านำเส้นด้ายเข้าไปใกล้แต่ไม่สัมผัสกับหลอดแก้วที่ถูกกระตุ้นให้แสดงอำนาจไฟฟ้า ปลายที่ปล่อยของเส้นด้ายจะได้รับไฟฟ้าชนิด “ยางไม้” มากเกินพอ และยิ่งปลายที่ถูกผูกติดของเส้นด้ายอยู่ห่างจากปลายที่ปล่อยมากเท่าใด ปลายที่ถูกผูกติดก็จะมีไฟฟ้าชนิด “แก้ว” มากเกินพอเท่านั้น แต่ถ้าหลอดแก้วที่ถูกกระตุ้นถูกนำออกไปห่างจากเส้นด้ายมากขึ้นปลายทั้งสองของหลอดแก้วก็จะกลับไปสู่สภาพที่ไม่สามารถแสดงอำนาจไฟฟ้าอีกต่อไป

ข) จะสามารถคาดคะเนผลของการนำหลอดแก้วออกห่างจากเส้นด้ายนี้เทียบกับผลของการทดลองโดยการทำให้เกิดไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำได้อย่างไร

ค) ถ้าทั้งเส้นด้ายและปลายนี้เข้าไปใกล้กับหลอดแก้วที่ถูกกระตุ้น ท่านสามารถจะพยากรณ์จากทฤษฎีได้หรือไม่ว่าปลายของเส้นด้ายจะถูกดูดหรือผลักโดยปลายนี้

ง) ทดสอบการพยากรณ์นี้ โดยการเปรียบเทียบกับผลการทดลองของฮอดสันที่ทดลองกับหลอดแก้วทรงกระบอกที่ถูกกระตุ้นและเครื่องวัดประจุไฟฟ้าเส้นด้าย

40. ในรายงานหนึ่งของดูเฟย์ ได้รายงานถึงเครื่องมือที่เขาออกแบบขึ้น ซึ่งประกอบด้วยเข็มแก้ว (คือหลอดแก้วเล็กๆ) แขนตรงกลางเหมือนแขนเข็มแม่เหล็ก และมีลูกกลมโลหะกลวงติดอยู่ที่ปลายหนึ่ง และถ่วงน้ำหนักที่อีกปลายหนึ่งให้สมดุล ลูกกลมโลหะจะถูกทำให้แสดงอำนาจไฟฟ้าโดยการที่สัมผัสกับหลอดแก้วที่ถูกกระตุ้น ทำให้ได้รับอำนาจไฟฟ้าแบบ “แก้ว”

ก) เครื่องมือนี้แตกต่างจากเข็มทิศไฟฟ้าของกิลเบิร์ตอย่างไร ข) ดูเฟย์เจาะจงว่าลูกกลมจะต้องกลวง “เพื่อจะสามารถทำให้ใหญ่ขึ้นด้วย เพื่อให้ได้รับอำนาจไฟฟ้าได้แรงขึ้น และไม่หนักเกินไป แต่สามารถทำให้หมุนได้ง่าย” จงแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือนี้ได้นำเอาหลักการทฤษฎีของไหลไฟฟ้าสองชนิดมาใช้โดยไฟฟ้าที่เกินพอถูกให้กับลูกกลมโลหะ ซึ่งทั้งหมดจะอยู่ที่ผิวโลหะ ดังนั้นลูกกลมกลวงจะถูกทำให้แสดงอำนาจไฟฟ้าได้ “อย่างแรง” เท่ากับโลหะกลมตันที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากัน



6. การทำให้วิทยาศาสตร์เป็นที่นิยมแพร่หลาย : การปรับปรุงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไตรโบอิเล็กทริก (triboelectric); พัฒนาการของเครื่องพักกระแสไฟฟ้า (condenser) หรือเครื่องควบแน่นไฟฟ้า

41. ก) วลีที่ว่า “สามัญสำนึก” นั้นปกติมีความหมายว่าอย่างไร

ข) อธิบายเหตุผลที่ว่าทำไมในศตวรรษที่ 18 จึงเหมาะสมที่จะถือว่าเป็นยุคของสามัญสำนึก

ค) อภิปรายว่าความรู้เกี่ยวกับธรรมชาติที่เพิ่มพูนขึ้นที่เรียกว่าการพัฒนาวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ นั้น ควรจะถือว่าเป็นความรู้จากสามัญสำนึกใช่หรือไม่

ง) สามัญสำนึกของมนุษย์เปลี่ยนไปตามเวลาหรือไม่

42. อะไรคือองค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องพักกระแสไฟฟ้า หรือเรียกในศัพท์ที่ทันสมัยว่าเครื่องเก็บสะสมไฟฟ้า (capacitor)

