



ฟิสิกส์ 2

ระดับมหาวิทยาลัย
เล่ม 1



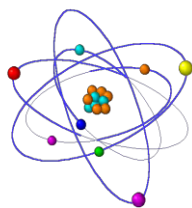
แนะนำ
ตัวคูณซื้อครั้งเดียว
๑๐๐ พลัง คุณค่า สูงกว่า
ในแอปพลิเคชัน และ TikTok
ใช้สิทธิ์ QR โค้ด ๑๐๐/๑



SHOPEE LAZADA

ราคา
199
บาท

เรียบเรียงโดย : ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุชาติ สุภาพ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



ฟิสิกส์ ๒

ระดับมหาวิทยาลัย เล่ม 1

ผศ.สุชาติ สุภาพ

พิมพ์และจัดจำหน่ายโดย

สุชาติ สุภาพ

133/471 หมู่ 2 (ติดกับ สนง. ที่ดินบางบัวทอง) ต.พิมลราช อ.บางบัวทอง
จ.นนทบุรี 11110

E-mail suchart11111@hotmail.com

พิมพ์ที่ หจก.สปส 1999 ม.เพชรอนันต์ เขตคันนายาว กรุงเทพฯ 10230

คำนำ

หนังสือ ฟิสิกส์ ๒ ระดับมหาวิทยาลัย เล่ม 1 นี้ จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นหนังสือและแหล่งเรียนรู้ สำหรับ นักศึกษาที่กำลังศึกษาในรายวิชาฟิสิกส์พื้นฐานระดับอุดมศึกษา โดยเนื้อหาครอบคลุมหัวข้อสำคัญในสาขา ไฟฟ้าและแม่เหล็กพื้นฐาน ซึ่งเป็นรากฐานของการทำความเข้าใจปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์หลายแขนง และมี บทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาเทคโนโลยีในปัจจุบัน ในเล่มนี้ประกอบด้วย 4 บทเรียนหลัก ได้แก่ บทที่ 1 ไฟฟ้าสถิตและสนามไฟฟ้า บทที่ 2 กฎของเกาส์ บทที่ 3 ศักย์ไฟฟ้า บทที่ 4 ตัวเก็บประจุไฟฟ้า หนังสือเล่มนี้เรียบเรียงโดยเน้นการสื่อความหมายด้วยรูปภาพและสอดแทรกตัวอย่างการคำนวณ รวมถึง แบบฝึกหัดเพื่อให้ นักศึกษาสามารถฝึกฝนและทบทวนความเข้าใจด้วยตนเอง เหมาะสำหรับผู้เรียนที่ ต้องการเสริมความเข้าใจให้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น หรือเตรียมความพร้อมสำหรับการเรียนวิชาฟิสิกส์ขั้นสูงต่อไป ขอขอบคุณผู้อ่านทุกท่านที่ให้ความสนใจ และหวังว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการเรียนรู้และจุดประกายความคิดทางวิทยาศาสตร์ในระดับอุดมศึกษาต่อไป

หรือถ้าท่านสนใจหนังสือนี้ในรูปแบบ E-BOOK ก็มีจำหน่ายที่เว็บไซต์ ร้านนายอินทร์ , MEB , อุกฤษ , ซีอีอี , hyltexts , ศูนย์หนังสือจุฬาฯ และ DDebook

สำหรับท่านที่สนใจหนังสือของกระผมแต่หาซื้อตามร้านหนังสือทั่วไป ไม่ได้ สามารถซื้อออนไลน์ที่แอปต่าง ๆ โดยสแกน QR โค้ดข้างล่างนี้ (ที่ขอบปี่มีหนังสือมากที่สุด)



สุชาติ สุภาพ

มือถือ ๐๘๓-๑๒๐-๓๘๒๕

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 ไฟฟ้าสถิต และสนามไฟฟ้า	4
1.1 สมบัติของประจุไฟฟ้า	16
1.2 ฉนวนและตัวนำไฟฟ้า	18
1.3 กฎของคูลอมบ์	24
1.4 สนามไฟฟ้า	32
1.5 สนามไฟฟ้าของประจุไฟฟ้าที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ	47
1.6 เส้นแรงแม่เหล็ก	55
1.7 การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ	59
1.8 หลอดรังสีแคโทด	63
1.9 ไฟฟ้าสถิตกับการประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์	67
บทที่ 2 กฎของเกาส์	70
2.1 ฟลักซ์ไฟฟ้า	70
2.2 กฎของเกาส์	78
2.3 การประยุกต์กฎของเกาส์ต่อฉนวนที่มีประจุไฟฟ้า	89
2.4 ตัวนำในสมการไฟฟ้าสถิต	101
2.5 การตรวจสอบการทดลองของกฎของเกาส์	106
บทที่ 3 ศักย์ไฟฟ้า	110
3.1 ความต่างศักย์ และศักย์ไฟฟ้า	117
3.2 ความต่างศักย์ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ	120
3.3 ศักย์ไฟฟ้าและพลังงานศักย์เนื่องจากจุดประจุ	124
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้ากับศักย์ไฟฟ้า	157
3.5 ศักย์ไฟฟ้าจากประจุที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ	165
3.6 ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากตัวนำที่ได้รับการประจุ	174
บทที่ 4 ตัวเก็บประจุไฟฟ้า	187
4.1 นิยามความจุไฟฟ้า	187
4.2 การคำนวณค่าความจุไฟฟ้า	192
4.3 การต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้า	203
4.4 พลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุ	211
4.5 ตัวเก็บประจุที่มีไดอิเล็กตริก	218
4.6 การประยุกต์ใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า	233

บทที่ 1

ไฟฟ้าสถิต และสนามไฟฟ้า

ไฟฟ้าเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวัน ตั้งแต่เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน โทรศัพท์มือถือ ไปจนถึงระบบควบคุมในอุตสาหกรรมสมัยใหม่ ความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับพฤติกรรมของประจุไฟฟ้าและแรงที่เกิดจากประจุเหล่านี้จึงเป็นจุดเริ่มต้นสำคัญในการศึกษาฟิสิกส์ไฟฟ้า หัวข้อเรื่อง “ไฟฟ้าสถิตและสนามไฟฟ้า” คือรากฐานของวิชาไฟฟ้าและแม่เหล็ก โดยกล่าวถึงประจุไฟฟ้าในสภาวะนิ่ง ซึ่งแม้จะเป็นสถานการณ์ง่าย ๆ แต่กลับเผยให้เห็นถึงแรงปฏิสัมพันธ์ที่ทรงพลังและครอบคลุมระยะไกล เราจะได้เรียนรู้ถึงธรรมชาติของประจุบวกและลบ การถ่ายโอนประจุในสสาร กฎของคูลอมบ์ที่อธิบายแรงระหว่างประจุ และแนวคิดเรื่อง สนามไฟฟ้า ซึ่งช่วยให้สามารถวิเคราะห์แรงไฟฟ้าในพื้นที่ที่มีประจุต่าง ๆ ได้อย่างเป็นระบบ การเข้าใจไฟฟ้าสถิตและสนามไฟฟ้าไม่เพียงช่วยให้สามารถคำนวณแรงที่กระทำต่อประจุได้เท่านั้น แต่ยังเป็นพื้นฐานที่จำเป็นในการศึกษาหัวข้ออื่น ๆ ที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น กฎของเกาส์ ศักย์ไฟฟ้า และพฤติกรรมของสนามไฟฟ้า บทเรียนนี้จึงถือเป็นก้าวแรกที่สำคัญในการทำความเข้าใจโลกของไฟฟ้าในเชิงลึก

ประวัติการพบไฟฟ้าสถิต

ในชีวิตประจำวันของเราจะพบปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตอยู่เสมอ เช่น หวีผมในช่วงหน้าหนาวจะได้ขึ้นเสียดกันไป ๆ และถ้าปิดไฟหวีผมก็อาจจะเห็นประกายไฟเกิดขึ้น หรือเวลาที่แกะหลอดจางกล่องเมหรือพลาสติกที่ฉาบวอดน้ำดื่มแล้วพลาสติกติดมือ หรือเมื่อหยิบแผ่นใสออกมาจากกล่องแล้วแผ่นใสดูดให้ขนแขนลุกขึ้นมาได้ เมื่อจับลูกบิดประตูหรือเปิดประตูรถ ก็จะมีโดนไฟดูดเป็นต้น ปรากฏการณ์ในลักษณะดังกล่าวมนุษย์พบมานานแล้ว เท่าที่มีการบันทึกไว้เริ่มมาตั้งแต่ 600 ปีก่อนคริสตกาล หรือราว ๆ สมัยพุทธกาลนั่นเอง นักปราชญ์ชาวกรีกชื่อธาลิสพบว่าเมื่อนำแท่งอำพัน มาถูกับเสื้อคลุมซึ่งทำด้วยขนสัตว์แท่งอำพันจะดูดเศษไม้เล็ก ๆ หรือวัตถุเบา ๆ ได้ ในช่วงเวลานั้นไม่มีใครทราบว่าผลดังกล่าวเกิดมาจากอะไร