43. ในปี ค.ศ. 1746 นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ได้สร้าง “แบตเตอรี่” ที่คล้ายกับขวดลิเตนหลายๆ ขวดมาต่อกันที่ผนังภายนอกโดยใช้ลวด ซึ่งแท่งแก้วทุกแท่งจะสัมผัสกับผนังภายในโดยลวดอีกเส้นหนึ่ง และนำเอาปลายที่ปล่อยของลวด 2 เส้นนั้นเข้ามาใกล้กันจนพอที่จะเกิดประกายไฟแลบข้ามที่ว่างระหว่างลวดทั้งสอง เครื่องพักกระแสไฟฟ้าที่ติดกันในลักษณะนี้เรียกว่า ต่อแบบขนาน เมื่อพิจารณาว่าวิธีการทั้ง 3 วิธีนั้นกำลังในการปล่อยกระแสไฟฟ้าของเครื่องพักกระแสไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนแปลงได้ จึงแสดงให้เห็นว่าเป็นสิ่งที่มีเหตุผลที่จะสมมุติว่ากระแสไฟฟ้าที่ถูกปล่อยออกมาจากเครื่องพักกระแสไฟฟ้าหลายๆเครื่องต่อกัน แบบขนานนั้นจะมากกว่าจากเครื่องใดเครื่องหนึ่งเพียงเครื่องเดียว

44. ในการสมมุติว่าไฟฟ้าเป็นรูปหนึ่งของสสาร ดังนั้นไฟฟ้าควรจะมีน้ำหนัก ได้มีการทดลองในศตวรรษที่ 18 เพื่อพิสูจน์ว่าวัตถุมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นหรือไม่ในระหว่างที่ถูกทำให้แสดงอำนาจไฟฟ้า ปรากฏว่าผลที่ได้จะเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ ไม่แน่นอนจนไม่สามารถจะสรุปได้ แต่แนวคิดโดยทั่วไปก็คือจะไม่มี的增加น้ำหนัก ก) อะไรคือความยุ่งยากในการทดลองที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาด ข) สมมุติว่าสาเหตุของข้อผิดพลาดและของผลที่ไม่เที่ยงตรงนั้นสามารถจะถูกทำให้หมดไปได้ และพบว่าวัตถุที่ถูกทำให้แสดงอำนาจไฟฟ้านั้นน้ำหนักไม่เพิ่มขึ้น สามารถจะสรุปได้หรือไม่ว่าไฟฟ้าไม่ใช่สสาร

45. ความรู้ที่ได้เกี่ยวกับขวดลิเตนในช่วงนี้ถือว่าการวัดอำนาจไฟฟ้าเชิงปริมาณได้หรือไม่ หรือเป็นเชิงปริมาณได้หรือไม่



7. เบนจามิน แฟรงคลิน

46. ตามทฤษฎีของไหลไฟฟ้าสองชนิดของแฟรงคลินแล้ว จะแปลความหมายของข้อความที่ว่า การถูกลอดแก้วทำให้เกิดไฟฟ้าได้อย่างไร

47. เปรียบเทียบความหมายของคำว่าไฟฟ้าที่แฟรงคลินใช้กับความหมายที่ถูกนำมาใช้ในภาษาอังกฤษเป็นครั้งแรก

48. แฟรงคลินสังเกตว่าลูกกลมคอร์กที่ถูกทำให้แสดงอำนาจไฟฟ้าบวกนั้นจะถูกดูดอย่างแรงโดยสิ่งที่เคลือบภายนอกของขวดลิเตน และจากปรากฏการณ์นี้เขาได้สรุปว่าสารที่เคลือบภายนอกนั้นถูกทำให้แสดงอำนาจไฟฟ้าลบ

ก) อะไรคือพฤติกรรมของลูกกลมคอร์ก ถ้าสารที่เคลือบภายนอกไม่ได้ถูกทำให้แสดงอำนาจไฟฟ้าทั้งหมด

ข) ท่านสามารถจะอธิบายได้อย่างไรว่า ทำไมแฟรงคลินจึงไม่ใช่ลูกกลมที่ทำให้แสดงอำนาจไฟฟ้าลบเพื่อทดสอบสารที่เคลือบภายนอกขวดลิเตน

49. ใช้ทฤษฎีของไหลไฟฟ้าชนิดเดียวของแฟรงคลิน และอิพิโนส ในการอธิบายปรากฏการณ์แต่ละปรากฏการณ์ต่อไปนี้ 1) แรงดึงดูดระหว่างวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบ 2) แรงดึงดูดระหว่างวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าบวกและที่ไม่มีประจุไฟฟ้า 3) แรงดึงดูดระหว่างวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าลบและที่ไม่มีประจุไฟฟ้า 4) แรงผลักระหว่างวัตถุที่มีประจุบวก 2 ก้อน 5) แรงผลักระหว่างวัตถุที่มีประจุลบ 2 ก้อน 6) แรงดึงดูดที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างวัตถุ 2 ก้อนที่มีประจุชนิดเดียวกัน แต่ก้อนหนึ่งมีอำนาจไฟฟ้าอ่อนกว่า

50. แฟรงคลินพบว่าพายุฟ้าคะนองบางก้อนก็มีประจุไฟฟ้าบวก บางก้อนก็มีประจุไฟฟ้าลบ ใช้แนวความคิดหลักของแฟรงคลินอธิบายการทำงานของแท่งกำเนิดแสงเมื่อประจุไฟฟ้าของก้อนเมฆเป็น

ก) บวก ข) ลบ

51. เมื่อมือจับที่เป็นฉนวน 2 อันแยกกัน ต่างก็ติดอยู่กับจานของแท่งอำพันหรือยางไม้ที่แข็ง และจานไม้ที่หุ้มด้วยขนสัตว์ ถ้าจานทั้งสองถูกนำมาถูกันแล้วปล่อยให้แยกกัน การทดสอบด้วยเครื่องวัดประจุไฟฟ้าแสดงให้เห็นว่าจานทั้งสองได้รับประจุไฟฟ้าที่ตรงข้ามกัน ถ้าจานทั้งสองถูกนำมาสัมผัสกันอีก การแสดงอำนาจไฟฟ้าของจานทั้งสองจะหมดไป

ก) ผลของการทดลองนี้จะสามารถอธิบายได้โดยทฤษฎีของแฟรงคลิน อิพิโนสมากน้อยเพียงใด

ข) ผลของการทดลองนี้ช่วยสนับสนุนทฤษฎีใด

52. นาฬิกาไฟฟ้าที่แฟรงคลินกล่าวถึงนั้น อาจจะสร้างขึ้นได้โดยการติดระฆัง 2 ใบไว้ข้างๆกัน



ให้ระฆังใบแรกต่อกับวัตถุที่ถูกทำให้มีอำนาจไฟฟ้า ระฆังใบที่ 2 ต่อกับดิน และระหว่างระฆังทั้งสองนั้นแขวนลูกกลมโลหะเล็กๆไว้ด้วยเส้นไหม ดังนั้นลูกกลมดังกล่าวจะสามารถเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมได้ ใช้ทฤษฎีของไหลไฟฟ้าชนิดเดียวของแฟรงคลินอธิบายว่าทำไมลูกกลมโลหะเล็กๆนั้นจึงสามารถแกว่งไปมาได้ และตีกระทบระฆังแต่ละใบสลับกันไปมาได้

53. ก) เตรียมการโต้แย้งที่รุนแรงที่สุดที่จะทำได้เพื่อสนับสนุนการปกป้องว่า การศึกษาค้นคว้าทางไฟฟ้าของแฟรงคลินนั้นไม่ได้ถูกกระตุ้นด้วยปัจจัยกึ่งเศรษฐกิจ

ข) เสนอหลักฐานข้อมูลมาให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้เพื่อต่อต้านผู้ที่ขัดแย้งกัน

54. เขียนเรียงความสั้นๆ เกี่ยวกับหัวข้อ “การปกป้องรักษาแนวความคิดหลัก” ยกตัวอย่างประกอบจากผลงานของแฟรงคลินและอีพินัส และจากกรณีศึกษาใน *Harvard Case Histories in Experimental Science* ต่อไปนี้อย่างน้อย 1 เรื่อง

1) กรณีศึกษาที่ 1 การปกป้องแนวความคิดหลักของนักปฏิบัติทั่วไป (plenists) ในกรณีของการปกป้องทฤษฎีของนอยล์ที่ว่าเราสามารถทำให้เกิดสุญญากาศในหลอดได้

2) กรณีศึกษาที่ 2 เกี่ยวกับการปกป้องสมมติฐานเกี่ยวกับฟลอจิสตันของพรินซ์ลีย์

3) กรณีศึกษาที่ 3 การปกป้องทฤษฎีแคลอรีของความร้อนของรุมฟอร์ด (Rumford) โดยเอมเมตต์ (Emmett)

8. การนำวิธีการวัดเชิงปริมาณมาใช้

55. ยกตัวอย่างทั้งจากประวัติศาสตร์ทางด้านไฟฟ้า และจากประสบการณ์ในชีวิตประจำวันของการสังเกตหรือการสรุปที่เป็น ก) เชิงคุณภาพอย่างแท้จริง ข) เชิงปริมาณ ค) เชิงปริมาณ

56. ในการทดลองอีกการทดลองหนึ่งของเบอร์นูลีที่ใช้เครื่องมือวัดอำนาจไฟฟ้า (electrometer) รูป 18 เราได้ดึงเอาจานที่ 2 ออก แล้วใส่ภาชนะที่มีน้ำอยู่ภายในวางอยู่บนขาตั้งเข้าไปแทน แล้วต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไดรไบโอเล็กทริกกับภาชนะนี้ เมื่อเริ่มเปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้งน้ำและเครื่องวัดอำนาจไฟฟ้าที่ลอยอยู่ในน้ำจะถูกทำให้แสดงอำนาจไฟฟ้า จงพยากรณ์ว่าเครื่องวัดอำนาจไฟฟ้านี้จะเคลื่อนที่ขึ้นหรือลง

57. อภิปราย “การให้เหตุผลโดยการอุปมา”

58. อธิบายว่าท่านควรจะอยู่ในที่ใดจึงจะปลอดภัยกว่าระหว่างที่เกิดพายุฟ้าคะนอง ภายในกรงนก ในสวนสัตว์ หรือใต้ต้นไม้

59. ในเครื่องชั่งแบบบิดมุม (Torsion Balance) (รูปที่ 22) อะไรคือข้อเสียของการใช้ไม้ของไม้



บางจำพวกหรือฟิธ (pith) ที่มีรูปทรงไม่แน่นอนแทนลูกกลมคอร์กที่มีรูปทรงกลม

60. ในการทดลองหนึ่งของคุลอมบ์โดยใช้เครื่องชั่งแบบบิดมุม พบว่าแรงระหว่างลูกกลมคอร์กที่ทำให้แสดงอำนาจไฟฟ้า 2 ลูก เป็น $1/850$ เกรน เมื่อลูกกลมทั้งสองอยู่ห่างกัน 1.58 นิ้ว ใช้กฎที่สมบูรณ์ของคุลอมบ์ในการพยากรณ์ว่าแรงอะไรบ้างที่จะเกี่ยวข้องกับสถานการณ์ต่อไปนี้