เวลาผ่านไปประมาณ 2000 ปี คือในปี ค.ศ. 1600 โดยเซอร์วิลเลียม กิลเบิร์ต ทดลองวัตถุอย่างอื่น ๆ อีกมากมาย และพบว่าการดูดวัตถุอื่น ๆ ก็ทำให้เกิดอำนาจการดึงดูดเช่นเดียวกับการดูดแท่งอำพันกับผ้าขนสัตว์ และในปัจจุบันทราบว่าแรงดึงดูดดังกล่าวเป็นแรงดึงดูดของประจุไฟฟ้าที่ต่างกัน

ในปี ค.ศ. 1654 Otto Van Guericke ชาวเยอรมันได้สร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตโดยใช้ถุงมือถูกับลูกบอลกำมะถัน ซึ่งกำลังหมุนอย่างรวดเร็ว แล้วพบว่า อำนาจไฟฟ้า สามารถถ่ายเทคล้ายกับมีการไหลเข้าไปยังวัตถุอื่นได้

ในปี ค.ศ. 1729 สตีเฟนแกรย์ (Stephen Gray) ชาวอังกฤษ สามารถส่งอำนาจไฟฟ้าจากวัตถุหนึ่ง ไปยังอีกวัตถุหนึ่งได้โดยการส่งอำนาจไฟฟ้านี้ผ่านเส้นด้ายที่มีความยาวถึง 250 เมตร การทดลองนี้ทำให้เราเริ่มรู้จักวัตถุที่ยอมให้ไฟฟ้าผ่านได้ว่าตัวนำ และเรียกวัตถุที่ไม่ยอมให้ไฟฟ้าไหลผ่านว่า ฉนวน

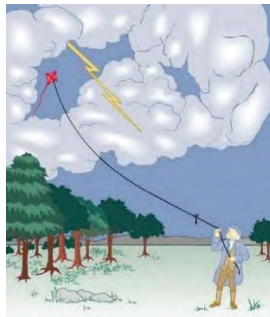
ในปี ค.ศ. 1750 เบนจามิน แฟรงคลินพบว่าการเสียดสีระหว่างวัตถุ 2 ชนิดที่แตกต่างกันจะทำให้มีประจุไฟฟ้าเกิดขึ้นที่วัตถุทั้งสอง และวัตถุทั้ง 2 จะมีประจุไฟฟ้าต่างกัน ในภายหลังพบว่าประจุไฟฟ้ามี 2 ชนิดคือประจุบวกและประจุลบ ประจุชนิดเดียวกันจะผลักกัน และประจุต่างชนิดกันจะดูดกัน ประจุลบคือประจุไฟฟ้าที่อยู่ในอิเล็กตรอน และประจุบวกคือประจุไฟฟ้าที่อยู่ในโปรตอน ประจุบวกหรือลบที่มีขนาดน้อยที่สุดมีปริมาณเท่ากับ 1.6×10^{-19} คูลอมบ์ ปริมาณนี้เรียกว่า 1e (เพราะว่าอิเล็กตรอนหรือโปรตอน 1 ตัวมีประจุไฟฟ้า 1.6×10^{-19} คูลอมบ์)



รูป 1.1 ประจุไฟฟ้าที่ลุดไปและที่เสกัณณ

เนื่องจากประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการเสกัณณของวัตถุ ๒ ชนิด เกิดจากการที่วัตถุหนึ่งได้รับอิเล็กตรอนเข้ามา และวัตถุอีกชนิดหนึ่งจะสูญเสียอิเล็กตรอนไป ดังนั้นถ้าวัตถุหนึ่งได้รับอิเล็กตรอนเข้ามา ๓ ตัว วัตถุอีกชนิดหนึ่งก็จะสูญเสียอิเล็กตรอนไป ๓ ตัว เช่นเดียวกัน

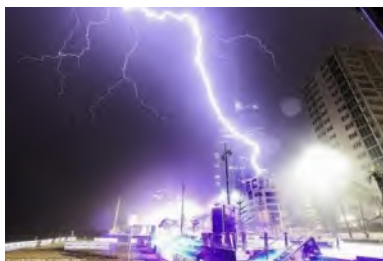
เบนจามิน แฟรงคลินสันนิษฐานการเกิดฟ้าแลบ และฟ้าผ่า ว่าน่าจะเกิดมาจากประจุไฟฟ้าที่อยูบนท้องฟ้า และเขาได้ทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ข้อสันนิษฐาน โดยการใช่ว่านและเชือกที่เป็นตัวนำไฟฟ้าขึ้นไปล่อประจุไฟฟ้าบนท้องฟ้าขณะที่มีฝนฟ้าคะนอง และที่ปลายเชือกเขาได้อาพวงกุญแจของเขาผูกไว้ที่ปลายเชือกด้วย ดังรูป 1.2



รูป 1.2 การตรวจสอบว่าฟ้าผ่า เกิดจากประจุไฟฟ้าในอากาศ ของแฟรงคลิน

ผลปรากฏว่ามีประจุไฟฟ้าไหลลงมาทางเชือกเข้าสู่กุญแจ แต่โชคคัที่แฟรงคลินไม่ได้รับอันตราย จากนั้นเขาจึงลองใช้เศษหญ้าแห้งจ่อเข้ากับกุญแจ ปรากฏว่าเกิดประจุไฟฟ้าไหลเข้าสู่มือเขา จากผลการทดลองแฟรงคลินสรุปถึงสาเหตุของการเกิดฟ้าแลบ และฟ้าผ่าว่าเกิดจากการเสกัณณระหว่างก้อนเมฆกับอากาศทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต ถ้ามีการถ่ายเทประจุไฟฟ้าระหว่างก้อนเมฆกับก้อนเมฆด้วยกันเอง จะเรียกว่าฟ้าแลบ แต่ถ้ามีการถ่ายเทประจุไฟฟ้าระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน จะเรียกว่าฟ้าผ่า

จากการทดลองในครั้งนั้น นำไปสู่ความคิดในการประดิษฐ์สายล่อฟ้าและ ในปี ค.ศ. 1752 แฟรงคลิน ก็ได้ประดิษฐ์สายล่อฟ้าขึ้นสำเร็จเป็นครั้งแรก สายล่อฟ้าของแฟรงคลิน มีลักษณะเป็นแท่งโลหะปลายแหลมติดไว้บนจุดสูงสุดของอาคารสูง ส่วนที่ต่อกับแท่งโลหะจะเป็นเส้นโลหะที่นำไฟฟ้าได้ดี และเส้นโลหะนี้จะลากจากแท่งโลหะตรงไปยังพื้นดิน และฝังลงไปยังพื้นดิน เพื่อให้ประจุไฟฟ้าจำนวนมากจากท้องฟ้าไหลลงสู่ดินได้สะดวก สายล่อฟ้าของแฟรงคลินถือว่าเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการป้องกันความเสียหายของอาคารสูง



รูป 1.๓ สิ่งก่อสร้งต่างๆ ในปัจจุบัน จะมีสายล่อฟ้า

ไฟฟ้าสถิต

ปรากฏการณ์เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าสถิตจำนวนมาก ได้แก่ ฟ้ายแลบ, ฟ้ายผ่า ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเฉพาะในฤดูฝน แต่จริงๆ แล้ว ไฟฟ้าสถิตจำนวนน้อยๆ นั้นสามารถเกิดขึ้นได้อยู่ตลอดเวลา เช่น เสื้อผ้าที่ถูติดตัว, การเกิดฝุ่นหนาเกาะจับตามหน้าจอของเครื่องรับโทรทัศน์, การเกิดไฟฟ้าดูดเมื่อเราจับลูกบิดประตู หรือเปิดประตูรถ หรือแม้กระทั่ง เมื่อเราหยิบแผ่นใสออกมาจากกล่องก็จะเกิดไฟฟ้าสถิต

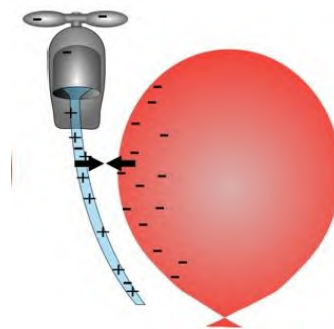
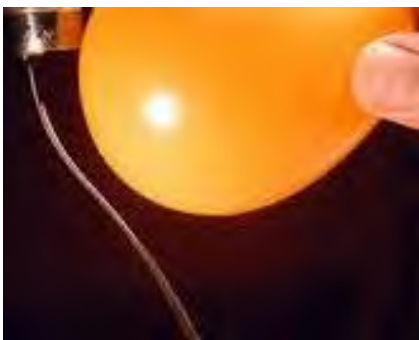
ปรากฏการณ์เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิต เป็นปรากฏการณ์ที่ปริมาณประจุไฟฟ้าบวกและลบบนผิววัตถุไม่เท่ากัน ปกติจะแสดงในรูปการดึงดูด, การผลักกัน และเกิดประกายไฟ ไฟฟ้าสถิตเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่คนในประเทศที่มีอากาศหนาวคุ้นเคยเป็นอย่างดี เนื่องจากความชื้นในอากาศต่ำมาก ประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจึงไม่สามารถถ่ายเทไปสู่อากาศได้ ตัวอย่างการกระทำในชีวิตประจำวันที่ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตได้ ได้แก่ การเล่นสไลเดอร์ของเด็กๆ หรือการเดินบนพรมของคนทั่วไป การเสียดสีของตัวเด็กกับสไลเดอร์ หรือการเสียดสีของรองเท้าหรือกระโปรงกับพรม ก็ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าสถิตขึ้นได้



รูป 1.4 ไฟฟ้าสถิตจากลูกโป่งทำให้ไม้จิ้มฟันในครอบแก้วเคลื่อนที่ได้

ไฟฟ้าสถิตคืออะไร และเกิดขึ้นได้อย่างไร ?

ปกติแล้วทุกสิ่งทุกอย่างจะเป็นกลางทางไฟฟ้า เพราะว่าทุกอะตอมในสถานะปกติจะมีประจุบวกและประจุลบเท่ากัน (ถ้าภายในนิวเคลียสมีโปรตอนเท่าไร ก็จะมีอิเล็กตรอนวิ่งวนรอบนิวเคลียสในจำนวนที่เท่ากัน) แต่เมื่อวัตถุสองชนิดสัมผัสหรือเสียดสีกัน อิเล็กตรอนอาจย้ายจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่ง ทำให้วัตถุหนึ่งมีอิเล็กตรอนหรือประจุลบเกิน และอีกวัตถุหนึ่งก็จะขาดอิเล็กตรอน หรือมีประจุบวกเกิน วัตถุที่มีอิเล็กตรอนเกินมาจึงมีไฟฟ้าสถิตเป็นประจุลบ ส่วนวัตถุที่มีอิเล็กตรอนหายไปจึงมีไฟฟ้าสถิตเป็นประจุบวก วัตถุที่มีไฟฟ้าสถิตเป็นบวกหรือลบ สามารถดูดวัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้าได้เหมือนกัน



รูป 1.5 ลูกโป่งที่มีประจุไฟฟ้า จะดึงดูดน้ำได้

และถ้ามีประจุไฟฟ้าสถิตเป็นจำนวนมากก็ทำให้เกิดประกายไฟได้ ดังรูป 1.6



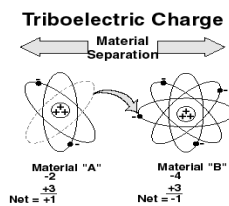
รูป 1.6 ประกายไฟฟ้าที่เกิดจากไฟฟ้าสถิต

การทำให้วัตถุมีประจุไฟฟ้า ทำได้ 4 วิธี คือ

1) การนำวัตถุ 2 ชนิดมาเสียดสีกัน

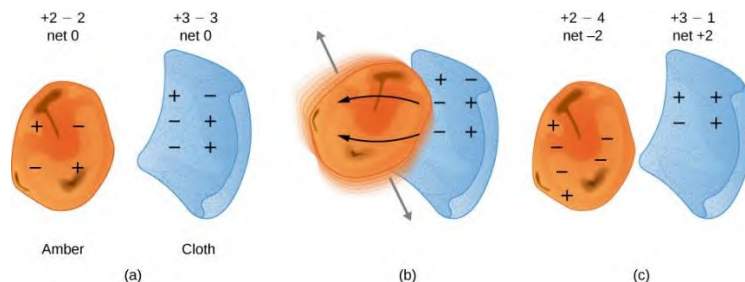
ในชีวิตประจำวัน เราอาจเคยพบเห็นปรากฏการณ์ประหลาด เช่น เมื่อใช้หัวพลาสติกแห้ง ๆ หัวผมแล้วนำไปใกล้ เศษกระดาษเล็ก ๆ เศษกระดาษกลับถูกดูดมาติดหัว หรือเมื่อถูลูกโป่งกับเส้นผมแล้วนำไปใกล้กำแพง ลูกโป่งสามารถติดกับผนังได้ ปรากฏการณ์เหล่านี้ล้วนเป็นผลมาจาก “ไฟฟ้าสถิต” ซึ่งเกิดขึ้นได้จากการเสียดสีระหว่างวัตถุสองชนิด เมื่อนำเอาวัตถุสองชนิดถูกัน อิเล็กตรอนซึ่งเป็นอนุภาคไฟฟ้าประจุลบอาจถูกถ่ายโอนจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่ง ทำให้วัตถุหนึ่งมีอิเล็กตรอนมากขึ้น ในขณะที่อีกวัตถุหนึ่งมีอิเล็กตรอนน้อยลง ส่งผลให้เกิดแรงดึงดูดทางไฟฟ้าระหว่างกัน การเวียนเรื่องไฟฟ้าสถิตจึงไม่เพียงแต่ช่วยให้เข้าใจหลักการพื้นฐานของไฟฟ้าเท่านั้น แต่ยังเปิดประตูไปสู่ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ลึกซึ้งขึ้น เช่น การเหนี่ยวนำไฟฟ้า การป้องกันไฟฟ้าสถิตในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และเทคโนโลยีการควบคุมประจุไฟฟ้าในอุตสาหกรรมสมัยใหม่อีกด้วย

เมื่อวัตถุต่างชนิดกันเสียดสีกันจะเกิดจากการถ่ายเทของอิเล็กตรอนระหว่างวัตถุทั้งสอง



รูป 1.7 วัตถุเสียดสีกัน จะมีการถ่ายเทอิเล็กตรอน

เมื่อวัตถุต่างชนิดเสียดสีกัน อิเล็กตรอนจะถูกถ่ายเทจากอะตอมของวัตถุหนึ่งไปยังอีกอะตอมของอีกวัตถุหนึ่ง เมื่อวัตถุทั้งสองแยกออกจากกัน วัตถุที่มีอิเล็กตรอนขาดหายไปก็จะมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก และวัตถุที่ได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มเข้ามาก็จะมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ



รูป 1.8 การทำให้เกิดประจุไฟฟ้าโดยการเสียดสี

ประจุไฟฟ้า แบ่งออกเป็น ๒ ชนิด คือ

1. ประจุบวก

๒. ประจุลบ

1. วัตถุที่มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก

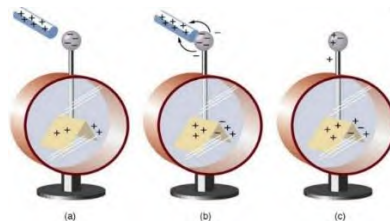
เป็นวัตถุที่อะตอมของวัตถุนั้นบางอะตอมเสียอิเล็กตรอนไป ทำให้วัตถุนั้นมีจำนวนโปรตอนมากกว่าจำนวนอิเล็กตรอน วัตถุนั้นจึงมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก

๒. วัตถุที่มีประจุไฟฟ้าเป็นลบ

เป็นวัตถุที่อะตอมของวัตถุนั้นบางอะตอมรับอิเล็กตรอนเพิ่มเข้ามา ทำให้วัตถุนั้นมีจำนวนอิเล็กตรอนมากกว่าจำนวนโปรตอน วัตถุนั้นจึงมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ

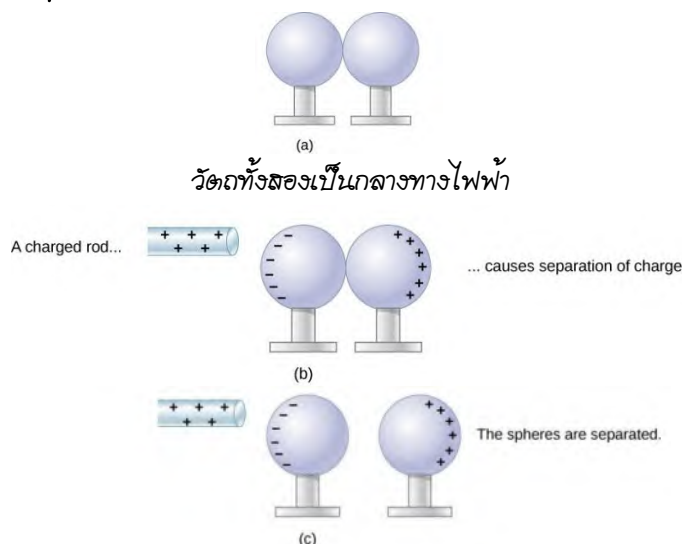
๒) การเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้า

การเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้า หมายถึงการ ทำให้วัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้า สามารถแสดงอำนาจทางไฟฟ้าออกมาได้ โดย การทำให้ประจุบวกและประจุลบบนวัตถุแยกออกจากกัน ทำให้ดูเหมือนว่าด้านหนึ่งของวัตถุมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก และ อีกด้านหนึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ดังรูป



รูป 1.9 การทำให้เกิดประจุไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ

การทำให้เกิดประจุไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ และการจับแยก

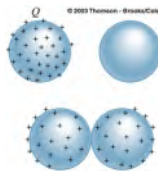




การทำให้เกิดประจุไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ และการจับแยก

๓) การถ่ายเทประจุไฟฟ้า จากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่ง