- ก) ถ้าระยะห่างระหว่างลูกกลม 2 ลูกนั้นเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า
- ข) ถ้าปริมาณของไฟฟ้าบนลูกกลมลูกหนึ่งเป็น 2 เท่า และบนลูกบอลอีกลูกหนึ่งเป็น 3 เท่า ระยะห่างระหว่างลูกกลมเป็น 1.58 นิ้ว
- ค) ถ้าปริมาณของไฟฟ้าบนลูกกลมแต่ละลูกลดลงครึ่งหนึ่งของเดิม และระยะห่างระหว่างลูกกลมเป็น 0.79 นิ้ว

61. ในการทดลองหนึ่งด้วยเครื่องชั่งแบบบิดชนิดเพนดูลัม (รูป 23) คุลอมบ์พบว่าเข็ม IG ทำให้เกิดการแกว่งครบรอบ 15 ครั้งในเวลา 20 วินาที เมื่อจาน I อยู่ห่างจากจุดศูนย์กลาง G ของทรงกลม 9 นิ้ว ต่อจากนั้นเมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไฟฟ้าบนจานและทรงกลม เขาเพิ่มระยะทาง IG เป็น 12 นิ้ว จงพยากรณ์เวลาที่ต้องการในการแกว่ง 15 รอบ

62. คุลอมบ์พบว่าในวันที่อากาศชื้น เวลาแกว่งครบรอบของเข็มเครื่องชั่งแบบบิดชนิดเพนดูลัมจะค่อยๆ เปลี่ยนไปทุกๆ ที่ระยะทาง IG ยังคงเท่าเดิม ท่านคาดว่าเวลาแกว่งครบรอบของเข็มจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงในสถานการณ์ดังกล่าว

63. ใช้ทฤษฎีของโวลไฟฟ้าสองชนิดเพื่ออธิบายปรากฏการณ์แต่ละปรากฏการณ์ที่ระบุไว้ในข้อ 49

64. โดยแนวคิดของ ก) ทฤษฎีของโวลไฟฟ้าสองชนิด และ ข) ทฤษฎีอิเล็กตรอน-โปรตอนสมัยใหม่ แปลความหมายของข้อความที่ว่า การถูหลุดแก้ว “ทำให้เกิด” ไฟฟ้า

65. ใช้ทฤษฎีอิเล็กตรอน-โปรตอนสมัยใหม่ในการอธิบายปรากฏการณ์แต่ละปรากฏการณ์ที่ระบุไว้ในคำถามข้อ 49



บรรณานุกรม

(ถ้าใส่เครื่องหมาย * ไว้ แสดงว่าเป็นเอกสารอ้างอิงที่เหมาะสมกับผู้อ่านในระดับเริ่มต้นเป็นพิเศษ)

เอกสารอ้างอิงทั่วไป

1. Park Benjamin, *The intellectual rise in electricity: a history* (Appleton, 1895) คือรอบคอบผลงานทางไฟฟ้าตั้งแต่สมัยโบราณจนถึงสมัยของแฟรงคลิน แม้ว่าจะเป็นผลงานเก่าแก่ แต่ก็ช่วยให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับพัฒนาการของความรู้ทางด้านไฟฟ้า ซึ่งนับว่ามีประโยชน์มาก
- *2. Herbert Butterfield, *The origins of modern science:1300-1800* (Macmillan, 1951)
- *3. I. Bernard Cohen, *Benjamin Franklin's experiments* (Harvard University Press, Cambridge, 1941) เป็นเอกสารที่ดีที่สุดที่กล่าวถึงการทดลองเกี่ยวกับไฟฟ้าของแฟรงคลินทั้งหมดใน *Experiments and observations on electricity* รวมทั้งผลงานทางไฟฟ้าของนักวิทยาศาสตร์คนอื่น ๆ ด้วย
- *4. James B. Conant, *Science and common sense* (Yale University Press, New Haven, 1951) เอกสารอ้างอิง 2, 3 และ 4 ร่วมกันแสดงถึงแนวคิดของนักประวัติศาสตร์ นักประวัตินักวิทยาศาสตร์ และนักวิทยาศาสตร์
- *5. William F. Magie, *A source book in physics* (McGraw-Hill, New York, 1935)
- *6. Dayton C. Miller, *Sparks, lightning, cosmic rays* (Macmillan, New York, 1939) เป็นเกร็ดของประวัติศาสตร์ทางด้านไฟฟ้า
7. Joseph Priestley, *The history and present state of electricity, with original experiments* (London, ed.1, 1767; ed.2, 1769 ; ed.3, 1775) ครั้งแรกของหนังสือเล่มนี้บรรยายถึงพัฒนาการของความรู้ทางไฟฟ้าตั้งแต่ต้นมาจนถึงสมัยของฟริสลิย์ ครั้งหลังเป็นเรื่องเกี่ยวกับผลงานของฟริสลิย์เอง และแนวคิดเกี่ยวกับไฟฟ้าของนักวิทยาศาสตร์ร่วมสมัยของฟริสลิย์ ประวัติศาสตร์ทางไฟฟ้าในยุคต้นนี้ถูกนำไปใช้อ้างอิงมากโดยผู้เขียนหนังสือทางไฟฟ้าในสมัยต่อ ๆ มา
8. George Sarton, *Introduction to the history of science* (Williams & Wilkins, Baltimore, 1927-1948) vols. 1-3 เป็นหนังสือที่แสดงผลงานของนักวิทยาศาสตร์อย่างสมบูรณ์และถูกต้องทางวิชาการมากที่สุด ซึ่งรวมผลงานตั้งแต่ยุคของ Homer จนถึงปลายศตวรรษที่ 14
9. Richard M. Sutton (บรรณาธิการ) *Demonstration experiments in physics* (McGraw-Hill, New York, 1938), pp. 249-296