คุณเคยรู้สึกช็อตเล็ก ๆ เมื่อแตะลูกบิดประตู ประตูรถหรือไม่? นั่นคือผลของการถ่ายเทประจุไฟฟ้า ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ปกติ โดยเฉพาะในประเทศที่มีอากาศหนาว เมื่อวัตถุสองชิ้นมีประจุไฟฟ้าไม่เท่ากัน ประจุจะถ่ายเทจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งเพื่อปรับสมดุลทางไฟฟ้า การถ่ายเทนี้อาจเกิดขึ้นได้จากการสัมผัสกันโดยตรง หรือแม้กระทั่งจากการเหนี่ยวนำในระยะไกลโดยไม่ต้องแตะต้องกันเลย การเข้าใจเรื่องการถ่ายเทประจุมีความสำคัญต่อการอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ เช่น ไฟฟ้าสถิตในชีวิตประจำวัน การทำให้วัตถุมีประจุไฟฟ้าด้วยการขัดถู และหลักการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

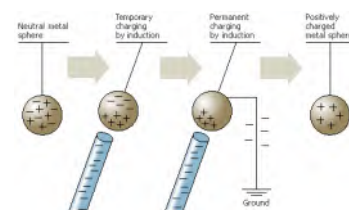


รูป 1.10 การถ่ายเทประจุไฟฟ้า จากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่ง

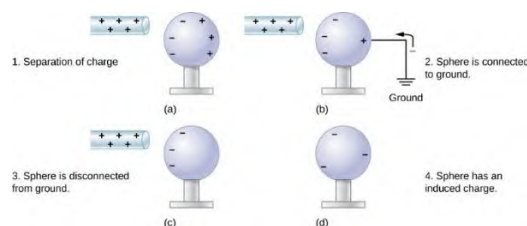
4) การเหนี่ยวนำและการต่อสายดิน

ในโลกแห่งไฟฟ้าสถิต วัตถุไม่ได้จำเป็นต้องสัมผัสกันเสมอไปเพื่อให้เกิดการถ่ายเทประจุ บางครั้งเพียงแค่วัตถุมีประจุเข้าใกล้สิ่งของอีกชิ้นหนึ่ง ก็สามารถทำให้ประจุในวัตถุนั้นได้ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “การเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าสถิต” การเหนี่ยวนำ คือกระบวนการที่ทำให้ประจุไฟฟ้าในวัตถุหนึ่งถูกจัดเรียงใหม่ เนื่องจากอิทธิพลของประจุไฟฟ้าในวัตถุอีกชิ้นหนึ่งที่อยู่ใกล้ และเมื่อมีการเชื่อมต่อวัตถุดังกล่าวกับพื้นโลกผ่าน สายดิน ประจุส่วนเกินจะสามารถไหลลงสู่พื้นโลกได้

การเหนี่ยวนำไฟฟ้าสถิตโดยแท่งวัตถุที่มีประจุลบ ดังรูป 1.11 จะทำให้ประจุไฟฟ้าบวกและลบที่อยู่ในวัตถุทรงกลมแยกออกจากกัน และเมื่อต่อสายดินจะทำให้ประจุลบที่วัตถุทรงกลม เคลื่อนที่ไปยังดิน และทำให้วัตถุทรงกลมมีประจุไฟฟ้าบวก

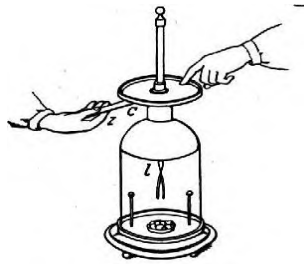


รูป 1.11 การเหนี่ยวนำโดยแท่งวัตถุที่มีประจุลบ และการต่อสายดิน



การทำให้เกิดประจุไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำและการต่อสายดิน

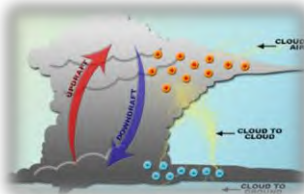
หมายเหตุ การต่อสายดินสำหรับการทดลองในห้องเรียน อาจใช้น้ำส้มฝัดแทนได้



รูป 1.12 การใช้ไม้ส้มฝัดกับอเล็กโทรสโคป แทนการต่อสายดินได้

ไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นที่ก้อนเมฆ

เนื่องจากก้อนเมฆก็คือกลุ่มของละอองไอน้ำและเกล็ดน้ำแข็ง ก่อนที่จะเกิดฝนตกจะมีการเคลื่อนตัวของก้อนเมฆอยู่ตลอดเวลา การเคลื่อนตัวของก้อนเมฆนี้ทำให้ก้อนเมฆเสียดสีกับอากาศ และมีไฟฟ้าสถิตเกิดขึ้นในก้อนเมฆ ดังรูป 1.13



รูป 1.13 การเสียดสี ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต

โดยทั่วไปฐานของก้อนเมฆจะมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ส่วนก้อนเมฆด้านบนจะมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก ดังรูป 1.14



รูป 1.14 ไฟฟ้าสถิต ที่เกิดขึ้นในก้อนเมฆ ก่อนที่จะมีฟ้าแลบ ฟ้าผ่า

การถ่ายเทประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากทำได้ ๓ วิธีด้วยกัน คือ

- 1) ถ่ายเทประจุไฟฟ้าจากก้อนเมฆลงสู่พื้นดิน
- 2) ถ่ายเทประจุไฟฟ้าจากก้อนเมฆก้อนหนึ่งไปยังก้อนเมฆอีกก้อนหนึ่ง
- 3) ถ่ายเทประจุไฟฟ้า ภายในเมฆก้อนเดียวกัน



(๑)

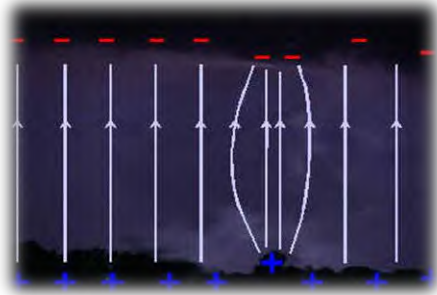


(๒)

รูป 1.15 การถ่ายเทประจุไฟฟ้า (๑) ถ่ายเทประจุลงดิน (๒) ถ่ายเทประจุระหว่างก้อนเมฆ

สิ่งบอกเหตุก่อนฟ้าผ่า

เหตุการณ์ที่สำคัญๆ หรือปรากฏการณ์ธรรมชาติต่างๆ มักจะมีสิ่งบอกเหตุก่อนเสมอ ฟ้าแลบ ฟ้าร้องหรือฟ้าผ่าก็เช่นเดียวกัน จะมีสิ่งบอกเหตุก่อนเกิดเหตุการณ์เสมอ เพียงแต่ว่าเราจะสามารถรับรู้สิ่งบอกเหตุนั้นได้หรือไม่เท่านั้นเอง เนื่องจากก่อนที่จะมีฟ้าผ่าได้ต้องมีสนามไฟฟ้าระหว่างพื้นดินกับก้อนเมฆ ดังรูป 1.16



รูป 1.16 สนามไฟฟ้าระหว่างพื้นดินกับก้อนเมฆ

และถ้าสนามไฟฟ้ามีความเข้มมากพอ ก็จะทำให้คนที่อยู่ในบริเวณนั้นผมชี้ตั้งขึ้นได้ ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดินที่จะทำให้เกิดฟ้าผ่าได้มีค่าหลายล้านโวลต์ รูป 1.17 เป็นสิ่งบอกเหตุก่อนที่ฟ้าจะมีผ่าในบริเวณนั้น และบางคนอาจสงสัยว่าทำไม ฟ้าแลบ และฟ้าผ่ามักจะเกิดขึ้นในเวลาที่มีฝนตก คำตอบก็คือในช่วงที่มีฝนตกอากาศในบริเวณนั้นนำไฟฟ้าได้ดีกว่าในช่วงที่ไม่มีฝนตก



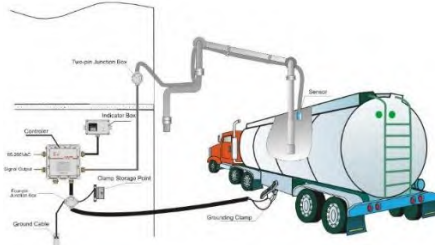
รูป 1.17 ผมชี้ตั้งขึ้น ในช่วงที่เมฆและพื้นดินมีประจุไฟฟ้าต่างกัน

ปัญหาของไฟฟ้าสถิต

แม้ว่าไฟฟ้าสถิต จะดูเหมือนเป็นเพียงปรากฏการณ์เล็กๆ เช่น เสื้อขี้เปื้อนหรือเสื้อเกาะตัวเมื่อเราหิวลมในหน้าหนาว แต่ในความเป็นจริง ไฟฟ้าสถิตสามารถสร้าง ภัยร้ายแรง ได้ทั้งในชีวิตประจำวันและในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ไฟฟ้าสถิตเกิดจากการสะสมของประจุไฟฟ้าบนพื้นผิวของวัตถุ ซึ่งอาจทำให้เกิด ประกายไฟ เมื่อประจุเหล่านี้ถ่ายเทออกอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในบริเวณที่มีไอระเหยของเชื้อเพลิงหรือแก๊สไวไฟ ประกายไฟจากไฟฟ้าสถิตเพียงเล็กน้อยก็อาจนำไปสู่อุบัติเหตุร้ายแรง เช่น ไฟไหม้หรือการระเบิดได้นอกจากนี้ ไฟฟ้าสถิตยังอาจรบกวนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้อุปกรณ์ทำงานผิดพลาด

ในชีวิตประจำวันของคนไทย ไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นไม่ได้ก่อให้เกิดปัญหาอะไรมากนัก แต่ไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ มักก่อให้เกิดปัญหาในการทำงาน และจำเป็นต้องมีวิธีการกำจัดไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การต่อสายดิน หรือใช้เครื่องกำจัดไฟฟ้าสถิต

การถ่ายน้ำมันจากรถน้ำมันลงถังของปั๊มน้ำมันก็จะมีไฟฟ้าสถิตเกิดขึ้นจำนวนมาก เนื่องจากน้ำมันมีการเสียดสีกับท่อหรือถังน้ำมัน ดังนั้นถ่ายน้ำมัน หรือการเติมน้ำมันให้กับเครื่องบิน หรือจำเป็นต้องมีการต่อสายดิน



รูป 1.18 การถ่ายน้ำมัน จำเป็นต้องมีการต่อสายดิน

การเกิดประกายไฟจากไฟฟ้าสถิตเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบ แม้กระทั่งการถอดเสื้อผ้าอย่างรวดเร็วก็เกิดประกายไฟจากไฟฟ้าสถิตได้ เพราะว่าเสื้อผ้ามักจะเสียดสีกับผิวหนังและเกิดไฟฟ้าสถิตได้ ดังนั้นถ้าเสื้อผ้ามองเราเปื้อนน้ำมันจึงไม่ควรถอดเสื้อผ้าอย่างรวดเร็ว เพราะไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นอาจจะทำให้เกิดการลุกไหม้ได้

ไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันสำหรับบางคนอาจเกิดได้ ดังนี้

- โดนไฟฟ้าสถิตจากตัวรถ หรือลูกบิดประตูตู้
- เงินรถเงินที่ซุ่มเปอร์มาเกิด โดยไฟฟ้าสถิตจากรถเงินตู้
- เดินไปกับเพื่อน เมื่อมือไปแตะตัวเพื่อนโดนไฟฟ้าสถิตตู้

สำหรับประเทศที่มีอากาศหนาวไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันก่อให้เกิดปัญหาได้มากกว่าประเทศที่มีอากาศร้อนและชื้น เพราะว่าในประเทศหนาวไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทไปที่อากาศได้ยาก ไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นในวัตถุ สิ่งของต่างๆ หรือแม้กระทั่งในตัวคนก็มีค่ามาก จนทำให้เกิดประกายไฟได้ และเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดไฟไหม้ได้ ถ้าประกายไฟเกิดขึ้นในบริเวณที่มีสารไวไฟอยู่ ประกายไฟจากไฟฟ้าสถิตหลายครั้งก็ทำให้เกิดไฟไหม้ปั๊มน้ำมันหรือปั๊มแก๊สได้



รูป 1.19 ไฟไหม้ที่เกิดจากไฟฟ้าสถิต

เนื่องจากในเมืองหนาวไฟฟ้าสถิตเกิดขึ้นได้ง่าย เมื่อตัวผู้ขับรถเสียดสีกับเบาะรถก็จะเกิดไฟฟ้าสถิตขึ้นที่ตัวคน เมื่อคนขับรถขึ้นมือไปหยิบหัวจ่ายน้ำมันไฟฟ้าสถิตก็จะถ่ายเทไปที่หัวจ่ายน้ำมันหรือตัวถังรถ ประกายไฟที่เกิดขึ้นก็จะทำให้ไอ้มน้ำมันติดไฟขึ้นมาได้ (สำหรับเมืองไทยไฟไหม้ที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตก็มีโอกาสเกิดขึ้นได้ โดยเฉพาะในช่วงหน้าหนาว) สำหรับรถยนต์ในบางประเทศที่มีอากาศหนาวและแห้ง มักจะมีการป้องกันไฟฟ้าสถิตโดยการมีโซ่หรือวัสดุต่อจากตัวถังรถลงสู่พื้นถนน ดังรูป 1.20



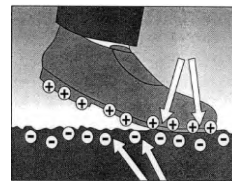
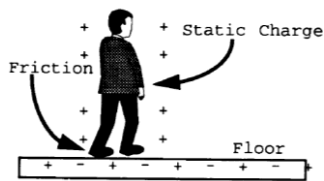
รูป 1.20 ถ้าวางประจุไฟฟ้าสถิต จากตัวถังรถ ลงสู่พื้นถนน



รูป 1.21 การเกิดไฟฟ้าสถิตในตัวคน

ไฟฟ้าสถิตในตัวคนเกิดขึ้นได้อย่างไร

เราได้ทราบแล้วว่าไฟฟ้าสถิตเกิดจากการเสียดสี ไฟฟ้าสถิตในตัวคนก็เกิดจากการเสียดสีเช่นเดียวกัน เช่นการเสียดสีระหว่างรองเท้ากับพื้น ดังรูป

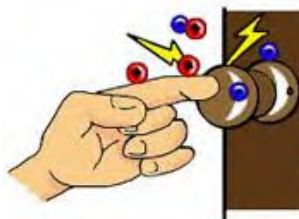


รูป 1.22 การเกิดไฟฟ้าสถิตในตัวคน

ในสภาพแวดล้อมในการทำงานของเรา ไฟฟ้าสถิตเป็นสิ่งที่เราต้องให้ความสนใจ นอกจากไฟฟ้าสถิตจะมีผลต่อคน เมื่อไปสัมผัสกับวัตถุประเภทตัวนำแล้ว ทำให้รู้สึกสะดุ้งเหมือนถูกไฟช็อตแล้ว ไฟฟ้าสถิตยังส่งผลกระทบต่อกระบวนการในการผลิตด้วย

ปัจจุบันชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ นับวันจะมีขนาดเล็กลงและประสิทธิภาพที่สูงขึ้น การมีวงจรไฟฟ้ามากมายในขนาดของชิ้นงานที่เล็กลง จะส่งผลให้ชิ้นงานยิ่งไวต่อไฟฟ้าสถิตมากขึ้น ไฟฟ้าสถิตจะถูกส่งจากคนงานในสายการผลิต เครื่องมือ และอุปกรณ์อื่นๆ ไปยังชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีผลทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าของชิ้นงานเหล่านั้นเปลี่ยนไป อาจจะเป็นการลดคุณภาพลงหรือทำลายชิ้นงาน มีการศึกษาและพบว่ามากกว่า 50 % ของชิ้นงานที่เสียหายล้วนมีผลมาจากไฟฟ้าสถิต

นอกจากนี้ยังมีการถ่ายเทประจุไฟฟ้าจำนวนน้อยๆเกิดขึ้นในชีวิตประจำวันด้วย เช่น การถ่ายเทประจุไฟฟ้าจากลูกบิดประตูมาขึงมือ หรือถ่ายเทประจุไฟฟ้าจากมือไปยังลูกบิดประตู ทำให้เกิดความรู้สึกว้าวคล้ายๆกับไฟฟ้ดูด ดังรูป



รูป 1.22 การถ่ายเทประจุไฟฟ้าระหว่างมือกับลูกบิดประตู

ปรากฏการณ์เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตในชีวิตประจำวันได้แก่ ฟ้ำแลบ ฟ้ำผ่า เสื้อผ้าที่ขยับถูติดตัว การเกิดฝุ่นหนาเกาะจับตามหน้าจอมคอมพิวเตอร์ หรือโน้ตบุ๊ก หรือการที่พลาสมิดิกสำหรับห่อของติดกับมือเราเมื่อเราแกะมันออกมาเป็นต้น ไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน ส่วนใหญ่ไม่ทำให้เกิดปัญหาสำหรับคนทั่วไปมากนัก



รูป 1.23 การเกิดไฟฟ้าสถิตในชีวิตประจำวัน

แต่ไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นในกระบวนการการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นปัญหาอย่างมากของโรงงานที่ผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เพราะจะทำให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนดังกล่าว ดังนั้นในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์จึงจำเป็นต้องออกแบบให้มีการเกิดไฟฟ้าสถิตน้อยที่สุด หรือมีการถ่ายเทประจุไฟฟ้าสถิตลงสู่ดิน



รูป 1.24 การถ่ายเทประจุไฟฟ้าสถิตในตัวคน ลงสู่สายดิน

การลดผลกระทบเกี่ยวกับปัญหาไฟฟ้าสถิต

แม้ว่าไฟฟ้าสถิตจะเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและดูเหมือนจะไม่อันตราย แต่ในความเป็นจริงไฟฟ้าสถิตสามารถสร้างผลกระทบร้ายแรงได้ในหลายบริบท โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรม ศูนย์ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ หรือแม้แต่ในชีวิตประจำวัน ไฟฟ้าสถิตอาจเป็นต้นเหตุของการช็อตเบา ๆ ความเสียหายของวงจรไฟฟ้า ไปจนถึง การเกิดประกายไฟที่ก่อให้เกิดเพลิงไหม้หรือระเบิด ในพื้นที่ที่มีสารไวไฟ ด้วยเหตุนี้ การเรียนรู้และเข้าใจวิธีการ ลดผลกระทบจากไฟฟ้าสถิต จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งเพื่อความปลอดภัยของบุคคล อุปกรณ์ และสิ่งแวดล้อมรอบตัว การควบคุมไฟฟ้าสถิตสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การต่อสายดิน การเพิ่มความชื้นในอากาศ การใช้วัสดุต้านไฟฟ้าสถิต หรือแม้แต่วิธีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการใช้อุปกรณ์บางชนิด