*10. Lloyd W. Taylor, *Physics: the pioneer science* (Houghton Mifflin, Boston, 1941)
ตำราสำหรับนักศึกษามหาวิทยาลัย ชั้นปีที่ 1 เขียนในแนวประวัติศาสตร์

11. W. Cameron Walker, "The detection and estimation of electric charges in the eighteenth century," *Annals of Science*, vol.1 (1936), pp. 66-100

12. E. T. Whittaker, *A history of the theories of aether and electricity* (Longmans, Green, 1910 ; revised ed., 1951) จากยุคของเดการ์ตส์ถึงปลายศตวรรษที่ 19

*13. A. Wolf, *A history of science, technology and philosophy in the 16th and 17th centuries* (Macmillan, ed.1, 1935 ; ed.2, revised by Douglas McKie, 1951) ที่ใช้อย่างถึงในกรณีศึกษานี้เป็นฉบับที่แก้ไขปรับปรุงแล้ว

*14. A. Wolf, *A history of science, technology and philosophy in the 18th century* (Macmillan, 1934)

1. (ก) ไฟฟ้า จนถึง ค.ศ. 1600

15. Park Benjamin, reference 1, pp. 15-257

*16. Titus Lucretius Carus, *On the nature of things* (De rerum natura) มีการแปลหลายภาษา ในตอนท้ายสุดของเล่มที่ 6 เกี่ยวกับเรื่องแม่เหล็ก

*17. R. B. Lindsay, "Jerome Cardan, 1501-1576," *American Journal of Physics*, vol. 16 (1948), pp. 311-317

*18. F. S. C. Northrop, *The logic of the sciences and the humanities* (Macmillan, 1947), chap. 9, "the functions and future of poetry"

*19. Pliny the Elder, *Natural history*, bk. XXXVII, chap. 13

20. Duane and Duane H. D. Roller, "The prenatal history of electrical science," *American Journal of Physics*, vol. 21 (1953), pp. 343-356 เป็นเรื่องราวเกี่ยวกับไฟฟ้าตั้งแต่สมัยแรกจนถึงสมัยของ Gilbert ที่มีรายละเอียดมากกว่าที่เสนอในกรณีศึกษานี้ มีการอ้างอิงเอกสารที่เป็นต้นตอที่แท้จริง

21. George Sarton, reference 8

*22. Lloyd W. Taylor reference 10, pp. 577-594 เกี่ยวกับแม่เหล็ก ก่อน ค.ศ. 1600

*23. A. Wolf, reference 13, pp. 290-292 เกี่ยวกับแม่เหล็กก่อน ค.ศ. 1600



1. (1) William Gilbert

24. Park Benjamin, reference 1, chaps. X, XI

*25. Herbert Butterfield, reference 2, esp. pp. 107-111

26. William Gilbert, *De magnete*...(London, 1600), bk. II, chap. II เป็นภาษาละติน เอกสารที่มีความแตกต่างเล็กน้อย พิมพ์เผยแพร่ในเบอร์ลิน ใน ค.ศ. 1892

27. William Gilbert, *On the loadstone*...(Chiswick Press, London, 1900), bk. II, chap. II เป็นการแปลเอกสารที่ 26 โดยบรรณาธิการกิจของ Silvanus P. Thompson. จำนวนจำกัดเพียง 250 เล่ม

28. William Gilbert, *On the magnet*...(ed. 1, Wiley, 1893 ; ed. 2, St. John's College, 1941 ; ed.3, Encyclopedia Britannica, Inc., 1952), bk. II, chap. II เป็นการแปลเอกสาร 26 โดย P. Fleury Mottelay พิมพ์เผยแพร่ในปี ค.ศ. 1952 โดยตัดเครื่องหมายที่ Gilbert ทำไว้สำหรับการทดลอง และการค้นพบของเขา

29. R. B. Lindsay, "William Gilbert and magnetism in 1600," *American Journal of Physics*, vol. 8 (1940), pp. 271-282

30. Silvanus P. Thompson, *Gilbert of Colchester ; an Elizabethan magnetizer* (Chiswick Press, London, 1891) *Limited Edition* จำนวนจำกัดเพียง 249 เล่ม

31. S. P. Thompson, *Notes on the De magnete of Dr. William Gilbert* (privately printed, London, 1901) เป็นบันทึกที่รวบรวมไว้ในระหว่างการเตรียมต้นฉบับเอกสารฉบับที่ 27

32. E. C. Watson, "Portraits of William Gilbert, 1544-1603," *American Journal of Physics*, vol. 12 (1944), pp. 303-304

33. A. Wolf, reference 13, pp. 243-297

34. Edgar Zilsel, "The origin of William Gilbert's scientific method," *Journal of the History of Ideas*, vol. 2 (1941), pp. 1-31

2. The 17 century

35. Park Benjamin, reference 1, pp. 315-449

36. Robert Boyle, *Experiments and notes about the mechanical origine or production of electricity* (London, 1675) พิมพ์ซ้ำโดย R. T. Gunther as *Old Ashmolean Reprints VII* (Oxford, 1927) and by the Burndy Library (New York, 1945) อาจจะเป็นบทความแรกที่เขียนเฉพาะ



เรื่องของไฟฟ้าทั้งหมด

- *37. James B. Conant, *Robert Boyle's experiments in pneumatics* (Harvard University Press, Cambridge, 1950). Case I of Harvard case histories in experimental science
38. Martha OrNSTein, *The role of scientific societies in the seventeenth century* (University of Chicago Press, Chicago, 1928, 1938)
39. Richard Waller, *Essayes of natural experiments made in the Academie del Cimento* (London, 1684) เป็นการแปลของรายงานฉบับสุดท้าย (1667) ของ Florentine Academy ดูหน้า 43 และ 128
40. E. C. Watson, "Reproduction of prints, drawings and paintings of interest in the history of physics," *American Journal of Physics*, vol. 7 (1939), pp. 238, 379; vol. 16 (1948), p. 318. Reproductions of engravings illustrating early activities of the Royal Society and the French Academy
- *41. A. Wolf, reference 13, chap. 4, on "Scientific academies."
3. *Francis Hauksbee*
42. Park Benjamin, reference 1, pp. 450-470
43. Francis Hauksbee's papers in *Philosophical Transactions* : vol. 24 (1704-1705), pp. 2129, 2165; vol. 25 (1706-1707), pp. 2277, 2327, 2372, 2413; ; vol. 26 (1707-1709), pp. 82, 87, 219, 391, 439 เอกสารเหล่านี้มักไปรวมกับงานเขียนของ Hauksbee ใน *Physico-mechanical experiments on various subjects...*(London, ed. 1, 1709; ed. 2, 1719)
44. N. H. de V. Heathcote, "Guericke's sulphur globe," *Annals of Science*, vol. 6 (1950), pp. 293-305
45. Duane and Duane H. D. Roller, "Francis Hauksbee," *Scientific American*, vol. 189 (1953), pp. 64-69
46. W. Cameron Walker, reference 11, pp. 66-69
4. *Stephen Gray*
47. Park Benjamin, reference 1, pp. 470-489



48. J. Frederick Corrigan, "Stephen Gray (1696-1736) : นักทดลองทางไฟฟ้ายุคแรกเริ่ม *Science Progress*, vol. 19 (July, 1924), pp. 102-114

*49. Henry Crew, "Concerning Stephen Gray, 1696 (?) - 1736," *American Journal of Physics*, vol. 5 (1937), pp. 233-234 มีภาพประกอบกวีนิพนธ์เกี่ยวกับเกรย์

50. Stephen Gray, papers in *Philosophical Transactions* : vol. 31 (1720), p. 104 ; vol. 37 (1731-1732), pp. 18, 227, 285, 397; vol. 39 (1735-1736), pp. 16, 166, 220, 400

51. R. A. Chipman, "An unpublished letter of Stephen Gray on electrical experiments, 1707-1708," *Isis*, vol. 45 (1954), pp. 33-40

*52. I. Bernard Cohen, "Neglected sources for the life of Stephen Gray (1666 or 1667-1736)," *Isis*, vol. 45 (1954), pp. 41-50

5. C. F. de C. Dufay

53. Park Benjamin, reference 1, pp. 478-489

54. J. T. Desaguliers, *Philosophical Transactions*, vol. 41 (1739-1740), p. 186 รายงานฉบับแรกของเขา

55. C. F. de C. Dufay, *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*: (1733), pp. 23, 73, 233, 457; (1734), pp. 341, 503; (1737), pp. 86, 307 รายงานเกี่ยวกับไฟฟ้าของเกรย์ 8 ฉบับฉบับแรกเป็นประวัติของไฟฟ้า

56. C. F. de C. Dufay, *Philosophical Transactions*, vol. 38 (1733-1734), pp. 258-266 เป็นฉบับแปลจดหมายของดูเฟย์ถึงดยุกแห่งริชมอนด์และเลนออกซ์

57. B. le B. de Fontenelle, "Éloge de M. Dufay," *Histoire de l'Académie Royale des Sciences* (for 1739), pp. 73-83

*58. Dayton C. Miller, reference 6, pp. 14-16, 31-35

6. การเผยแพร่ผลงานทางวิทยาศาสตร์ การพัฒนาและปรับปรุงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า triboelectric วิวัฒนาการของเครื่อง condenser

59. Park Benjamin, reference 1, chap. 15

*60. Herbert Butterfield, reference 2, chaps. 9, 10



61. William F. Magie, reference 5, pp. 403-406 การแปลรายงานบางส่วนหนึ่งของนอลเลท
- *62. Dayton C. Miller, reference 6, pp. 19-30
63. Marjorie Nicholson and Nora M. Mohler, "The scientific background of Swift's 'Voyage to Laputa'," and "Swift's 'Flying Island' in the 'Voyage to Laputa,'" *Annals of Science*, vol. 2, pp. 299-334, 405-430 แหล่งข้อมูลที่ไม่ทราบที่มาของ *Gulliver's travels* ส่วนนี้นั้นเป็นผลงานทางวิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 17 และต้นศตวรรษที่ 18
- *64. Duane Roller, *The early development of the concepts of temperature and heat* (Harvard University Press, Cambridge, 1950), esp. pp. 48-49, 60-61. Case 3 of Harvard case histories in experimental science
65. A. Wolf, reference 14, pp. 34-37, 218-227

7. Benjamin Franklin

66. Park Benjamin, reference 1, chap. XVI
- *67. I. Bernard Cohen, reference 3, pp. 57-435
68. I. Bernard Cohen, "Benjamin Franklin and the mysterious 'Dr. Spence'," *Journal of the Franklin Institute*, vol. 235 (1943), pp. 1-25
- *69. J. G. Crowther, *Famous American men of science* (W. W. Norton, New York, 1937), pp. 17-155
70. B. Gross, "On the experiment of the dissectible condenser," *American Journal of Physics*, vol. 12 (1944), pp. 324-329; John Zeleny, "Observations and experiments on condensers with removable coats," *ibid.*, pp. 329-339 การศึกษาเชิงวิเคราะห์ผลงานของแฟรงคลินในการพัฒนา condenser ในแนวของความรู้สมัยใหม่
- *71. Dayton C. Miller, reference 6, pp. 53-87, 95-103
72. Joseph Priestley, reference 7, Part III
- *73. Carl Van Doren, *Benjamin Franklin* (Garden City Publishing Co., New York, 1941) อาจจะเป็นหนังสือเกี่ยวกับชีวประวัติของแฟรงคลินที่ดีที่สุด
74. William Watson, "A sequel to the experiments and observations tending to illustrate the nature and properties of electricity," *Philosophical Transactions*, vol. 44, part 2



(1747), pp. 704-749.

*75. A. Wolf, reference 14, pp. 227-238

76. *The record of the celebration of the two hundredth anniversary of the birth of Benjamin Franklin...* (American Philosophical Society, Philadelphia, 1906), vol. 1, เขียนเรียงโดย E. L. Nichols เกี่ยวกับไฟฟ้าก่อนหน้าและในสมัยของแฟรงคลิน และโดย E. Rutherford เกี่ยวกับผลงานของแฟรงคลินและผู้ทำงานต่อจากเขาสตลอดศตวรรษที่ 19

8. การนำวิธีการทดลองเชิงปริมาณมาใช้ในการศึกษาค้นคว้าทางไฟฟ้า

77. Anon., *Philosophical Transactions*, vol. 44 (1746) เกี่ยวกับการนำเครื่องชั่ง (beam balance) มาใช้ในการวัดแรงดึงดูดทางไฟฟ้า

78. Henry Cavendish, *Philosophical Transactions*, vol. 61 (1771), pp. 584-677; vol. 66 (1776), pp. 196-225 รายงานเกี่ยวกับไฟฟ้าเพียงฉบับเดียวของคาเวนดิช ในรายงานฉบับแรกเขาพยายามปูพื้นฐานที่จะสร้างทฤษฎีไฟฟ้าเชิงปริมาณ ในรายงานฉบับที่ 2 เขาได้บรรยายถึงปลาตอปิโดเทียมที่เขาสร้างขึ้น สำหรับการบรรยายโดยสรุปนั้นดูได้จาก R. T. Cox, *American Journal of Physics*, vol. 11 (1943), pp. 20-22

*79. I. Bernard Cohen, reference 3, p. 336. Franklin's electrified-cup experiment

80. Charles Augustin Coulomb, *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, for 1785, pp. 569, 578 รายงาน 2 ฉบับของเขาเกี่ยวกับกฎของแรง

81. Daniel Gralath, *Versuche und Abhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Danzig* (1747), pp. 506-534 การทดลองใช้เครื่องชั่งแบบ beam balance ของเขา

*82. Anne Holt, *A life of Joseph Priestley* (Oxford, 1931)

*83. William F. Magie, reference 5, pp. 413-417 คัดย่อจากรายงานฉบับที่ 2 ของคูลอมบ์ บรรยายถึงการทดลองเกี่ยวกับเครื่องชั่งแบบ torsion-pendulum

84. J. Clerk Maxwell (บรรณาธิการ) *The electrical researches of the Hon. Henry Cavendish* (Cambridge University Press, Cambridge, 1879) นอกจากรายงาน 2 ฉบับที่กล่าวถึงในเอกสารอ้างอิงที่ 78 แล้ว การวิจัยทางไฟฟ้าที่ลึกซึ้งของคาเวนดิชไม่ได้รับการพิมพ์เผยแพร่จนปรากฏในหนังสือเล่มนี้ นับเป็นเวลา 1 ศตวรรษตั้งแต่ที่เขาได้ทำงานวิจัยดังกล่าวเสร็จสิ้นแล้ว และในหนังสือเล่มนี้ได้กล่าวถึงการค้นพบที่สำคัญทั้งหมดของเขาที่แยกไปจากการวิจัยเรื่องนี้เอาไว้ด้วย



*85. Dayton C. Miller, reference 6, pp. 88-94

86. Joseph Priestley, reference 7

87. A. Socino, *Acta Helvetica*, vol. 4 (1760), pp. 224-225 บรรยายถึงการทดลองเกี่ยวกับ electrometer ของเบอรัลลี

88. R. J. Stephenson, "The electrical researches of the Hon. Henry Cavendish, F.R.S.," *American Journal of Physics*, vol. 6 (1938), pp. 55-58

*89. Lloyd W. Taylor, reference 10, pp. 644-648

90. W. Cameron Walker, reference 11, pp. 71-100

91. W. Cameron Walker, "The beginnings of the scientific career of Joseph Priestley," *Isis*, vol. 21 (1934), pp. 81-98

92. A. Wolf, reference 14, pp. 239-256

9. ผลงานทางไฟฟ้าในยุคต่อจากยุคของคูลอมบ์

*93. William F. Magie, reference 5, pp. 420-436, เป็นการตัดตอนมาจากการเขียนของ กัลวานี โวลต้า และนิโกลสัน

*94. Dayton C. Miller, reference 6, pp. 122-136 การปล่อยกระแสไฟฟ้าจากก๊าซหายาก ; แสงเหนือของดวงอาทิตย์ (aurora)

*95. Lloyd W. Taylor, reference 10, pp. 618-626 จากกัลวานีถึงเออร์สเตด

96. E. T. Whittaker, reference 12, pp. 58-76

*97. A. Wolf, reference 14, pp. 256-268 กัลวานีและโวลต้า



คณะผู้จัดทำ

คณะกรรมการจัดทำหนังสือแปลสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. นางอรรณพญู โรจนะบุรานนท์	ประธาน
2. นางสาวจริยา สุจารีกุล	กรรมการ
3. นางรัศมีศราร่า หุ่นสวัสดิ์	กรรมการ
4. นายณรงค์ ถิรมงคล	กรรมการ
5. นายวิโรจน์ บุญอำนาจวิทยา	กรรมการ
6. นางมณูดี หังสพฤกษ์	กรรมการ
7. นายกฤษณ์ มงคลปัญญา	กรรมการ
8. นางวราภรณ์ กิจวิริยะ	กรรมการ
9. นางช่อฟ้า ทองไทย	กรรมการ
10. นางสาวทิพากร อัญญา	กรรมการ
11. นางยุวดี นาคะมตุงรัตน์	กรรมการ
12. นางสาวอุษณีย์ วัฒนพันธ์	กรรมการและเลขานุการ

ผู้แปล	รองศาสตราจารย์ ดร.จริยา สุจารีกุล
ผู้ตรวจ	รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร เสงี่ยมพันธุ์
บรรณาธิการที่ปรึกษา	นางสาวจินตนา ไบกาช้อย
บรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์พรทิว พึ่งรัศมี
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	นายประยงค์ แพน้อย
วาดภาพประกอบ	นางสาวสละ กำทรัพย์





ผู้แปล

- ๐ **ชื่อ** รองศาสตราจารย์ ดร. จริยา สุจารีกุล
- ๐ **การศึกษา** วท.บ. (วิทยาศาสตร์ทั่วไป) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
M.A.T. (General Science), Michigan State University, USA
Ed.D. (Science Education), Indiana University, USA
- ๐ **การทำงาน**
 - หลังจากจบปริญญาตรี ได้เข้ารับราชการสังกัดกระทรวงศึกษาธิการ ตั้งแต่ พ.ศ. 2508-2511
 - หลังจากจบปริญญาโท ได้เข้ารับราชการคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตั้งแต่ พ.ศ. 2513-2542 โดยในระหว่างปี พ.ศ. 2517-2521 ได้รับทุน UNDP ไปศึกษาต่อในระดับปริญญาเอก
 - สอนเกี่ยวกับ Environmental Soil Science, Advanced Soil Science, Practical Environmental Chemistry, Research Proposals, History of Science และ Philosophy of Science
- ๐ **ประสบการณ์และผลงาน**
 - ในระหว่างที่รับราชการอยู่ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้รับเชิญให้เป็น
 - ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.)
 - กรรมการสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์
 - กรรมการจัดทำหนังสือแปลสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของสถาบันการแปลหนังสือ กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ
 - วิทยากรโครงการวิทยาศาสตร์ทั่วประเทศ
 - ปัจจุบัน ได้รับเชิญให้เป็นผู้เชี่ยวชาญโครงการ GLOBE (GLOBAL LEARNING AND OBSERVATIONS TO BENEFIT THE ENVIRONMENT) ที่สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

หนังสือในชุดเดียวกัน

- | | |
|----------------|--|
| กรณีศึกษาที่ 1 | การทดลองเกี่ยวกับความดันอากาศของโรเบิร์ต บอยล์ |
| กรณีศึกษาที่ 2 | การล้มเลิกทฤษฎีฟลอจิสตัน : การปฏิวัติทางเคมี
ในช่วงปี ค.ศ.1775-1789 |
| กรณีศึกษาที่ 3 | การพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับอุณหภูมิและความร้อนในระยะต้น :
การเกิดขึ้นและการเสื่อมลงของทฤษฎีแคลอรี |
| กรณีศึกษาที่ 4 | ทฤษฎีอะตอม-โมเลกุล |
| กรณีศึกษาที่ 5 | พืชและบรรยากาศ |
| กรณีศึกษาที่ 6 | การศึกษาเกี่ยวกับการหมักของปาสเตอร์ |
| กรณีศึกษาที่ 7 | การศึกษาเกี่ยวกับการเกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ
ของปาสเตอร์และทินดัล |
| กรณีศึกษาที่ 8 | การพัฒนาแนวคิดหลักเกี่ยวกับประจุไฟฟ้า :
ไฟฟ้าตั้งแต่สมัยกรีกจนถึงสมัยคูลอมบ์ |