สำหรับคนที่ไม่มีไฟฟ้าสถิตเกิดขึ้นในตัวได้ง่าย และมีปัญหาโดนไฟฟ้าดูด เมื่อสัมผัสกับลูกบิดประตู หรือที่จับประตู รถอยู่เป็นประจำสามารถป้องกันการถูกไฟฟ้าดูดได้โดยการใช้อุปกรณ์ป้องกันที่ลูกบิดหรือที่จับประตูรถ ก่อนที่จะใช้มือสัมผัส ดังรูป

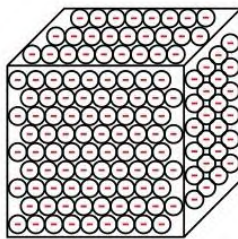


รูป 1.25 การป้องกันไฟฟ้าสถิตดูด

ประจุไฟฟ้าเป็นปริมาณที่ไม่ต่อเนื่อง

ในโลกของฟิสิกส์ มีแนวคิดพื้นฐานที่สำคัญเกี่ยวกับ “ประจุไฟฟ้า” ก็คือ ประจุไฟฟ้าไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างต่อเนื่อง หากแต่เป็น ปริมาณที่ไม่ต่อเนื่อง กล่าวคือ ประจุไฟฟ้าทุกชนิดในธรรมชาติล้วนเป็นจำนวนเท่าของประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน คือมีค่าประมาณ 1.6×10^{-19} คูลอมบ์ แนวคิดนี้หมายความว่า วัตถุใด ๆ จะมีประจุไฟฟ้าได้เพียงเป็นจำนวนเต็มของประจุพื้นฐานเท่านั้น เช่น $-1e, +2e, -3e$ เป็นต้น และจะไม่มีประจุไฟฟ้าจำนวนเศษส่วน เช่น $+0.5e$ การเข้าใจว่าประจุไฟฟ้าเป็นปริมาณที่ไม่ต่อเนื่อง มีความสำคัญอย่างยิ่งในการศึกษาฟิสิกส์ระดับอะตอมและอนุภาค ซึ่งเป็นพื้นฐานของอิเล็กทรอนิกส์ ควอนตัม และเทคโนโลยีสมัยใหม่จำนวนมาก ความไม่ต่อเนื่องนี้ยังสะท้อนให้เห็นถึงธรรมชาติของสสารที่มีความละเอียดอ่อนและลึกซึ้งยิ่งขึ้นในระดับจุลภาคอีกด้วย

ประจุไฟฟ้าใช้หน่วยเป็น คูลอมบ์ (C) โดยประจุไฟฟ้า 1 คูลอมบ์ มีขนาดเท่ากับขนาดของประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนหรือโปรตอนจำนวน 6.25×10^{18} ตัว



1 Coulomb
(imagine many electrons)

รูป 1.27 ประจุไฟฟ้า - 1 คูลอมบ์ จะต้องมียอิเล็กตรอนจำนวน 6.25×10^{18} ตัว

ประจุ 1 คูลอมบ์ คือ ประจุที่ทำให้เกิดแรง 9×10^9 นิวตัน กระทำต่ออีกประจุหนึ่งซึ่งมีขนาดเท่ากันและวางห่างกัน 1 เมตร ในสุญญากาศ

ประจุ 1 คูลอมบ์ เป็นประจุไฟฟ้าขนาดมากมาหาคาศาสตร์ ส่วนใหญ่แล้วเราจะพบวัตถุที่มีประจุระดับนาโนคูลอมบ์ ถึงไมโครคูลอมบ์เท่านั้น

ประจุไฟฟ้า 1 คูลอมบ์ คือ จำนวนประจุไฟฟ้าที่ไหลผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้าในเวลา 1 วินาที เมื่อมีกระแสไฟฟ้าเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น 1 แอมแปร์

ประจุไฟฟ้าของสิ่งใด ๆ จะมีค่าเป็นจำนวนเท่าของประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน หรือ

$$Q = ne$$

Q = Total charge
n = Number of electrons or protons
e = Charge of 1 electron or proton

(1-3)

สมการ (1-3) มีความหมายว่า ประจุไฟฟ้ามีค่าเป็นจำนวนเท่าของประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน

เมื่อ n เป็นเลขจำนวนเต็ม e คือประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน = $1.6 \times 10^{-19} C$

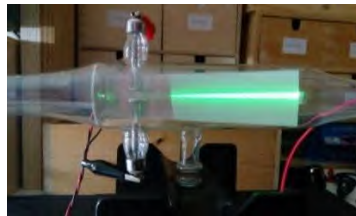
ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากประจุไฟฟ้าในสิ่งใด ๆ เกิดจากการรับหรือขาดอิเล็กตรอน ปริมาณที่ไม่ต่อเนื่องเช่นนี้ เรียกว่า เป็นปริมาณที่ควอนไทซ์

หมายเหตุ ปริมาณต่างๆในชีวิตประจำวันก็เป็นที่ควอนไทซ์ เช่นในการกดยเงินจากตู้ ATM ก็ต้องกดเป็นจำนวนเต็มของ 100 บาท เป็นต้น

ประจุบวกที่มีขนาดเล็กที่สุดคือ ประจุไฟฟ้าของโปรตอน มีประจุ $+1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
 ประจุลบที่มีขนาดเล็กที่สุดคือ ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน มีประจุ $-1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

โปรตอนและอิเล็กตรอนมีประจุไฟฟ้าเท่ากัน แต่เป็นประจุไฟฟ้าต่างกัน และโปรตอนมีมวลมากกว่าอิเล็กตรอนประมาณ 1800 เท่า

ในสภาวะปกติอะตอมจะเป็นกลางทางไฟฟ้า คือมีจำนวนโปรตอนกับอิเล็กตรอนเท่ากัน
 ตัวอย่าง กระแสไฟฟ้าในหลอดรังสีแคโทด 125 mA จะมีอิเล็กตรอนวิ่งชนหัวแคโทดกี่อนุภาคในเวลา ๑ วินาที



วิธีทำ จาก

$$Q = ne$$

$$n = \frac{Q}{e} = \frac{I\Delta t}{e} = \frac{(125 \times 10^{-3} \text{ A})(23 \text{ s})}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 1.8 \times 10^{19} \text{ อิเล็กตรอน}$$

ตอบ

ตัวอย่าง จงหาจำนวนอิเล็กตรอนที่ทำให้เกิดประจุไฟฟ้า 1 คูลอมป์

วิธีทำ จาก

$$Q = ne$$

$$1 \text{ C} = n(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})$$

$$n = 6.25 \times 10^{18} \text{ อิเล็กตรอน}$$

ตอบ

1.1 สมบัติของประจุไฟฟ้า

วัตถุทั่ว ๆ ไปจะมีประจุไฟฟ้าบวกและลบเท่ากัน เนื่องจากทุกๆอะตอมจะมีจำนวนอิเล็กตรอนกับโปรตอนเท่ากัน ประจุไฟฟ้าจึงหักล้างกันไป วัตถุเหล่านั้นจึงมีสภาพเหมือนกับไม่มีประจุไฟฟ้าเพราะว่าประจุไฟฟ้ารวมเท่ากับศูนย์ แต่ถ้านำวัตถุ ๒ ชนิดมาเสียดสีกัน คราวนี้วัตถุหนึ่งจะมีการเสียดสีอิเล็กตรอนให้กับอีกวัตถุหนึ่ง ทำให้วัตถุมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก และอีกวัตถุหนึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ดังรูป 1.๒8



รูป 1.๒8 การเสียดสีทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต

เมื่อวัตถุ ๒ ชนิด เมื่อนำมาถูกัน วัตถุหนึ่งจะเสียอิเล็กตรอนให้กับอีกวัตถุหนึ่ง วัตถุที่เสียอิเล็กตรอนไปก็จะมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก ส่วนวัตถุที่รับอิเล็กตรอนมาก็จะมีประจุเป็นลบ การนำวัตถุใด ๆ มาถูกับผ้าแพร วัตถุนั้นอาจมีประจุไฟฟ้าเป็นบวกหรือลบก็ได้ แล้วแต่ลำดับการจัดสีของวัตถุนั้นๆ มากกว่าหรือน้อยกว่าผ้าแพร ลำดับของการจัดสีของวัตถุต่างๆ เป็นดังนี้

- | | | | |
|---------------|-----------------------|------------------|---------------------|
| 1. ขนสัตว์ | ๒. ขนแกะ/สักหลาด | ๓. ไม้ | 4. เซลลูลอส |
| ๕. ขางสน | 6. ครั่ง | 7. แก้ว | 8. ผ้าฝ้าย/ผ้าลินิน |
| 9. กระดาษ | 10. ผ้าแพร | 11. แก้วผิววรุณะ | 12. ผิวหนัง |
| 13. โลหะต่างๆ | 14. ขางอินเดียน | 15. อัมพัน | 16. กำมะถัน |
| 17. อีไบไนต์ | 18. ขาง(Gutta-percha) | 19. เซลลูลอส | |

เมื่อนำวัตถุใดคู่หนึ่งมาถูกัน วัตถุที่มีลำดับการจัดสีน้อยกว่า จะมีประจุไฟฟ้าบวกเพราะว่าเสียอิเล็กตรอนให้กับอีกวัตถุหนึ่ง และวัตถุที่รับอิเล็กตรอนมาก็จะมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ

คำอธิบายการเกิดไฟฟ้าสถิต

เมื่อวัตถุเสียอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนอิสระที่อยู่ภายในวัตถุชนิดหนึ่งซึ่งมีแรงยึดเหนี่ยวของนิวเคลียสน้อยกว่าจะหลุดออกจากอะตอม แล้วกระโดดไปอยู่ในวัตถุอีกชนิดหนึ่ง ผลก็คือวัตถุชนิดที่หนึ่งเสียอิเล็กตรอนไปจึงมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก ส่วนวัตถุชนิดที่สองรับอิเล็กตรอนมาจึงมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ



รูป 1.๑๑ ไฟฟ้าสถิตที่ถูกดึงดูดติดเสื้อผ้า

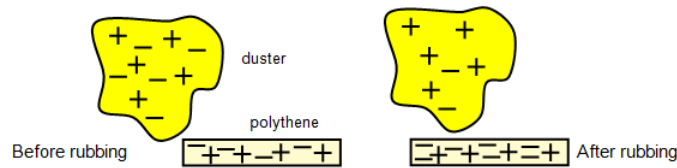
ประจุไฟฟ้ามีค่าไม่ต่อเนื่อง แต่มีค่าเป็นจำนวนเท่าของประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน เพราะประจุไฟฟ้าในวัตถุเกิดจากการรับหรือสูญเสียอิเล็กตรอน

ประจุไฟฟ้าเป็นปริมาณที่ไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่ได้ นอกจากนั้นก็ไม่สามารถทำให้มันหายไป สมบัติของประจุไฟฟ้าเช่นนี้ ประจุไฟฟ้าจึงเป็นปริมาณอนุรักษ์

กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า (law of conservation of charge)

หนึ่งในกฎสำคัญที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าคือ “กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า” ซึ่งระบุว่า ประจุไฟฟ้าไม่สามารถถูกสร้างขึ้นหรือทำลายได้ แต่สามารถถ่ายเทจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้เท่านั้น แนวคิดนี้มีบทบาทสำคัญในการอธิบายปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าทั้งในระดับจุลภาค เช่น การแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนระหว่างอะตอม ไปจนถึงระดับมหภาคของการถ่ายเทประจุในวงจรไฟฟ้า หรือการเกิดฟ้าผ่า กฎนี้ยังเป็นพื้นฐานสำคัญในการพิสูจน์และวิเคราะห์กฎอื่น ๆ ในไฟฟ้าสถิตและไฟฟ้ากระแส

การทำให้วัตถุมีประจุไฟฟ้าไม่ใช่เป็นการสร้างประจุขึ้นใหม่ แต่เป็นเพียงการย้ายประจุจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยที่ผลรวมของจำนวนประจุไฟฟ้าของระบบยังคงมีค่าเท่าเดิมเสมอ



รูป 1.๒๘ การอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า

สรุป

1. ประจุไฟฟ้ามีอยู่สองชนิดคือ ประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบ
2. ประจุไฟฟ้าลบคือประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน(*electron*)
3. ประจุไฟฟ้าบวกคือเป็นประจุไฟฟ้าของโปรตอน(*proton*)

1.2 ฉนวน ตัวนำไฟฟ้า และกึ่งตัวนำ

ในโลกของไฟฟ้า วัสดุแต่ละชนิดมีพฤติกรรมที่แตกต่างกันต่อการนำประจุไฟฟ้า บางชนิดยอมให้ประจุไฟฟ้าไหลผ่านได้อย่างง่ายดาย บางชนิดกลับต้านทานไม่ให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ และบางชนิดก็อยู่กึ่งกลางระหว่างทั้งสองอย่าง ความแตกต่างเหล่านี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการออกแบบวงจรไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทุกชนิด วัสดุที่ยอมให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้ง่ายเรียกว่า ตัวนำไฟฟ้า ในทางกลับกัน วัสดุที่ไม่ยอมให้ประจุไฟฟ้าไหลผ่านได้ง่าย เรียกว่า ฉนวนไฟฟ้า นอกจากนี้ ยังมีวัสดุอีกกลุ่มหนึ่งที่มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างตัวนำและฉนวน เรียกว่า กึ่งตัวนำ ซึ่งแม้ในสภาวะปกติจะนำไฟฟ้าได้ไม่ดี แต่สามารถควบคุมการนำไฟฟ้าได้ด้วยปัจจัยภายนอก เช่น ความร้อน แสง หรือสนามไฟฟ้า วัสดุกลุ่มนี้ เช่น ซิลิกอน และเจอร์เมเนียม ซึ่งเป็นหัวใจของเทคโนโลยีสมัยใหม่ ตั้งแต่โทรศัพท์มือถือไปจนถึงคอมพิวเตอร์ ในบทนี้ เราจะศึกษาความแตกต่างของฉนวน ตัวนำ และกึ่งตัวนำ ทั้งในด้านโครงสร้างภายใน การนำไฟฟ้า และการนำไปใช้งานในโลกจริง ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญต่อความเข้าใจระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

ฉนวนไฟฟ้าคือวัสดุที่มีประจุไฟฟ้าอิสระน้อย จึงยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้ยาก หรือไม่ผ่านเลย ประจุไฟฟ้าในฉนวนไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายเสรี เมื่อฉนวนที่ดีได้รับประจุไฟฟ้าที่ตำแหน่งใด ประจุจะไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังบริเวณอื่นบนวัสดุนั้นได้



รูป 1.๒5 ประจุไฟฟ้าที่อยู่ในเสื้อที่เป็นฉนวนไฟฟ้า

เราสามารถให้นิยามของคำว่าฉนวนไฟฟ้าได้ดังนี้

- 1) ฉนวนไฟฟ้าหรือบางกรณีก็เรียกว่า ไดอิเล็กทริก (dielectric) คือวัสดุที่มีคุณสมบัติในการกีดกันหรือขัดขวางการไหลของกระแสไฟฟ้าหรือวัสดุที่กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านได้
- 2) ฉนวนไฟฟ้า คือวัสดุที่มีอิเล็กตรอนทั้งหมดอยู่ในอะตอมอิเล็กตรอนไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เช่น แก้ว ไม้ ฯลฯ เมื่อทำการอัดประจุไฟฟ้าให้กับฉนวนไฟฟ้าที่บริเวณหนึ่งประจุไฟฟ้าจะไม่สามารถกระจายไปยังบริเวณอื่นได้

วัสดุบางอย่างเช่น แก้ว กระดาษ หรือเทฟลอน มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก แม้ว่าจะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ แต่ก็ถือว่า "ดีพอ" ที่จะใช้เป็นฉนวนของสายไฟและสายเคเบิล รวมไปถึงวัสดุจำพวกโพลีเมอร์ บางอย่างก็คล้ายกับยาง และพลาสติก ซึ่งสามารถใช้เป็นฉนวนกับระบบแรงดันต่ำถึงแรงดันปานกลาง (ประมาณหลักร้อยถึงหลักพันโวลต์)



รูป 1.36 ลูกถ้วย เป็นฉนวนไฟฟ้า

คุณสมบัติด้านไฟฟ้าสถิตของฉนวนไฟฟ้า

ประจุไฟฟ้าจะเดินทางได้อย่างยากลำบากบนวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้า ทำให้บางตำแหน่งของแท่งวัสดุที่เป็นฉนวนอาจจะมีประจุไฟฟ้าเป็นบวกในขณะที่อีกตำแหน่งหนึ่งที่อยู่ใกล้เคียงมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ นอกจากนั้นยังไม่สามารถถ่ายประจุไฟฟ้าลงกราวด์ได้ด้วยวิธีการต่อสายดินเนื่องจากประจุไฟฟ้าเดินทางได้ยากบนฉนวนนั่นเอง

ตัวนำไฟฟ้า (Conductor)

ตัวนำไฟฟ้าคือวัสดุที่มีประจุไฟฟ้าอิสระมาก และประจุไฟฟ้าเหล่านั้นสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ จึงยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ดี เช่น เงิน ทองแดง เหล็ก สารละลายของ กรด เบส เกลือ เป็นต้น เมื่อตัวนำที่ดีเมื่อได้รับประจุไฟฟ้าที่ตำแหน่งใด ประจุก็จะกระจายไปทั่วทั้งผิวของตัวนำทันที



รูป 1.37 ทองแดงเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี และราคาไม่แพง

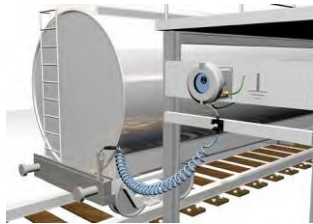
ตัวนำไฟฟ้าก็สามารถให้นิยามได้หลายแบบ ดังนี้

- 1) ตัวนำไฟฟ้าคือวัสดุ หรืออุปกรณ์ที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ง่าย หรือวัสดุที่มีความต้านทานต่ำ เงิน ซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีที่สุด

- ๒) ตัวนำไฟฟ้า คือ วัตถุที่ประกอบด้วยอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมากอิเล็กตรอนไม่ถูกจำกัดให้อยู่ในอะตอมแต่สามารถเคลื่อนที่ไปได้ข้างอิสระในวัตถุ เช่น ในทองแดงและ อะลูมิเนียม

คุณสมบัติด้านไฟฟ้าสถิตของตัวนำไฟฟ้า

ประจุไฟฟ้าสามารถเดินทางอย่างสะดวกตามพื้นผิวของตัวนำไฟฟ้า ทำให้วัตถุทุกส่วนมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน และเมื่อเราต่อโลหะลงดินจะทำให้ประจุทั้งหมดสามารถไหลถ่ายเทลงดิน จนมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า



รูป 1.๒8 ต่อสายดินเพื่อถ่ายเทประจุไฟฟ้าลงดิน

สายไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้านทั่วไปจะใช้ทองแดงมาเป็นตัวนำแทนเงินเพราะเงินมีราคาแพง ส่วนสายไฟฟ้าแรงสูงซึ่งมีขนาดใหญ่จะใช้ลูมิเนียม เพราะมีน้ำหนักเบากว่าทองแดง

สารกึ่งตัวนำ (semiconductor)

สารกึ่งตัวนำ คือ วัสดุที่มีสมบัติทางไฟฟ้าอยู่ระหว่างฉนวนกับตัวนำ ซึ่งได้แก่ธาตุหมู่ที่ 4 เช่น ซิลิกอน และเจอร์มาเนียม การนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสิ่งไม่บริสุทธิ์ที่มีเจือปนอยู่ในวัสดุพวกนี้ สารกึ่งตัวนำจะมีความต้านทานไฟฟ้าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะที่ตรงข้ามกับโลหะทั้งหลายและที่อุณหภูมิศูนย์เคลวิน สารกึ่งตัวนำจะไม่ยอมให้ไฟฟ้าไหลผ่านเลย เพราะอิเล็กตรอนทั้งหลายจะถูกตรึงอยู่ในอะตอมแต่ที่อุณหภูมิธรรมดา จะมีอิเล็กตรอนบางส่วนหลุดออกจากการยึดเหนี่ยวของอะตอม กลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถนำไฟฟ้าได้บ้างเล็กน้อยเมื่อมีสนามไฟฟ้ามาต่อเข้ากับสารนี้

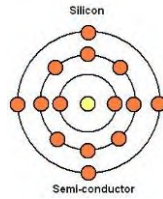
สารกึ่งตัวนำแบ่งออกเป็น ๒ ชนิด คือ

1) สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์

๒) สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์

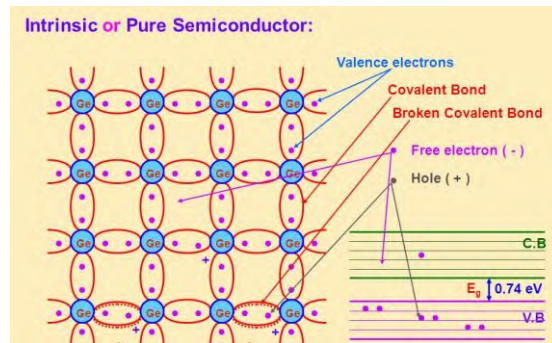
1) สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์

สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ยังไม่ได้เติมสารเจือปน (Doping) ใดๆ ลงไป สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ได้แก่ธาตุหมู่ที่ 4 ซึ่งมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนวงนอกสุดจำนวน 4 ตัว เช่น ซิลิคอนและเจอร์มาเนียมที่มีโครงสร้างอะตอม ดังรูป 1.๒๙



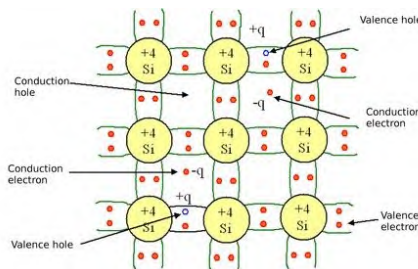
รูป 1.๓9 ซิลิคอนมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัว

โครงสร้างประกอบด้วยอะตอมที่ชิดกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ เกิดเป็นสารที่มีโครงสร้างร่างดาข่าย ดังรูป



รูป 1.40 โครงสร้างร่างดาข่าย

อะตอมของซิลิคอน และเจอร์มาเนียมอยู่รวมกันเป็นผลึกจะชิดกันด้วยพันธะแบบโคเวเลนต์ ที่มีโครงสร้างร่างดาข่าย โดยอะตอมจับกลุ่มกันดังรูป 1.41



รูป 1.41 โครงสร้างร่างดาข่าย ของอะตอมซิลิคอน

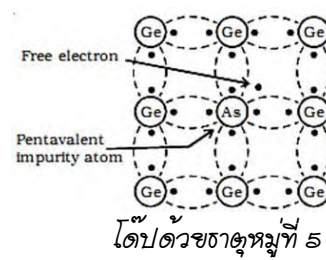
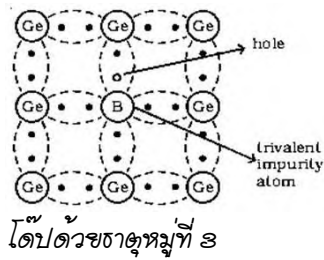
การจับกลุ่มในลักษณะดังกล่าวทำให้อะตอมจะมีเสถียรภาพเพราะว่าเสมือนว่ามีจำนวนวาเลนซ์อิเล็กตรอนมีจำนวนครบ ๘ ตัว

๒) สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์

สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ หมายถึงสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (ซิลิคอนหรือเจอร์มาเนียม) ที่ผ่านการเติมสารเจือปนลงไป (dope) แล้วทำให้การนำไฟฟ้าดีขึ้น

การ dope มี ๒ แบบด้วยกัน คือ

- 1) ได้ด้วยธาตุหมู่ที่ ๓ ซึ่งมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน ๓ ตัว ที่นำมาใช้เป็นธาตุเจือปนเช่น โบรอน อินเดียม แกลเลียม และอลูมิเนียม หลังการได้ป้จะได้อาการกึ่งตัวนำชนิด p
- 2) ได้ด้วยธาตุหมู่ที่ ๕ ซึ่งมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน ๕ ตัว ที่นำมาใช้เป็นธาตุเจือปนเช่น ฟอสฟอรัส อาร์เซนิก หลังการได้ป้จะได้อาการกึ่งตัวนำชนิด n



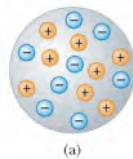
รูป 1.4๒ การได้ป

จำนวนอิเล็กตรอนอิสระต่อหนึ่งลูกบาศก์เมตรของตัวนำ นวน และกึ่งตัวนำ เป็นดังตารางข้างล่าง

Type of material	Number of free electrons per m^3 (n)
Conductor	$\sim 1 \times 10^{29}$
Semiconductor	$\sim 1 \times 10^{19}$
Insulator	$\sim 1 \times 10^9$

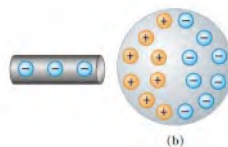
เปรียบเทียบกับจำนวนอิเล็กตรอนอิสระต่อหนึ่งลูกบาศก์เมตรของวัตถุชนิดต่าง ๆ

การทำให้โลหะตัวนำมีประจุไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ

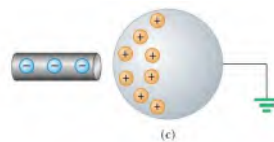


เริ่มต้นโลหะตัวนำเป็นกลางทางไฟฟ้า (มีประจุบวกและลบเท่ากัน)

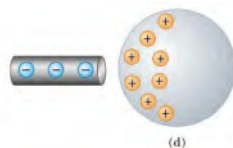
1) นำแท่งยางที่มีประจุลบ เข้ามาใกล้โลหะตัวนำทรงกลมที่ต้องการให้มีประจุไฟฟ้า



๒) ต่อสายดินให้กับโลหะตัวนำทรงกลม หรือใช้นิ้วแตะวัตถุ อิเล็กตรอนหรือประจุลบจากโลหะตัวนำทรงกลมจะเคลื่อนที่ผ่านสายดินหรือผ่านร่างกายผู้แตะลงสู่ดิน ทำให้โลหะตัวนำทรงกลมนั้นมีประจุเป็นบวก



๓) เอาสายดินออกหรือเอานิ้วที่แตะออก ประจุบวกก็ยังคงอยู่ใกล้ ๆ กับแท่งยางเหมือนเดิม



4) นำแท่งยางที่มีประจุไฟฟ้าออกไป ประจุบวกก็จะกระจายไปทั่วโลหะตัวนำทรงกลมนั้น ทำให้โลหะตัวนำทรงกลมมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก