



แบบเรียนวิทยศาสตร์

แม่เหล็กไฟฟ้า เล่ม ๑

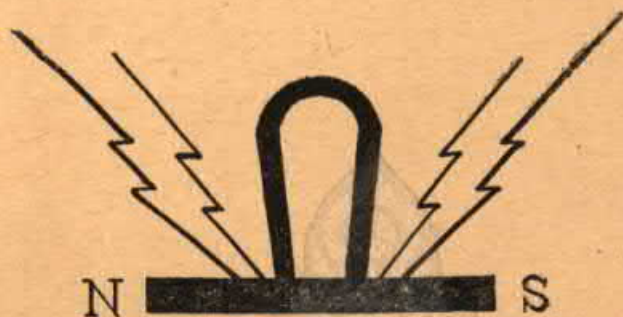
ฉบับขึ้นการประกวด

ของ

กระทรวงศึกษาธิการ



แบบเรียนวิทยาศาสตร์
แม่เหล็กไฟฟ้า เล่ม ๑



นายสนั่น สุมิตร M. A. (Cantab.)
เรียบเรียง

พิมพ์ครั้งที่ ๓,๐๐๐ เล่ม

พ.ศ. ๒๔๕๖

ปกกระดาษราคาเล่มละ ๑๒.๕๐ บาท

พิมพ์ที่ โรงพิมพ์คุรุสภา

ปากคลองบางลำพูบน พระนคร

มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ

๗ 06211 ๓4



คำนำ

ข้าพเจ้ามีความยินดีที่อาจารย์สนั่น สุมิตร ได้เขียนหนังสือเรื่อง
แม่เหล็ก—ไฟฟ้าขึ้น เพราะได้นึกอยู่เสมอว่า ผู้ที่มีความรู้ควรเขียน
หนังสือเรื่องของตนมากกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบันนี้ และเมื่อได้คำนึงดูว่า อาจารย์
สนั่น สุมิตร ได้เคยสอนวิชานี้แก่นักเรียนชั้นมัธยมปีที่ ๗-๘ วันท้าย ๆ ที่
สอบชิงทุนได้ไปศึกษา ณ ต่างประเทศ ครั้นโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาแห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยตั้งขึ้น ได้มาทำการสอน และควบคุมการสอนวิชานี้
ต่อมา จนในที่สุดได้เป็นผู้อำนวยการโรงเรียนนั้น และได้เป็นผู้ร่างหลักสูตร
วิชาที่กระทรวงศึกษาธิการ ใช้สำหรับชั้นเตรียมอุดมศึกษาในโรงเรียนทั่วไป
ก็ย่อมกล่าวได้เต็มปากว่า หนังสือเล่มนี้เป็นหนังสือที่ใช้ได้

อนึ่ง เมื่อกรรมการอำนวยการคุรุสภาได้ดำริ จะทำคำบรรยายวิชาครู
ชุดต่าง ๆ ออกจำหน่ายแก่สมาชิกคุรุสภา เมื่อต้นปีการศึกษา ๒๔๘๕ นี้
อนุกรรมการผู้ทำหน้าที่พิจารณาจัดการนั้น ได้เสนอว่าสำหรับวิชาวิทยาศาสตร์
ไม่เหมาะที่จะทำเป็นรูปคำบรรยาย ควรทำเป็นรูปหนังสือ ดังนั้นหนังสือเล่มนี้
นอกจากจะเป็นประโยชน์แก่ผู้ศึกษา ตามหลักสูตรเตรียมอุดมศึกษาแล้ว
ยังจะเป็นประโยชน์ตามความดำริของคุรุสภา สำหรับผู้ที่ศึกษาวิชาชุดครู
อีกด้วย.

(ลงชื่อ) ปิ่น มาลากุล

กระทรวงศึกษาธิการ

๓๑ ตุลาคม ๒๔๘๕

คำนำของผู้เขียน

การที่ได้เขียนตำราวิชา “แม่เหล็ก—ไฟฟ้า” นี้ขึ้น ก็เพราะเห็นว่า เป็นวิชาที่นักเรียนส่วนมากสนใจ แต่ไม่สามารถจะหาตำราที่เขียนเป็นภาษาไทยได้ และเป็นวิชาที่นักเรียนจะหวังพึ่งในตำราการสอนเท่านั้น ไม่เพียงพอ จำเป็นที่จะต้องค้นคว้าและเปรียบเทียบจากตำราเพื่อจำและใช้เป็นหลักต่อไป.

ในการเขียนหนังสือเล่มนี้ ได้มุ่งที่จะให้ไว้แต่หลัก และพยายามอธิบายหลักนั้น ๆ อย่างละเอียด ส่วนข้อปลีกย่อยต่างๆ ที่เกิดจากหลัก แต่ไม่มีที่ไว้ในหลักสูตรชั้นเตรียมอุดมศึกษา เพราะสูงเกินไปนั้น มิได้อธิบายไว้ และถึงแม้ว่าในบางเรื่องจะได้กล่าวบ้าง ก็กล่าวไว้โดยไม่ได้อธิบายเหตุผลว่าเป็นมาอย่างไรโดยละเอียด เพราะเห็นว่ายังไม่จำเป็นในการเขียนชั้นนี้.

นอกจากนั้น ในการเขียนหนังสือนี้ ข้าพเจ้าถือหลักปฏิบัติดังนี้:—

๑. ให้รูปประกอบไว้มาก เพราะการที่จะเรียนวิชานี้ให้เข้าใจได้ดี จำต้องอาศัยเข้าใจหลัก และการเห็นรูปจะช่วยให้เข้าใจได้ดขึ้น.

๒. อักษรย่อแทนจุดต่างๆ นั้น ได้ใช้อักษรโรมันโดยตลอด ทั้งนี้เพื่อให้เด่นชัดและมองง่าย.

๓. คำเฉพาะต่างๆ นั้น ได้ใช้อย่างที่นักเรียนเคยเรียนมาและไม่ได้เปลี่ยนให้เข้าตามบัญญัติศัพท์ใหม่ เพราะเหตุว่านักเรียนยังเทียบความหมายของศัพท์ใหม่กับคำเฉพาะภาษาอังกฤษได้ยาก แต่อย่างไรก็ดีได้ให้คำเฉพาะเป็นภาษาอังกฤษกำกับไว้เสมอ และในบางกรณีก็ใช้ภาษาอังกฤษอย่างเดียว.

ก

๔. บางหัวข้อในตอน ๓ เป็นเรื่องที่สังเกตเห็นหลักสูตรชั้นเตรียมอุดมศึกษา แต่เป็นประโยชน์และน่ารู้ หัวข้อเหล่านี้ได้ทำเครื่องหมายดอกจันทน์ไว้ ฉะนั้น ข้อใดเครื่องหมายดอกจันทน์ จึงเป็นข้อที่ควรผ่านไปก่อนในการเรียนครั้งแรก ถ้ามเวลาและสนใจก็ขอยอมมาเรียน เมื่อใดเรียนเรื่องอื่นๆ จบแล้ว.

๕. การคำนวณในตอนไฟฟ้าสถิตได้ตัดออกเสียมาก เพราะไม่จำเป็น และโดยจะเพาะในเรื่องความจุไฟฟ้า ก็อธิบายไว้แต่เพียงสังเขปเท่านั้น.

สำหรับเครื่องหมายสแควร์รูทนั้น เนื่องจากส่วนยาวของตัวพิมพ์ ($\sqrt{\quad}$) ไม่ได้ขนาดที่จะไปจดเส้นขวางบน จึงได้ทิ้งไว้ให้ขาดจากกัน ฉะนั้นถ้าผู้ที่ใช้นั่งสอนจะขีดเติมให้จดเส้นขวางบนเสียเอง ก็จะเพิ่มความชัดเจนขึ้น ทั้งนี้เป็นความจำเป็นเกี่ยวแก่การพิมพ์ ซึ่งจำต้องขออภัย.

หนังสือสำเร็จขึ้นได้ ก็ด้วยได้รับความช่วยเหลือจากท่านที่หวังดีหลายท่าน เป็นต้นว่า ม.ร.ว. จุฬพรหม กมลาศน์ ได้ช่วยในการเขียนภาพประกอบ จึงขอขอบคุณ.

อนึ่ง ข้าพเจ้ารู้สึกเป็นเกียรติยศอย่างยิ่งที่ หม่อมหลวงปิ่น มาลากุล ปลัดกระทรวงศึกษาธิการ ได้กรุณาเขียนคำนำให้ ซึ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย.

(ลงชื่อ) สนั่น สุมิตร

โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๓๑ ตุลาคม ๒๕๔๘

คำนำในการพิมพ์ครั้งที่สอง

ในการพิมพ์หนังสือแม่เหล็ก—ไฟฟ้า ครั้งที่สองนี้ ข้าพเจ้าได้ถือโอกาสแก้ไขเปลี่ยนแปลงและเพิ่มเติม เพื่อให้เหมาะสมและตรงตามหลักสูตรชั้นประโยคเตรียมอุดมศึกษายิ่งขึ้น และได้เพิ่มเติมวิชาการบางตอนเพื่อให้ชัดแจ้งและเข้าใจง่ายขึ้น และเพิ่มเติมแบบฝึกหัดไว้ด้วย

ในการพิมพ์ครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณท่านผู้หวังดีทั้งหลาย โดยเฉพาะ อาจารย์ สาวิวรรณ วิวัฒน์พันธ์ และอาจารย์สังเวียน วงศ์สุวรรณ แห่งโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา ที่ได้ช่วยตรวจต้นฉบับและตรวจรูป.

(ลงชื่อ) สนั่น ลุมิต

โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา

๒๖ พฤษภาคม ๒๕๔๓

สารบัญ

ตอนที่ 1 แม่เหล็ก

		หน้า
บทที่ 1	แม่เหล็ก และคุณสมบัติของแม่เหล็ก	
1	แม่เหล็กธรรมชาติ	1
2	แม่เหล็กประดิษฐ์—แม่เหล็กแบบต่าง ๆ	2
3	คุณสมบัติในของแม่เหล็กของธาตุต่าง ๆ— สารแม่เหล็ก—สารนอนแม่เหล็ก— สารไดอะแมกเนติก	3
4	คุณสมบัติของแม่เหล็ก—แรงดูด—แรงผลัก	4
5	แรงดูดและแรงผลักเป็นแรงทางร่วมกัน	6
6	การตรวจหาความเป็นแม่เหล็ก	7
7	การเหนี่ยวนำแม่เหล็ก—คุณสมบัติของเหล็กกล้า และเหล็กอ่อนเกี่ยวกับอำนาจแม่เหล็ก— แม่เหล็กคงทน—แม่เหล็กชั่วคราว	8
8	อำนาจแม่เหล็กตามส่วนต่าง ๆ ของแม่เหล็ก— Terminal polarity—Lateral polarity— ฮิเคเวเตอร์แม่เหล็ก	11
9	คอนซีเควติโพล	13
10	เอ็มอีเอสเคติก	13
บทที่ 2	ทฤษฎีโมเลกุลของแม่เหล็ก	
11	ธรรมชาติของแม่เหล็ก	14
12	โซ่แม่เหล็กต่างชนิดกันเข้าด้วยกัน— Closed magnetic chain.	15

13	ทฤษฎีโมเลกุลของแม่เหล็ก	16
14	การใช้ทฤษฎีโมเลกุลของแม่เหล็ก อธิบายเรื่อง บางเรื่อง—ความแข็งแรงแห่งโมเลกุล— ซีลเซปติคัล—เวทเทวค	18
15	อำนาจแม่เหล็กภายในและภายนอกแท่ง— ขั้วอิสระ—อำนาจเป็นสระเทิน—เหล็กคัม	20
16	การทำให้แม่เหล็กเป็นเหล็กธรรมชาติ	22
17	การทำเหล็กให้เป็นแม่เหล็ก— Magnetising force—แม่เหล็กอิมิตัว— แม่เหล็กไฟฟ้า—Compound Magnet	22
บทที่ 3	สนามแม่เหล็ก ความเข้มแม่เหล็ก	
18	สนามแม่เหล็ก	27
19	เส้นของแรงและทิศของเส้นของแรง	28
20	เส้นของแรงในสนามแม่เหล็ก	29
21	วิธีเขียนเส้นของแรง	31
22	เส้นของแรงในสนามที่เกิดจากแม่เหล็กแบบต่าง ๆ	33
23	สนามแม่เหล็กของโลก—Uniform field— ทุกสระเทิน	35
24	ความซาบซึมได้—ค่าแม่เหล็ก	38
25	กฎกำลังสองผกผัน—ความหมายของหน่วยขั้ว	39
26	ความเข้มแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก	43
27	วิธีหาความเข้มในสนามที่เกิดจากขั้วเดียว	44

28	แมกเนติกโมเมนต์	46
29	การหาความเข้มของสนามแม่เหล็กรอบแท่ง— ความเข้ม ณ จุดบนแนวแกน—ความเข้ม ณ จุด บนเส้นเอควิโพเทอรัล	49

บทที่ 4 สนามแม่เหล็กของโลก

30	สนามแม่เหล็กของโลก—ข้อเหนือและใต้ ภูมิศาสตร์—ข้อเหนือและใต้แม่เหล็ก	56
31	ความเข้มในสนามแม่เหล็กของโลก— ความเข้มตามแนวแท่ง—ตามแนวนอน— ตามแนวนอน	57
32	การวางตัวของเข็มทิศ	59
33	เข็มทิศในสนามของโลก—Translatory motion Rotational motion—แนวเหนือใต้แม่เหล็ก	61
34	มุมขั้วเขน—พายุแม่เหล็ก + Isogonic lines.	63
35	มุมเท—Dip Circle—Isoclinic lines	65
36	เข็มทิศ—Mariner's Compass	67
37	วิธีหาแรงความเข้มตามแนวนอน	68
38	แรงเหนี่ยวนำของสมเหล็กของโลก	69

บทที่ 5 แมกนีโตเมตริก

39	ส่วนสัมพันธ์ระหว่างแรงความเข้มสองแนวทแยง กับเข็มทิศ	70
----	--	----

40	แมกนีโตมิเตอร์	71
41	การเปรียบเทียบโมเมนต์ของแม่เหล็กโดย ใช้แมกนีโตมิเตอร์—แบบเฮาแม่เหล็ก เข้าหา—แบบเฮาข้างเข้าหา	73
42	การแกว่งของแม่เหล็กในสนาม—โมเมนต์ ของความเฉื่อย—แมกนีโตมิเตอร์ชนิดแกว่ง	79
43	ใช้เปรียบเทียบความเข้มในสนามสองสนาม— Frequency	83
44	ใช้เปรียบเทียบโมเมนต์ของแม่เหล็ก	87
45	แมกนีโตมิเตอร์ชนิดแกว่ง	89
46	พิสูจน์กฎกำลังสองผกผันโดยแมกนีโตมิเตอร์ โดยแบบผกผันแม่เหล็ก	90
		94

ตอนที่ ๒ ไฟฟ้าสถิต

บทที่ 6	การทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้า	
47	การทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้า	117
48	แรงต่าง ๆ เป็นแรงต่างรวม	118
49	อำนาจไฟฟ้า	119
50	ชนิดของอำนาจไฟฟ้า	120
51	เครื่องแสดงอำนาจไฟฟ้าแบบ Pith ball	121
52	คุณสมบัติของวัตถุต่าง ๆ เกี่ยวกับอำนาจไฟฟ้า	122
53	ตัวนำและฉนวน	123

54	การกระจายของอำนาจไฟฟ้า	124
55	การเกิดอำนาจไฟฟ้าทั้งสองชนิด	126
56	การเหนี่ยวนำไฟฟ้า	128
57	การทำให้มีประจุไฟฟ้าในตัวนำ	129
58	ทฤษฎีอิเล็กทรอนิกส์	130
59	การอธิบายเรื่องต่าง ๆ โดยใช้ทฤษฎีอิเล็กทรอนิกส์	133
60	สนามไฟฟ้า และโพธิ์อิเล็กทรอนิกส์	136

บทที่ 7 ประจุและการกระจายของประจุบนตัวนำ

61	การวัดจำนวนประจุ	137
62	ความหนาแน่นของประจุ	138
63	แรงที่กระทำบนเมอมีโพธิ์อิเล็กทรอนิกส์ ๆ กัน	139
64	อิเล็กทรอนิกส์โคปเปอร์ของเปลว	141
65	การกระจายของวัตถุบนตัวนำ	144
66	การกระจายของประจุบนตัวนำที่มีรูปร่างต่าง ๆ	145
67	ประจุเหนี่ยวนำ	146

บทที่ 8 สนามไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า ความจุไฟฟ้าของตัวนำ

68	สนามไฟฟ้า	150
69	ความเข้มในสนามไฟฟ้า	151
70	สนามไฟฟ้า และความเข้มภายในวัตถุทรงกลม	152
71	ศักย์ไฟฟ้า	152

72	คัลกคายวค และคัลกคาลย	154
73	คัลกคายนคัวน้ำ	155
74	การวคคัลกคาล และความท่างคัลกคาล	156
75	ความรไฟฟ้าของคัวน้ำ	163
76	การค่านวณจำนวนประจุที่ถายเทระหว่างคัวน้ำสองอัน	167
77	เครื่องควยแน่น	170

บทที่ 9	เครื่องมือทำไฟฟ้าสถิต	
78	เครื่องมือทำไฟฟ้าสถิต	179
79	อเล็กโตรฟอรัส	180
80	เครื่องทำไฟฟ้าแยกขั้วมสเซลล์	182
81	ประกายไฟฟ้า	184
82	การซึมออกจากปลายแหลม	186
83	ฟ้าแลบ, ฟ้าผ่า, และสายล่อฟ้า	187

ตอนที่ 1

แม่เหล็ก

บทที่ 1

แม่เหล็กและคุณสมบัติของแม่เหล็ก

1. แม่เหล็กธรรมชาติ

ในสมัยโบราณได้มีผู้ค้นพบแร่ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีอยู่ตามธรรมชาติ เรียกว่า Magnetite หรือ Lodestone แร่นี้มีคุณสมบัติแปลก คือ สามารถดูดเหล็กหรือผงเหล็กให้เข้าไปติดอยู่กับแท่งของมันได้ และถ้าเอาแท่งของมันแขวนไว้เพื่อให้แกว่งไปตามลำพัง แท่งนั้นจะวางตัวให้อยู่ในแนวเหนือใต้ของโลก และถึงแม้ว่าจะโยกให้แท่งนั้นเบนไปจากแนวเหนือใต้ เมื่อปล่อยมือเมื่อใดแท่งนั้นก็จะวิ่งกลับเข้าแนวเหนือใต้เช่นเดิม โดยเหตุที่แร่ชนิดนี้มีอยู่มากตามแถบแมกนีเซีย (Magnesia) ในเอเชียตะวันตก (Asia Minor) แร่ชนิดนี้จึงได้ถูกตั้งชื่อว่า Magnetite แต่มาในภายหลัง เมื่อวิชาเคมีได้แพร่หลายมากขึ้น นักวิทยาศาสตร์จึงได้ทราบว่า แร่นี้ก็คือ Magnetic iron ore หรือ Fe_3O_4 นั่นเอง

แท่งของแร่ที่นำมาใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติดังกล่าวข้างบน เราเรียกว่า แม่เหล็กธรรมชาติ (Natural Magnet) โดยปรกติแม่เหล็กธรรมชาติมีกำลังแรงและความกระตือรือร้นแม่เหล็กตกต่ำลงไม่ไ้ ฉะนั้น ในเรื่องที่จะกล่าวต่อไปจะไม่กล่าวถึงแม่เหล็กธรรมชาติอีก จะกล่าวไว้เพียงนี้เพื่อเป็นประวัติเท่านั้น

๒. แม่เหล็กประดิษฐ์

แม่เหล็กที่ใช้กันโดยมากคือ แม่เหล็กที่โคทำขึ้น เรียกว่า แม่เหล็กประดิษฐ์ (Artificial Magnet, or Magnet) แท่งแม่เหล็กอาจจะมีรูปร่างลักษณะใดก็ได้ตามต้องการในขณะที่จะใช้ เพื่อเป็นหลักฐานสำหรับอธิบายในเรื่องต่อไป จะรวบรวมแม่เหล็กแบบที่ใช้กันมากในห้องทดลอง และกำหนดชื่อสำหรับเรียกแม่เหล็กแบบนั้น ๆ ไว้ในที่นี้

ก. เข็มทิศขนาดเล็ก เป็นแม่เหล็กขนาดเล็ก ยาวประมาณ ๑ เซนติเมตรเศษ ๆ ตั้งอยู่บนปลายแหลมหรือเกือย (pivot) และโดยปกติเข็มทิศชนิดนี้มักจะเอาวางไว้ในภาชนะทรงกระบอก คำนวณมันแผ่นกระจกเพื่อยกมันไม่ให้กระดิกเนื่องจากลม แขนงใช้เฉพาะการหาเส้นแรงแม่เหล็ก

ข. เข็มทิศ เป็นแม่เหล็กรูปร่างเป็นขนนกเขี่ยขึ้น ยาวรี ส่วนยาวประมาณ



รูปที่ ๑

๖—๘ เซนติเมตร ส่วนกว้างตอนกลางประมาณ ๑ เซนติเมตร หนาพอไม่ให้งอได้ง่าย ตั้งอยู่บนเกือย เพื่อให้หันไปมาได้ตามความแวนอน เพื่อให้หันได้คล่อง ตอนท่แม่เหล็กตั้งอยู่บนเกือย มักจะทำให้ไว้เป็นรูปเตาขนมครกเล็ก ๆ ทั่วไว้ และอีกทีติดอยู่กับจุดกึ่งกลางของเข็มทิศ พนของตอนท่ท้าววยวด

เรียกว่า agate ซึ่งเป็นพลอยชนิดหนึ่งจึงมันและทำให้เข็มทิศยกได้คล่อง โดยเหตุที่เข็มทิศมีความหนักพอสมควร และมักจะไม่ใช่กับการทดลองที่ละเอียด จึงไม่คงจะพัวถึงเรื่องลม และแม่เหล็กชนิดนี้ไม่มีภาชนะหุ้ม

ค. แม่เหล็กอันสั้น มีขนาดยาวประมาณ ๒ เซนติเมตร กว้าง ๐.๓ เซนติเมตร หนา ๐.๒ เซนติเมตร แม่เหล็กชนิดนี้ใช้เฉพาะกับเครื่องมือบางอย่างซึ่งจะได้อีกกล่าวต่อไปในบทหลัง ๆ

๑. แท่งแม่เหล็ก (Bar Magnet) เป็นแม่เหล็กรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง
ประมาณ ๒ เซนติเมตร หนาประมาณ ๐.๘ เซนติเมตร ยาวตามต้องการ

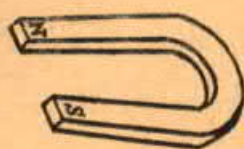


รูปที่ ๒

โดยปรกติประมาณ ๑๒—๒๐ เซนติเมตร แม่เหล็กแบบนี้
อาจจะมีการวางเป็นทรงกระบอกก็ได้ แต่ถ้ามักใช้ไว้นั้น

แล้ว เมื่อกล่าวถึงแท่งแม่เหล็กจะถือว่าเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเสมอ

๒. แม่เหล็กรูปเกือกม้า (Horseshoe Magnet) เป็นรูปคล้ายเกือกม้าทั้งใน
รูปที่ ๓ และมีปลายทั้งสองอยู่ชิดกัน



รูปที่ ๓

นอกจากในเรื่องเครื่องมืออย่างของวิชาไฟฟ้า แม่เหล็ก
แบบนี้ไม่ค่อยได้ใช้ในการทดลองเกี่ยวกับวิชาแม่เหล็ก แต่ใช้
ประโยชน์ในเรื่องทั่วไป เช่น ใช้ติดอยู่ในคลอง เมื่อใดต้อง
การใช้แรงกดของแม่เหล็กโดยไม่ต้องการน้ำหนักของขั้ว ก็
ใช้แม่เหล็กแบบนี้ก็ได้

๓. คุณสมบัติในเรื่องความเป็นแม่เหล็กของธาตุต่างๆ

ธาตุและสารประกอบต่าง ๆ แสดงคุณสมบัติในเรื่องแม่เหล็กต่าง ๆ กัน เรา
สามารถทำให้ธาตุบางชนิดแสดงคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กได้ คือ เราสามารถทำให้ธาตุ
ชนิดนั้นกลายเป็นแม่เหล็ก หรือถูกกับเหล็กได้ ธาตุชนิดนั้นได้แก่ เหล็ก, โคบอลต์
(cobalt) นิกเกิล (nickel) มังกานีส (manganese) และ โครเมียม (chromium)
ธาตุจำพวกนี้ขอเรียกว่า สารแม่เหล็ก (Magnetic substance) อำนาจแม่เหล็ก
ที่เกกขนะแรงที่สุดเมื่อใช้เหล็กเป็นสารแม่เหล็ก ฉะนั้น แม่เหล็กทั่วไปจึงใช้
เหล็กเสมอ

ธาตุหรือสารประกอบที่ไม่แสดงคุณสมบัติในร่องแม่เหล็กเลย ก็จะทำให้เป็นแม่เหล็กก็ไม่ได้ จะเอาแม่เหล็กมาเข้าใกล้ก็ไม่ดูด ใต้ชื่อว่า สารนอนแมกเนติก (Non-magnetic substance) และใต้แก่ธาตุหรือสารประกอบอื่น ๆ ทั่วไป ยกเว้นที่กล่าวไว้ข้างบน และที่เรากล่าวต่อไปในตอนล่าง สารนอนแมกเนติก ใต้แก่สาร เช่น แก้ว ไม้ ทองแดง สังกะสี ฯลฯ

มีธาตุข้อยกพวกหนึ่ง ซึ่งแสดงคุณสมบัติตรงกันข้ามกับแม่เหล็ก คือ เมื่อเอาแม่เหล็กมาเข้าใกล้ ธาตุหรือสารนี้จะพยายามหนี หรือผลักจากแม่เหล็ก ธาตุพวกนี้ไม่มีความสำคัญมากนัก และใต้ชื่อว่า สารไดอะแมกเนติก (Diamagnetic substance) และใต้แก่ธาตุ เช่น บิสมัท (Bismuth) อันติโมนี (Antimony)

4. คุณสมบัติของแม่เหล็ก

คุณสมบัติของแม่เหล็กมีอยู่ 4 อย่าง

ก. แม่เหล็กสามารถดูดเหล็ก และสารแมกเนติกได้ ถ้าเราเอาแท่งแม่เหล็กมาวางใกล้ตะปู เข็มเย็บผ้า และวัตถุอื่น ๆ ที่ทำด้วยเหล็ก เราจะเห็นว่าวัตถุเหล่านั้นจะถูกดูดมาติดกับแม่เหล็ก และแม่เหล็กจะไม่มีความสามารถที่จะดูดสารนอนแมกเนติก เช่น ตะป ทองแดง เป็นต้น

ข. วางตัวในแนวเหนือใต้ของโลก

แนวเหนือใต้ของโลกในที่นี้หมายถึง แนวเหนือใต้ของโลกตามหลักแม่เหล็ก ไม่ใช่แนวเหนือใต้ของโลกตามหลักภูมิศาสตร์ เรืองนี้จะต้องเก็บไว้อธิบายอย่างละเอียดในบทที่ 4 ขอให้เข้าใจไว้ในที่นี้ก่อนว่า เมื่อพดลึงแม่เหล็กวางตัวในแนวเหนือใต้เมื่อใด ให้หมายถึงแนวเหนือใต้ตามหลักแม่เหล็กเสมอ

ถ้าเราเอาแม่เหล็กแขวนไว้ที่จุดศูนย์กลาง เพื่อให้แกว่งไปมาได้ตามแนวนอน แม่เหล็กจะวางตัวไถ่ตั้งอยู่ในแนวเหนือใต้ ถ้าเราใช้มือหรืออำนาจอื่นมา

ยังคงให้แม่เหล็กขั้วไปจากแนวนี้ และเมื่ออำนาจที่ยังคงให้ขั้วทั้งหมดไปเมื่อใด แม่เหล็กนั้น ก็จะแกว่งไปแกว่งมาโดยมีแนวเหนือใต้เป็นจุดกึ่งกลางแห่งการแกว่ง อยู่ พลหนึ่ง และแกว่งแคบเข้าหากันหนึ่งอยู่ในแนวเหนือใต้ใหม่เช่นเดิม นอกจากนี้เราจะสังเกตเห็นต่อไปว่า ขั้วหรือปลายที่เคลื่อนไปทางเหนือจะไปทางเหนือเสมอ ออกปลาย ขั้วไปทางใต้เสมอขั้วหรือปลายที่ไปทางเหนือ เราเรียกว่า ขั้วเหนือ (North pole) ขั้วที่ไปทางใต้เราเรียกว่าขั้วใต้ (South pole) ในรูปหรือเมื่อต้องการใช้อักษรย่อ เรามักใช้อักษร N หรือ n แทนขั้วเหนืออักษร S หรือ s แทนขั้วใต้

เวลาทดลองจริง ๆ เรามักใช้เข็มทิศ (กุขั้ว ๑ ข.) เพราะถึงแม้ว่าจะพยายามทำให้ขั้วใด ๆ ของขั้วมีความฝืดอยู่มาก และเข็มทิศก็กลับเข้าแนวเหนือใต้และนิ่ง ไปได้เร็ว ถ้าใช้แม่เหล็ก เช่น แขนงแท่ง (กุขั้ว ๑ ข.) และแขวนด้วยสายไหมเพื่อให้แกว่งได้ตามลำพังจะเห็นว่า เมื่อขั้วจากแนวเหนือใต้เข้าจริง ๆ และเมื่ออำนาจที่ยังคงให้ขั้วทั้งหมดไป แท่งแม่เหล็กจะพยายามกลับเข้าแนวเหนือใต้จริง แต่กว่าจะนิ่งก็จะได้แกว่งกลับไปกลับมานานเกินควร (กุขั้ว ๑ ข.)

ก. ขั้วและผลกับแม่เหล็กด้วยกัน

ถ้าเราเอาเข็มทิศมาขึ้นหนึ่งและตั้งไว้แล้วเอาแท่งแม่เหล็กเข้ามาใกล้ และสัมผัสเสียว่า ขั้วเหนือและใต้ของเข็มทิศเป็น n และ s ขั้วเหนือและใต้ของแท่งแม่เหล็กเป็น N และ S เราจะทดลองได้ดังนี้

ถ้าเอา N มาใกล้ n จะเกิดการผลักรันชน

ถ้าเอา S มาใกล้ s จะเกิดการผลักรันชน

ถ้าเอา N มาใกล้ s จะเกิดการดูดกัน

ถ้าเอา S มาใกล้ n จะเกิดการดูดกัน

รวมความแล้วเราคงเป็นกฎได้ว่า “ชีวแม่เหล็กชนิกเดียวกันผลักกัน ชิวแม่เหล็กต่างชนิกกันกูกกัน”

ง. เหนียวน้ำให้เกิดกระแสไฟฟ้า

๕. เรืองนตองเว่นไว้วักถาวในคองหลัง

5. แรงคุดและแรงผลักเป็นแรงต่างร่วมกัน (Mutual Action)

เมื่อแม่เหล็กคูกเหล็ก แรงคูกนี้ไม่ใช่เกิดจากแม่เหล็กคูกแต่ทางเคียว เป็นแรงต่างร่วมกันระหว่างแม่เหล็กกับเหล็ก ถ้าเราเอาเข็มทิศมาชนหนึ่งและเอาแท่งเหล็กแท่งหนึ่ง ซึ่งเราแน่ใจว่าไม่ใช่แม่เหล็กเข้ามาใกล้ขั้วใดขั้วหนึ่งของเข็มทิศ เราจะเห็นว่าปลายของเข็มทิศจะยักเข้ามาหาแท่งเหล็กนั้น ครั้นเราเปลี่ยนเป็นเอาแท่งเหล็กแท่งนั้นไปแขวน แล้วเอาเข็มทิศมาใส่ในมือและนำไปให้ใกล้แท่งเหล็กที่แขวนไว้ แท่งเหล็กจะยักมาหาปลายของเข็มทิศในมือทันที นี่เป็นการแสดงให้เห็นว่า แรงที่เกิดขึ้นไม่ใช่แรงที่เกิดแต่ทางใดทางหนึ่ง แต่เป็นแรงต่างร่วมกันระหว่างเหล็กและแม่เหล็ก ชินโคสามารถเคลื่อนที่ไถ่ยากกว่ากัน ก็ระเคลื่อนมาหาหรือยักเข้าหาอีกชนหนึ่ง คือ ถ้าแม่แรงที่แม่เหล็กคูกเหล็กเป็นจำนวนเท่าใด ก็จะมีแรงที่เหล็กคูกแม่เหล็กเป็นค่าเท่า ๆ กันในขณะเคียวกันนั้น

นอกจากนั้น ในการทดลองตามข้อ 4 ค. เราเอาเข็มทิศวางไว้ แล้วเอาแท่งแม่เหล็กมาทดลอง ชิว N ผลักชิว n ชิว S ผลักชิว s แต่ถ้าวางเอาคล้ายกัน เอาแท่งแม่เหล็กห้อยข้าง และเอาเข็มทิศมา จะเห็นว่า ชิว s จะผลัก S และชิว n ผลัก N

เรืองน จึงแสดงสำหรับแรงผลักระหว่างชีวชนิกเคียวกันก็ไ่เหมือนกัน รวมความแล้ว แรงทุกแรงไม่ว่าจะเป็นแรงผลักหรือแรงคูก เป็นแรงต่างร่วมกันระหว่างวัตถุทั้งสองชนัน ต่างฝ่ายต่างออกแรงชงกันและกัน

๖. การตรวจความเป็นแม่เหล็ก

ถ้าเราประสงค์จะทราบว่า แท่งเหล็กชิ้นหนึ่งเป็นแม่เหล็กหรือเป็นเหล็กธรรมดา เราจะอาศัยหลักตามข้อ ๔ ข. ทดลองก็ได้ คือ เอาแท่งเหล็กนั้นแขวนไว้ให้อยู่ในแนวนอน และดูว่าจะวางตัวในแนวเหนือใต้หรือไม่ แล้วจึงดูว่าในบางกรณีอาจจะไม่สะดวกที่จะทดลอง

โดยปรกติ วิธีทดลองอย่างง่ายก็คือ เอาแท่งเหล็กที่สงสัยนั้นจุ่มลงในผงเหล็ก (Iron filings) ถ้าผงเหล็กเกาะติดมา แท่งนั้นเป็นแม่เหล็ก เพราะเราถือได้ว่าผงเหล็กไม่เป็นแม่เหล็ก

มีวิธีที่คิดว่า เพราะนอกจากจะทราบว่าแท่งเหล็กหรือไม่ ยังทราบชนิดของขั้วอีกด้วย คือเอาเข็มทิศมาขึ้นหนึ่ง และเอาปลายข้างหนึ่ง ซึ่งจะสมมติว่า ปลาย A ของแท่งเหล็กนั้นเข้าไปใกล้ขั้ว n ของเข็มทิศ ถ้าเกิดการดึงดูดกันระหว่าง A กับ n เรายังแน่ใจไม่ได้ว่า A เป็นขั้วใดของแม่เหล็ก เพราะถ้าแท่ง A เป็นเหล็กธรรมดาจะดึงดูดขั้ว n ของเข็มทิศได้เหมือนกัน (ตามข้อ ๕) เราต้องทำต่อไป คือเอาปลาย A ไปหาขั้ว s ของเข็มทิศ ควบ

ถ้าปลาย A ผลักปลาย s แท่งเหล็กนั้นจะเป็นแม่เหล็ก โดยปลาย A เป็นขั้วใด

ถ้าปลาย A ดึงปลาย s อีก แท่งเหล็กนั้นจะเป็นแท่งเหล็กธรรมดา

ในตอนนั้น ต้องจำไว้อย่างหนึ่งว่า ถ้ามีการดึงดูด เรายังแน่ใจไม่ได้ว่าแท่งทั้งสองเป็นแม่เหล็กทั้งคู่ แต่ถ้ามีการผลัดกัน แท่งทั้งสองต้องเป็นแม่เหล็กทั้งคู่

ในการนำแม่เหล็กเข้ามาใกล้เข็มทิศ ควรจะนำเข้ามาจากระยะห่าง ๆ และนำเข้ามาช้า ๆ เพราะถ้าแม่เหล็กที่ทดลองมีแรงมากเกินไป และเรานำเข้าใกล้ขั้วของเข็มทิศเร็วเกินไป อาจจะทำให้ขั้วของเข็มทิศกลับอำนาจขั้ว คือเมื่อเคยเป็น

ขั้ว n อาจจะถูกเปลี่ยนให้เป็นขั้ว s โดยการเหนี่ยวนำจากแม่เหล็กแท่งที่มีแรงมาก
เรขงนี้จะเข้าไปใกล้เมื่อใกล้ขึ้นข้อต่อไปแล้ว

สมมุติว่า แท่งทกตลอดเป็นแม่เหล็ก และทราชนิกของขั้วของปลาย A แล้ว
ควรหาชนิกของขั้วของปลาย B ข้อไป เพราะถ้า A เป็นขั้วใต้ ก็ตัวอย่างข้างบน
ปลาย B ไม่จำเป็นจะต้องเป็นขั้วเหนือเสมอไป (ดูข้อ 9)

7. การเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (Magnetic Induction)

ถ้าเราเอาแท่งแม่เหล็กแท่งหนึ่งตรงไว้ให้แน่นในแนวนอน และเอาแท่งเหล็ก
อ่อนเล็ก ๆ แท่งหนึ่งไปแตะปลายข้างหนึ่งของแม่เหล็ก แท่งเหล็กอ่อนจะเกาะติดอยู่
กับปลายนั้นเอง นอกจากนั้นถ้าเราเอาแท่งเหล็กอ่อนขนาดประมาณเท่าเดิมไปแตะกับ



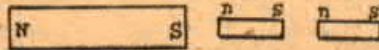
ปลายของแท่งเหล็กอ่อนอันแรกนั้น แท่งเหล็กอ่อนหลังก็จะถูกดึงดูดติดอยู่
กับแท่งเหล็กอ่อนอันแรกอีก ถ้าเราเอามาใส่ไปวางใกล้ปลายของแท่ง
เหล็กอ่อนอันหลัง แท่งเหล็กอ่อนจะแสดงตัวคล้าย ๆ เป็นแม่เหล็กอ่อนหนึ่ง
คือ จะดูดปลายหนึ่งของเข็มทิศ และผลักอีกปลายหนึ่ง ถ้าแท่ง
แม่เหล็กมีแรงมากพอเราอาจจะเอาแท่งเหล็กอ่อนติดต่อกันไปได้อีก

รูปที่ 4 เป็น 3, 4... อัน แต่ก็ยังแสดงผลเหมือนกันข้างบน

ครั้นเรากิ่งแท่งเหล็กอ่อนเหล่านี้ออกจากแท่งแม่เหล็ก และทกตลอด แท่ง
เหล็กอ่อนเหล่านั้นจะไม่แสดงว่ามีอำนาจแม่เหล็กเหลืออยู่เลย กลายเป็นเหล็กธรรมดา
ไปหมด

ลองทกตลอดใหม่ แต่คราวนี้วางแท่งแม่เหล็กบนโต๊ะตามแนวนอน และเอาแท่ง
เหล็กอ่อนเล็ก ๆ สองแท่งวางเรียงไปตามยาว แต่ไม่ให้แตะกับแท่งแม่เหล็ก
หรือแตะระหว่างกันทั้งในรูปที่ 5 แท่งเหล็กอ่อนทั้งสองจะแสดงตัวคล้าย ๆ เป็น

แม่เหล็กอีก แต่พอเอาแท่งแม่เหล็กออกไปเสียให้พ้น แท่งเหล็กอ่อนทั้งสองก็จะหมดอำนาจแม่เหล็กทันที



รูปที่ ๕

นอกจากนั้น ถ้าเราทดลองหาชนิดของขั้วของเหล็กอ่อนขณะที่กำลังอำนาจแม่เหล็กอยู่จะเห็นว่า ปลายเป็นขั้วหรือขั้วใกล้เคียงขั้วใดจะเป็นขั้วตรงกันกับขั้วนั้น ส่วนปลายใกล้เคียงจะเป็นขั้วชนิดเดียวกันกับขั้วต้นเหตุที่ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้น (ดูรูปที่ ๔ และที่ ๕)

การที่เหล็กธรรมดาเกิดอำนาจแม่เหล็กโดยการแตะกันกับ หรือเพียงวางไว้ใกล้กับแม่เหล็กก็ตาม เรียกว่าการเกิดอำนาจแม่เหล็กโดยการเหนี่ยวนำ (Magnetisation by Induction) แต่ถ้าแม่เหล็กต้นเหตุถูกนำออกไปเสียจากบริเวณแล้ว การเหนี่ยวนำในเหล็กธรรมดาก็จะหมดไปทุกทันที

ในการทดลองข้างบน ถ้าเราใช้เหล็กกล้า (Steel) แทนเหล็กอ่อนเราจะได้ผลคล้ายกัน แต่จำนวนชิ้นของเหล็กกล้าที่จะเกาะติดกันอยู่หรือจะแสดงอำนาจแม่เหล็กได้นั้นจะน้อยชิ้นกว่ากัน แต่เมื่อเอาแม่เหล็กต้นเหตุไปเสียจากชิ้นเหล็กกล้า จะปรากฏว่าชิ้นเหล็กกล้าเหล่านั้นกำลังความเป็นแม่เหล็กอยู่ต่อไป เช่น ถ้าทำตามแบบรูปที่ ๔ และเอาแม่เหล็ก NS ออกไปเสีย ชิ้นทั้งสองจะเกาะติดกันอยู่ต่อไป ซึ่งถ้าแม่เหล็กอ่อนแล้วจะหลุดออกจากกันทันที

เหล็กหรือเหล็กกล้าเป็นเหล็กด้วยกันทั้งนั้น แต่วิธีทำต่างกัน และมีคุณสมบัติต่างกัน เหล็กมีความอ่อนเช่นเอามางอได้ ถ้าชนากพอสมควร แต่เหล็กกล้าแข็งและเหนียว และโดยเฉพาะในเรื่องคุณสมบัติเกี่ยวกับแม่เหล็กแล้ว เหล็กหรือ

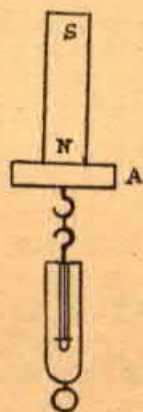
เหล็กอ่อนรับอำนาจการเป็นแม่เหล็กได้ง่าย แต่ถ้าวางทิ้งขยให้เป็นแม่เหล็กหมดไป เช่นอำนาจการเหนี่ยวนำ เหล็กนั้นก็จะเกิดอำนาจการเป็นแม่เหล็กไว้ต่อไปไม่อยู่ กลายเป็นเหล็กธรรมดาเช่นเดิม ส่วนเหล็กกล้ารับอำนาจการเป็นแม่เหล็กได้ยาก แต่เมื่อรับไว้แล้วจะเกิดอำนาจไว้ได้คงทนจึงเป็นแม่เหล็กไว้ต่อไป คือ อำนาจแม่เหล็กที่ไว้ไว้แล้วไม่หมดไป เรืองนี้จะเห็นได้จากผลการทดลองข้างบน

เพราะเหตุนี้ แม่เหล็กที่ทำจากเหล็กกล้า จึงทรงไว้ซึ่งความเป็นแม่เหล็กได้นาน และเราเรียกว่า แม่เหล็กคงทน (Permanent magnet) แม่เหล็กที่กล่าวถึงในข้อ ๒ เป็นแม่เหล็กที่ทำจากเหล็กกล้าทั้งสิ้น ส่วนแม่เหล็กที่ทำด้วยเหล็กอ่อนจะมีอำนาจแม่เหล็กเฉพาะระหว่างเวลาที่อำนาจยังขยให้เป็น แม่เหล็กยังคงแสดงอำนาจอยู่ เช่นโดยการเหนี่ยวนำ หรือโดยอำนาจกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะกล่าวถึงในข้อ ๑๘๓ แต่ถ้าหมดอำนาจขยนั้น ๆ แล้วจะทวนกลับไปเป็นเหล็กธรรมดาทันที แม่เหล็กชนิดนี้เรียกว่า แม่เหล็กชั่วคราว (Temporary magnet)

การที่แม่เหล็กเกิดเหล็กธรรมดาได้ ก็เพราะแม่เหล็กทำให้เหล็กที่เข้ามาใกล้เป็นแม่เหล็กชั่วคราวโดยการเหนี่ยวนำ จึงเกิดการดูดกันดึงดูดสมบัติของแม่เหล็กข้อ ๔ ก. แต่เมื่อเหล็กออกไปก็หมดอำนาจเป็นแม่เหล็กอีก ฉะนั้นจึงเหมือนกับว่าแม่เหล็กเกิดเหล็กธรรมดา ถ้าเราปล่อยให้แม่เหล็กเกิดเหล็กกล้า เช่น ปากกาคอแว้ง และปล่อยให้เหล็กคือนานหน่อย เมื่อเราเอาปากกาคอแว้งออกมาทดลองจะแสดงว่ามีอำนาจแม่เหล็กอยู่คึดชั่วและกลายเป็นแม่เหล็กอันหนึ่งไปแล้ว

เพราะเหตุว่า เหล็กอ่อนรับอำนาจแม่เหล็กได้ง่ายกว่าเหล็กกล้าเอง แรงดูดที่ต่างร่วมระหว่างแม่เหล็กกับเหล็กอ่อนจึงมากกว่าแรงดูดที่ต่างร่วมระหว่างแม่เหล็กกับเหล็กกล้า ลองทำการทดลองดังนี้ คือ เอาเหล็กอ่อนและเหล็กกล้า ขยมนานเท่ากัน และขนาดและลักษณะเหมือนกัน ทั้ง A ในรูปที่ ๖ มาอย่างละชิ้น และ

ควรวางเอาเหล็กอ่อนวางเพื่อให้ค้ำค้ำกับปลาย N ของแม่เหล็ก แล้วเอาสปริง
บาลานซ์ (Spring balance) เกี่ยวกับข้อใต้แท่งเหล็กนั้น และค่อย ๆ คึงสปริงบาลานซ์



รูปที่ 6

เพื่อให้แท่งเหล็ก A หลุดจากแท่ง เมื่อแท่งเหล็กอ่อนหลุด
จากแท่งแม่เหล็ก ฐานเข็มของสปริงบาลานซ์แสดงว่าใช้แรง
เท่าใด

ควรวางเอาแท่งเหล็กกล้าใส่ข้าง และทดลองใหม่
หาแรงที่ใช้ในสปริงบาลานซ์ เมื่อเหล็กกล้าหลุดออก

เราจะเห็นว่า แรงที่ต้องใช้สำหรับเหล็กอ่อนมากกว่า
แรงที่ต้องใช้สำหรับเหล็กกล้า

ถ้าเอาชิ้นเหล็กอ่อนติดกับขั้ว S ของแม่เหล็กข้าง และทำเหมือนเดิมทุก
ประการ เมื่อชิ้นเหล็กอ่อนหลุดออก แรงที่ใช้สปริงบาลานซ์ควรจะเท่ากับเมื่อให้ติด
กับขั้วเหนือ ซึ่งแสดงว่าแรงดึงดูดระหว่างขั้วเหนือกับเหล็กชิ้นหนึ่ง จะเท่ากับแรง
ดึงดูดระหว่างขั้วใต้ของแม่เหล็กแท่งเดียวกันกับเหล็กชิ้นเดิม เรืองนขอให้จำ
ไว้ก่อน จะย้อนกล่าวถึงอีกในตอนหลัง (ในข้อ ๑๑)

8. อำนาจแม่เหล็กตามส่วนต่างๆ ของแม่เหล็ก

แม่เหล็กไม่ได้แสดงอำนาจค้ำและผลักเฉพาะที่ขั้วหรือปลายเท่านั้น แต่แสดง
อำนาจบ้าง มากหรือน้อยตามก้านข้าง เรืองนแสดงให้เห็นได้ ๒ วิธี

ก. เอาแท่งแม่เหล็กเข้าไปคลุกอยู่ในผงเหล็ก เมื่อเราคึงแม่เหล็กนั้นออกจะ
เห็นว่าผงเหล็กเกาะอยู่หนาแน่นทางปลายทั้งสอง ตามก้านข้างก็มีเกาะอยู่เหมือน
กันแต่ห่างจากปลายก็ยิ่งจะเกาะน้อยลงทุกที นี่แสดงว่า อำนาจแม่เหล็กออกแรง
มากที่สุดที่ปลายทั้งสอง และค่อย ๆ ลดลงจากสองปลายเข้ามาทางส่วนกลางของแท่ง
และตอนกลางแท่งจริงๆ ไม่มีอำนาจแม่เหล็กเลย

ข. เอาเข็มทิศอันหนึ่งวางไว้ริมโต๊ะทดลอง และเอาแท่งแม่เหล็กแท่งหนึ่งวางในแนวยืน แต่เริ่มด้วยขั้ว N อยู่ในระนาบเดียวกับขั้วของเข็มทิศ และขยับไปทางขั้ว n



รูปที่ 7

ของเข็มทิศ และห่างพอสมควร ขั้ว n ของเข็มทิศจะถูกผลักมากหน่อย แต่ถ้าเราก่อขั้ว n เลื่อนแม่เหล็ก NS ขึ้นตามแนวยืนจะเห็นว่าเข็มทิศจะถูกผลักน้อยลงทุกที จนเมื่อถึงกลางของแม่เหล็กอยู่ในระนาบเดียวกับเข็มทิศ ขั้ว n ของเข็มทิศจะอยู่เป็นปกติไม่แสดงว่าถูกผลักเลย ครั้นตั้งต้นใหม่ด้วยขั้ว S ของแม่เหล็กและขั้ว s ของเข็มทิศจะใกล้เคียงกันทุกประการคือ แรงผลักจะมากที่สุดใกล้ปลาย และจะน้อยลงทุกทีเมื่อใกล้มาทางกึ่งกลางของแท่งและจะไม่มีความแรงเลยที่กึ่งกลางของแท่ง

ฉะนั้น อำนาจแม่เหล็กไม่ได้ปรากฏอยู่แต่เฉพาะที่ปลาย หรือขั้วของแม่เหล็ก ยังมีปรากฏตามก้านข้างของแม่เหล็กอยู่บ้างไม่มากนักน้อย อำนาจแม่เหล็กที่แสดงอยู่ที่ขั้ว เรียกว่า Terminal polarity และอำนาจที่แสดงอยู่ตามก้านข้าง เรียกว่า Lateral polarity ณ จุดกึ่งกลางของแท่งตอนที่ไม่มีปรากฏแรงเลย ซึ่งโดยปกตินี้ขั้วทุกขั้วแบ่งครึ่งแท่งพอดี เราเรียกว่า อีควเอเตอร์แม่เหล็ก (Magnetic equator)

ถ้าแม่เหล็กเป็นแม่เหล็กแท่งขนาดเล็กแคบยาวมาก อำนาจแม่เหล็กจะแสดงแต่เฉพาะที่ปลายเป็นส่วนใหญ่ ส่วน Lateral polarity เกือบไม่มี จะมีก็ตอนใกล้ปลายเท่านั้น ฉะนั้นถ้าเราใช้ปลายข้างใดข้างหนึ่งของแม่เหล็กแท่งนี้ ปลายอีกข้างหนึ่งอยู่ห่างออกไปมาก ปลายที่เราใช้ก็เปรียบเหมือนกันว่าเป็นขั้วที่เป็นเพียงขั้ว เราจึงเรียกปลายนั้นว่า Point Pole ถ้าปลายที่ใช้เป็นขั้วเหนือ ก็เรียกว่า North point pole



ขอเตือนว่า แม่เหล็กจะมีขั้วแค่เพียงขั้วเดียวไม่ได้ ต้องมีสองขั้วเป็นอย่างน้อย
คู่กันอยู่เสมอ แต่ถ้าเราใช้แม่เหล็กเล็กยาวทิ้งอหิยาไว้นานจน เราถือได้ว่าเราใช้
ขั้วนั้นเกิน เพราะอีกขั้วอยู่ห่างเกินไปที่จะออกแรงมาถึงได้

๑. คอนซีเกวนต์ โปล (Consequent pole)

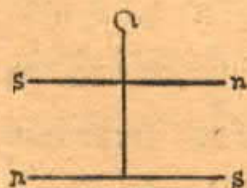
แม่เหล็กจะต้องมีขั้วเหนือและขั้วใต้ ะหาแม่เหล็กที่แสดงแต่อำนาจของ
ขั้วเหนือเท่านั้นไม่ได้ แต่แม่เหล็กอาจจะมีอำนาจขั้วเหนืออยู่ทั้งสองปลาย อำนาจขั้วใต้
อยู่ตอนกลาง หรืออาจจะมีอำนาจขั้วใต้อยู่ ณ ปลายทั้งสอง และอำนาจขั้วเหนือ
ขั้วใต้ ขั้วเหนืออยู่ตามแถบกลางอีก ๑ แห่งเช่นลําคับไปก็ได้ แม่เหล็กที่มีอำนาจ



รูปที่ ๘

ขั้วอยู่ตอนกลางของแท่งอีก ๑ หรือมากกว่า ๑ แห่ง เรียกว่า มีคอนซีเกวนต์ โปล
แต่อย่างไรก็ตามจะต้องมีทั้งขั้วเหนือและขั้วใต้อยู่ในหมื่นนั้นด้วยสลับกันไป

๑๐. เข็มอัสเตติก (Astatic Needle)



รูปที่ ๑

เข็มอัสเตติก

เข็มอัสเตติก คือ แม่เหล็กขนาดเล็ก ๒ แท่ง ซึ่งมีขนาด
ประมาณกัน ครึ่งให้คึกกันขนาดกัน แต่ห่างจากกันพอสมควร
แม่เหล็กทั้งสองมีกำลังประมาณกัน แต่วางกลับขั้วกันทั้งใน

รูปที่ ๑

มีประโยชน์ใช้กับเครื่องไฟฟ้าชนิดหนึ่งและจะไถ่กล่าว

ถึงอีกในภายหลัง

บทที่ 2

ทฤษฎีโมเลกุลของแม่เหล็ก

11. ธรรมชาติของแม่เหล็ก

อำนาจแม่เหล็กไม่ใช่อำนาจอะไรอย่างหนึ่งที่เราสามารถบรรจุเข้าไปในแท่งแม่เหล็กได้ ถ้าเป็นอำนาจภายนอกที่เราบรรจุเข้าไปได้แล้ว เราก็ควรจะทำให้แท่งทองแดงเกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้นโดยหรือประมาณกันกับที่ทำได้ด้วยเหล็ก แต่เราทำให้ทองแดงมีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กขึ้นไม่ได้

อนึ่ง โดยมีได้ทำอะไรเลย นอกจากเอาแม่เหล็กแท่งหนึ่งมาวางใกล้เหล็กธรรมดา ก็สามารถทำให้เหล็กธรรมดาขึ้นแสดงอำนาจเป็นแม่เหล็กขึ้นทันที แต่พอเอาแท่งแม่เหล็กออกห่างไป อำนาจการเป็นแม่เหล็กของเหล็กธรรมดานั้นจะหมดไป

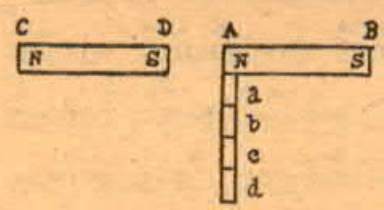
นอกจากนั้น ถ้าเราเอาเหล็กกล้าเช่น เหล็กสปริงนาฬิกาเล็ก ๆ AB มาทำให้เป็นแม่เหล็กเสียก่อน และทดลองคว่ำอำนาจชั่วแต่ที่ปลายทั้งสองเท่านั้น คือไม่มีคอนซีแวนต์ไปส และเราหักเหล็กสปริงที่ C ออกเป็น 2 ชิ้น และทดลองดูใหม่จะปรากฏว่าเหล็กสปริงทั้งสองชิ้นจะแสดงความเป็นแม่เหล็กโดยสมบูรณ์ทั้งสองชิ้น คือ มีทั้งขั้วเหนือและขั้วใต้ทั้งสองชิ้น และชิ้นหนึ่ง ๆ จะมีขั้วสองขั้ว จะให้ชิ้นหนึ่งมีขั้วเหนือแต่อย่างเดียว อีกชิ้นมีขั้วใต้แต่อย่างเดียวไม่ได้ คือตอนที่หักออกจาก C จะ



แสดงอำนาจชนิกได้กับขั้วเหนือของแท่งเดิม และอำนาจชนิกเหนือกับขั้วใต้ของแท่งเดิม ถ้าเราหักต่อไปเป็น 3,4,5...ชิ้น ก็จะปรากฏผลเหมือนกันทุกประการ คือชิ้นต่างๆ ที่แตกออกมาใหม่จะแสดงว่าเป็นแม่เหล็กโดยสมบูรณ์ทั้งขั้วเหนือและขั้วใต้ทุกชิ้น และเราจะหาแท่งแท่งไหนที่แยกชิ้นกันไม่ได้

ตามเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว ทำให้ต้องถือว่าอำนาจความเป็นแม่เหล็กมีอยู่แล้วในเหล็กหรือสารแม่เหล็ก คืออยู่ในเนื้อหาค้นเอง และการที่จะแสดงอำนาจแม่เหล็กให้ปรากฏออกมาหรือไม่นั้น คงเป็นด้วยการกระทำของเราบังคับให้อำนาจนั้นแสดงออกมาหรือไม่เท่านั้น

12. ขั้วแม่เหล็กต่างชนิดกันมาดูดกัน

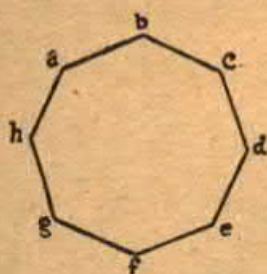


รูปที่ 11

ถ้าเราเอาแม่เหล็ก AB ซึ่งมีปลาย A เป็นขั้วเหนือมาวางตรงไว้ในแนวนอนและเอาแท่งเหล็กชิ้นเล็กๆ a,b,c,d และเพื่อให้เกาะติดอยู่ที่ส่วนล่างของปลาย A เป็นแถวลงไปดังในรูปที่ 11 a,b,c, และ d จะเกาะติดอยู่ที่ก็เพราะทุกชิ้นกลายเป็น

แม่เหล็กโดยการเหนี่ยวนำ คราวนี้ถ้าเราเอาแม่เหล็กอีกแท่งหนึ่ง CD ซึ่งมีแรงประมาณกันกับแท่ง AB และเอาขั้วใต้เข้ามาทางปลาย A และค่อยๆ เอาเข้ามาจากระยะห่าง เราจะเห็นว่าเมื่อปลายใต้ของ CD เข้ามาใกล้ปลาย A แท่งเหล็ก d จะหลุดออกไปก่อนแล้ว c,b จะหลุดตามไปตามลำดับ จนเมื่อปลายขั้วใต้ของ CD แตะกับ A แท่งเหล็กชิ้น a จะหลุดออกไป นั่นแสดงให้เห็นว่าเมื่อขั้วใต้มาเข้าใกล้กับขั้วเหนือ แรงทั้งสองจะนำดูดกันเสียจนไม่มีแรงที่จะเหนี่ยวนำให้แท่งเหล็กชิ้นเป็นแม่เหล็กได้ เมื่อขั้วใต้และขั้วเหนือของแม่เหล็กสองแท่งที่มีแรงประมาณกันอยู่ติดกัน แรงทั้งสองจะนำดูดกันเสียจนไม่มีอำนาจแม่เหล็กเหลือ

ตามความจริง ถ้าแม่เหล็กที่ใช้เป็นแม่เหล็กแท่งใหญ่ แรงที่ขั้วจะดึงดูดกัน
ไม่ใกล้เคียงเท่าที่ควร เพราะ Lateral polarity ยังคงมีอยู่บ้าง แต่ถ้าแม่เหล็กเป็นแท่ง
บาง ๆ เช่นเข็มฉีดยา Lateral polarity เกือบไม่มี และการดึงดูดกันเกือบจะถือได้
ว่าหมดการดึงดูด



รูปที่ 12

คราวนี้เราลองสมมติว่า แม่เหล็กแท่งเล็กๆ อยู่
หลายแท่งและวางเรียงให้ขั้วรอบครบเป็นวงพอดี โดยขั้วเหนือ
ทิศขั้วใต้ของอันถัดไปเป็นลำดับดังในรูปที่ 12 ถ้าเราทดลอง
ทุกทิศทางของทุกๆ ท่อนจะแสดงเหมือนกันว่า ไม่มีอำนาจ
แม่เหล็กเลยโดย แต่ถ้าเราเอาทิศทางแยกออก ปลายที่แยก
จะแสดงอำนาจขั้วเหนือที่ปลายหนึ่ง และอำนาจขั้วใต้ที่อีกปลายหนึ่งทันที ทรายใน
ขั้วเหนือของอันหนึ่งจับกับขั้วใต้ของอันหนึ่งได้ และไม่มีขั้วไหนที่ไม่มีคู่ประจำ
แล้ว แม่เหล็กเหล่านี้จะไม่แสดงอำนาจแม่เหล็กออกมาให้เห็นเลย เมื่อใดแยกคู่ออก
จากกัน อำนาจแม่เหล็กทั้ง ๒ ขั้วก็ปรากฏขึ้นทันที

การเรียงแม่เหล็กเพื่อให้จับคู่กันและขั้วรอบครบเป็นวงเช่นนี้ เรียกว่า Closed
magnetic chain

13. ทฤษฎีโมเลกุลของแม่เหล็ก

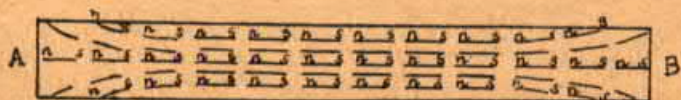
ด้วยเหตุผลดังกล่าวแล้วข้างบน ศาสตราจารย์ฮิวอี้สและอวิง (Hughes and
Ewing) จึงได้ตั้งทฤษฎีสำหรับอธิบายการเกิดอำนาจแม่เหล็กในสารแม่เหล็ก ทฤษฎี
นี้สมมุติเสียว่า ทุกโมเลกุลของสารแม่เหล็กเป็นแม่เหล็กชิ้นเล็กๆ อยู่แล้วใน
ตัว และเป็นแม่เหล็กโดยสมบูรณ์ คือ มีอำนาจขั้วเหนืออยู่ปลายหนึ่ง อำนาจ
ขั้วใต้ที่อยู่อีกปลายหนึ่ง และไม่มี Lateral polarity.

ฉะนั้นเหล็กแม่เหล็กทุกชิ้นเป็นแม่เหล็กอยู่แล้ว แต่โดยเหตุที่แม่เหล็กทุกชิ้น
จับกลุ่มกันเป็น Closed magnetic chain เป็นกลุ่มๆ จึงไม่มีอำนาจแม่เหล็กปรากฏ
ออกมาภายนอกแท่งใด แต่ถ้าเมื่อใดเราทำให้แม่เหล็กในแท่งเหล็กชิ้นหนึ่ง เช่น AB
เรียงกันเสียให้เป็นแถว ดังในรูปที่ 13 ทางปลายด้านหนึ่ง, A ก็จะมีขั้วชนิด
หนึ่งอยู่โดยไม่มีขั้วใดมาจับคู่ จึงแสดงอำนาจแม่เหล็กชนิดหนึ่ง ส่วนปลาย B
แสดงอำนาจชนิดใด



รูปที่ 13

ตามความเป็นจริง ถ้าแม่เหล็กในแท่งเหล็กเรียงกันเป็นระเบียบและขนาดกัน
จริง ดังในรูปที่ 13 แล้ว อำนาจแม่เหล็กจะแสดงอยู่แค่เฉพาะที่ปลายเท่านั้น และ
Lateral Polarity จะไม่มี สำหรับแม่เหล็กแท่งเล็ก ๆ การเรียงของแม่เหล็กเกือบ
เป็นเช่นนั้น แต่ถ้าแม่เหล็กเป็นแท่งใหญ่ การเรียงของแม่เหล็กจะเป็นดังในรูปที่ 14
มากกว่า เพราะจากรูปนี้เราจะเข้าใจได้ทันทีว่าต้องมี Lateral polarity อยู่ด้วย



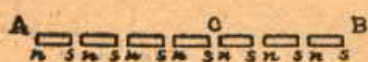
รูปที่ 14

ในแท่งแม่เหล็ก ถ้าแม่เหล็กเรียงตัวและมีอำนาจของขั้วใดหรือขั้วหนึ่งอยู่โดย
โดยไม่มีอำนาจตรงกันข้ามมาขัดขวาง เราเรียกว่าแท่งนั้นมีขั้วอิสระ (free polarity)
ขั้ว A ในรูปที่ 13 มีขั้วอิสระชนิดหนึ่ง ขั้ว B มีขั้วอิสระชนิดใดที่จุด C ใน

ในตอนกลางแห่งระไมมีขั้วอิสระ แต่ระมีขั้วอิสระเกิดขึ้นถ้าเราหักทรง C (ดูข้อต่อไป)

14. การใช้ทฤษฎีโมเลกุลของแม่เหล็กอธิบายเรื่องบางเรื่อง

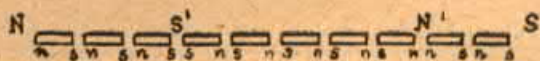
การหักแม่เหล็กตามทักกล่าวไว้ใน ข้อ 11 ระอธิบายได้โดยง่ายโดยทฤษฎีโมเลกุลของแม่เหล็ก ถ้าเราพิจารณาในรูปที่ 15 หรือรูปที่ 18 และจำไว้ด้วยว่าโมเลกุลเป็นชนบทติดต่อกันไปไม่ได้แล้ว เราจะเห็นว่าการหักแท่ง AB เช่นที่ C ระ



รูปที่ 15

ทำให้ โมเลกุลตอนนั้นแยกออก และมีขั้วใต้และขั้วเหนืออิสระเกิดขึ้นทันที ตอนที่ยังแยกออกจึงแสดงอำนาจแม่เหล็กชนิดใต้และชนิดเหนือขึ้นมาโดยทันที และระหักที่ไหนต่อไปก็จะทำให้ทุกชนบทเกิดใหม่เป็นแม่เหล็กโดยสมบูรณ์

การเกิดคอนซีแวนต์โพล ก็คือ การเรียงตัวของโมเลกุลฝึกปร่งที่จะเป็นขั้วขึงเหนียวหรือโดยทั้งใจก็ตาม ถ้าโมเลกุลเรียงตัวกันดังในรูปที่ 16 จะเห็นได้โดยง่ายว่า ระต้องมีคอนซีแวนต์โพลอยู่สองแห่งในระหว่างแท่ง



รูปที่ 16

การเกิดการเหนียวแม่เหล็กก็คือ การที่แท่งแม่เหล็กดึงหรือขึงค้ำให้โมเลกุลในแท่งของเหล็กกล้าหรือเหล็กอ่อนที่อยู่ใกล้เคียงเรียงตัวเสียใหม่ จึงแสดงอำนาจแม่เหล็กออกมาได้ และถ้าพิจารณาแล้วจะเห็นว่าโมเลกุลย่อมต้องเรียงตัวเพื่อให้ ขั้วใต้ของโมเลกุลชี้เข้าหาขั้วเหนือของแม่เหล็ก ฉะนั้นขั้วที่อยู่ใกล้

รูปที่ 17

กับแม่เหล็กคนเหตุระของเป็นขั้วบนละขั้ว และขั้วที่อยู่ไกลออกไปจะเป็นขั้วบน
 เกือบกับขั้วแม่เหล็กคนเหตุทำให้เกิดการเหนี่ยวนำ

ใ้กล่าวไว้แล้วว่า เหล็กอ่อนรับอำนาจการเป็นแม่เหล็กได้ทันและเร็ว แต่
 เกือบอำนาจไวไม่ยักยว ส่วนเหล็กกล้ารับอำนาจได้ช้าแต่เกือบอำนาจไวได้คงทน
 ความเป็นเช่นนี้เพราะเหล็กมีคุณสมบัติอ่อนโมเลกุลบิดตัวเพื่อเรียงตัวได้ง่าย ฉะนั้น
 เมื่ออยู่ติดหรือใกล้กับแม่เหล็ก จึงเรียงตัวเป็นแถวดังในรูปที่ 13 หรือใกล้
 เคียงกันเช่นนั้นแสดงอำนาจที่ปลายเหมือนกันแม่เหล็กทุกประการ แต่พอเอาอำนาจ
 เหนี่ยวนำออกไปเสีย การที่โมเลกุลของเหล็กบิดตัวได้ง่ายนั่นเอง จะทำให้
 บิดตัวกลับไปเป็น Closed magnetic chain อีกเช่นเดิม จึงหมดอำนาจแม่เหล็ก
 กลายกลับเป็นเสมือนเหล็กธรรมดา เหล็กกล้ามีคุณสมบัติแข็ง โมเลกุลบิดตัว
 ได้ยาก ฉะนั้นเมื่อมีอำนาจเหนี่ยวนำอยู่ใกล้เคียงกับขั้วเพื่อเรียงตัวเป็นแถวได้
 ยาก อำนาจแม่เหล็กในเหล็กกล้าทนต่อการเหนี่ยวนำจึงมีน้อย แต่เมื่อถูก
 เหนี่ยวนำให้เรียงตัวแล้ว และอำนาจเหนี่ยวนำนั้นหมดไป โมเลกุลของเหล็ก
 กล้าจะไม่บิดตัวกลับไปเป็น Closed magnetic chain จึงคงแสดงอำนาจการเป็นแม่
 เหล็กอยู่ได้คงทนต่อไป การที่โมเลกุลของเหล็กกล้าบิดตัวได้ยากเรียกว่า โมเลกุล
 ของเหล็กกล้ามีความแข็งแรงแห่งโมเลกุล (Molecular rigidity) มาก

ถ้าเราเอาอำนาจเหนี่ยวนำอย่างแรงมาบังคับ หรือใช้อำนาจเช่นอำนาจไฟฟ้า
 มาบังคับให้ทั้งเหล็กกล้าเรียงตัวเป็นแถวให้ได้มากแถวที่สุดที่ระมากได้ เราจะได้นแม่
 เหล็กคงทน (Permanent magnet) และวิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้ทำแม่เหล็กกัน โดยทั่วไป

การที่โมเลกุลของเหล็กเรียงตัวได้ง่าย คือ ใช้อำนาจแม่เหล็กไว้ได้ง่าย เราเรียกว่า เหล็กมีsusceptibility (Susceptibility) มากเหล็กกล้ามีsusceptibility น้อย แต่เมื่อกลายเป็นแม่เหล็กแล้ว เหล็กกล้าเก็บอำนาจแม่เหล็กไว้ได้นาน เราจึงให้ชื่อว่าเหล็กกล้า มีretentivity (Retentivity) มาก เหล็กอ่อนไม่มีretentivity เลย susceptibility หรือ retentivity ก็เกิดจากความแข็งแรงแห่งโมเลกุล (Molecular rigidity) น้อย หรือมากนั่นเอง

15. อำนาจแม่เหล็กภายในและภายนอกแท่ง

เราทราบแล้วว่า เหล็กทุกชิ้นไม่ว่าจะเป็นเหล็กธรรมดาหรือแม่เหล็ก มีอำนาจแม่เหล็กอยู่ในโมเลกุลภายใน แต่เหล็กธรรมดาและแม่เหล็กยังต่างกันอยู่อีกในเรื่องภาวะของโมเลกุลภายใน โมเลกุลของเหล็กธรรมด้ายกั่มกันอยู่เป็นกลุ่ม ๆ เป็น closed magnetic chain ฉะนั้น ถึงแม้ว่าเราจะตัดแท่งเหล็กธรรมดาออกเป็นสองชิ้น ก็ไม่สามารถทำให้อำนาจแม่เหล็กปรากฏออกมาได้

แต่แท่งแม่เหล็กมีโมเลกุลเรียงตัวอยู่แล้ว โมเลกุลที่อยู่ภายในแท่งและยั้กกันอยู่เป็นขั้วเหนือขั้วใต้เป็นชุด ๆ ไป จะไม่แสดงอำนาจออกมา แต่พร้อมที่จะแสดงอำนาจนั้นออกมาทันที ถ้าเราแยกขั้วเหนือขั้วใต้ที่ยั้กกันออกจากกัน โมเลกุลที่เรียงตัวอยู่แล้วก็จะไขว่คว้าอยู่ในลักษณะตัวขมพร้อม และถ้ามีโอกาสก็จะแสดงอำนาจแม่เหล็กออกมาทันที การที่โมเลกุลเรียงตัวอยู่ภายในแท่งแม่เหล็ก เราเรียกว่าแม่เหล็กมีอำนาจแม่เหล็กภายใน (Internal Magnetism) ส่วนอำนาจที่แสดงอยู่นอกแท่งเราเรียกว่า อำนาจแม่เหล็กภายนอก (External Magnetism) อำนาจแม่เหล็กภายใน จะกลายเป็น อำนาจแม่เหล็กภายนอกทันที ที่มีขั้วอิสระ (Free polarity) เกิดขึ้น

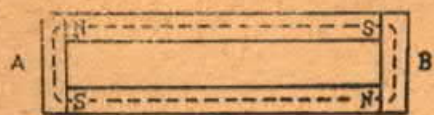
เราเห็นทิศขั้วขั้ว ถ้าเราเอาเหล็กถ่วงยาวแขวนมาขึ้นหนึ่ง และทำ
ให้โมเลกุลเรียงตัวตามเส้นรอบวง (วิธีทำจะบอกกล่าวในข้อต่อไป) เมื่อโมเลกุลภายใน
วงแหวนเรียงตัวแล้ว ทุกแนวจะเป็น Closed magnetic chain ฉะนั้นจะไม่



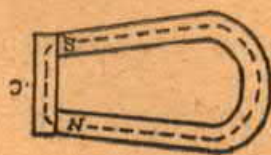
รูปที่ 18

ออกมาเป็นแม่เหล็กถ่วงออกมา จะเกิดขั้วอิสระขึ้นก็เห็นและ
ทิศอย่างละขั้วหนึ่ง และวงแหวนกลายเป็นแม่เหล็กทุกประการ คือ แสดงอำนาจ
แม่เหล็กภายนอกขึ้นมา

เมื่อทิศโมเลกุลของเหล็ก หรือแม่เหล็ก เรียงตัวกันอยู่เป็น Closed magnetic
chain อำนาจแม่เหล็กจะอยู่ในฐานะระเหิน (Neutral) โดยเหตุนี้เองถ้าเราต้องการ
เก็บแม่เหล็กให้ทรงอำนาจแม่เหล็กไว้ ไกลนาน เราใช้เหล็กคุม (Keepers) เข้า



ช่วย เหล็กคุมเป็นเหล็กอ่อนขนาดเล็กน้อย ประกอบ
ปลายทั้งสองของแท่ง แม่เหล็กขนาดเท่ากันสองแท่ง



รูปที่ 19

วางสลับขั้วกัน หรือแท่งเหล็กอ่อนแท่งเดียว วางประ
กอบไว้ที่ปลายของแม่เหล็กที่ถ่วงออกมา และเหล็กคุมทำหน้าที่
ให้แนวของโมเลกุลในแท่ง แม่เหล็ก ต่อกับแนวโมเลกุลใน
เหล็กอ่อน ให้ครบเป็น Closed magnetic chain เมื่อ

โมเลกุลของแม่เหล็กหรือของเหล็กขั้วรวมกันอยู่เป็น Closed magnetic chain
อยู่ในลักษณะที่เป็นสมดุลกันทุกทิศ

ในรูปที่ 19 A และ B เป็นเหล็กคูลล์สำหรับแม่เหล็ก ๒ แท่ง ซึ่งของวางให้ขั้วสถับกัันกันในรูป และ C เป็นเหล็กคูลล์สำหรับแม่เหล็กรูปเกือกม้า เวลาเรเก็บแม่เหล็กเป็นเวลานานควรใช้เหล็กคูลล์เสมอ แม่เหล็กที่มีเหล็กคูลล์อยู่ด้วย จะแสดงตัวคล้าย ๆ เป็นเหล็กธรรมดา แต่ตามความจริงอำนาจไม่หมดก็เพราะ Lateral polarity ยังมีอยู่บ้าง เวลางานควรระวังทุกสิ่งทุกอย่างให้เห็นว้างเอง

16. การทำให้แม่เหล็กเป็นเหล็กธรรมดา (Demagnetisation)

การทำให้แม่เหล็กกลับเป็นเหล็กธรรมดา ก็คือ การทำให้โมเลกุลภายในซึ่งเรียงตัวอยู่แล้วรบกวนกันใหม่ เราจะใช้วิธีใดก็ได้ เช่น เผลาไฟแล้วทุบหรือเคาะ เมื่อโมเลกุลร้อนทำให้การบิดตัวสะกดกัน และการทุบและเคาะก็เพื่อช่วยให้รบกวนกันเร็วขึ้นและตามปรกคัมแม่เหล็กทั้งไว้เลย ๆ เป็นเวลานานโดยไม่มีเหล็กคูลล์ก็รบกวนกันเอง ฉะนั้นถ้าทิ้งแม่เหล็กไว้เลย ๆ โดยไม่ดูแล จะทำให้แม่เหล็กหมดอำนาจแม่เหล็กไปเองได้

17. การทำให้เหล็กให้เป็นแม่เหล็ก

จากเรื่องทฤษฎีโมเลกุลของแม่เหล็ก เราทราบว่าถ้าโดยวิธีใดก็ตามเราทำให้โมเลกุลภายในแท่งเหล็กเรียงตัวเพื่อให้เข้าแถวกัน และคงอยู่เป็นแถวต่อไป เราจะทำให้เหล็กนั้นกลายเป็นแม่เหล็กไป การทำให้เหล็กให้เป็นแม่เหล็ก เรียกว่า Magnetisation และแรงที่มาบังคับให้โมเลกุลเรียงตัว เรียกว่า Magnetising Force ถ้าแรงที่บังคับมีแรงน้อย อำนาจแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแท่งก็อ่อน ถ้าแรงที่บังคับมีค่ามาก อำนาจแม่เหล็กที่เกิดขึ้นก็แรง แต่ไม่โกธหมายความว่าแรงเพิ่มขึ้นไปตามลำดับเรื่อยไปจะมีอยู่ตอนหนึ่ง ซึ่งโมเลกุลเรียงตัวตามลำดับหมดแล้วทั้งแท่ง ขณะนั้นอำนาจแม่เหล็กก็จะ

เกิดขึ้นใกล้หรือแม่เหล็กแท่งนั้นยอมสูงที่สุด และถึงตอนนั้นเรียกว่า เกิดอำนาจแม่เหล็กอิ่มตัว (Magnetic saturation)

การทำเหล็กกล้าให้เป็นแม่เหล็กมีอยู่หลายวิธี แต่วิธีที่สำคัญและที่ใช้กันมากมี 3 วิธี

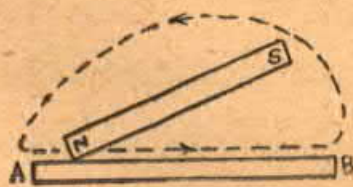
ก. โดยการเหนี่ยวนำ (By induction)

วิธีนี้ใช้ตัวนำไฟฟ้าในคอนตัน แต่แรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นไม่แรงนัก จึงไม่ใช่เป็นวิธีที่ทำให้เกิดแม่เหล็กอย่างแรง

ข. วิธีถูด้วยแม่เหล็ก (By rubbing with a magnet)

วิธีนี้ก็คือ การหาหนทางที่จะให้แรงดันเหนี่ยวนำให้เกิดการเหนี่ยวนำของโมเลกุลของแท่งให้เรียงตัว อยู่ใกล้กัน แทนที่จะต้องการให้เป็นแม่เหล็กนั่นเอง วิธีนี้ยังแบ่งย่อยออกไปอีกเป็น 3 แบบ แบบต่าง ๆ ผลกันก็อยู่แต่การวางแม่เหล็กเท่านั้น แต่หลักคือหลักเดียวกัน

ถ้าใช้แบบนี้ไม่ควรทำเหล็กแท่งขนาดใหญ่ให้เป็นแม่เหล็กเพราะ Magnetising Force ไม่แรงพอที่จะแสดงอำนาจไปถึงใจกลางแท่งได้ ควรใช้แท่งเหล็กขนาดเล็ก เช่น เข็มกลัด ถ้าเหล็กเป็นขนาดใหญ่ควรใช้วิธี ค.



รูปที่ 20

แบบ Single Touch

เอาแท่งเหล็ก AB ที่ต้องการทำให้เป็นแม่เหล็ก

วางไว้บนโต๊ะหรือบนมือ เอาปลายของแม่เหล็ก NS

ปลายหนึ่ง เช่น ปลาย N จรดที่ A และลากมาจน

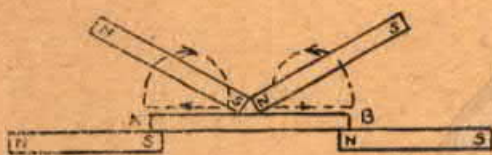
สุดที่ B ยกขึ้นใหม่วางจากที่ A และลากมาสุดที่ B ทำเช่นนี้หลายครั้งจะทำให้แท่ง AB กลายเป็นแม่เหล็กไป

การทำเช่นนั้นเพื่อให้สามารถเห็นย่นำให้โมเลกุลเรียงตัวอยู่ใกล้กับตัวโมเลกุล
ที่สุด คือ ลากไปตามผิวของแท่งเหล็กนั้นเลยก็เกียวก โมเลกุลจะได้มีโอกาสเรียง
ตัวได้มากแนว นักเรียนควรระมัดระวังตัวเองจากหลักว่า ปลายไหนจะเป็นขั้วเหนือขั้วใต้
และเติมเขาเองในรูป

แบบ Separate Touch

แบบคล้ายกับแบบ Single Touch

แต่เพิ่มแม่เหล็กเข้าไปอีก 1 แท่ง สำหรับ
เป็น Magnetising Force



รูปที่ 21

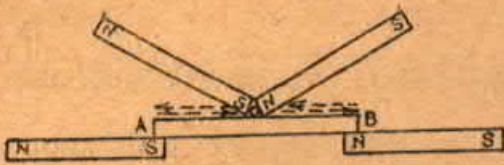
เอาแท่งเหล็ก AB ที่ต้องการทำให้เป็นแม่เหล็กวางบนแท่ง แม่เหล็ก 2 แท่งดัง
รูปที่ 21 ให้ปลาย A อยู่บนขั้ว S ของแท่งหนึ่ง ปลาย B อยู่บนขั้ว N ของอีก
แท่งหนึ่งแม่เหล็กทั้ง 2 แท่งนี้ไม่ใช่ Magnetising force (นอกจากเกิดการเหนี่ยวนำ
แม่เหล็กเล็กน้อย) แต่ทำหน้าที่เป็นเหล็กค้ำพิเศษขึ้นเล็กน้อยเพราะเป็นแม่เหล็ก
อยู่แล้วในตัว

เอาแม่เหล็ก 2 แท่งที่เป็น Magnetising force วางรอกทั้งกลางของแท่ง
รูปให้ขั้ว N อยู่ใกล้ทางปลาย B ขั้ว S ของอีกแท่งอยู่ใกล้ทางปลาย A และลาก
แท่งแม่เหล็กทั้งสองจากทุกกลางไปทางปลายทั้งสองข้าง เมื่อถึงปลายแล้วชักขึ้น
ตามแนววงกลมและมาอยู่ที่กลางเช่นเดิม และลากไปยังปลายใหม่ ถ้าทำเช่นนั้น
หลายๆ ครั้งจะไ้แม่เหล็ก AB ที่มีกำลังแรงกว่าแบบแรก.

แบบ Double Touch

แบบวางคล้ายแบบ Separate Touch

ทุกประการ แต่ระหว่างแม่เหล็กที่เป็น



รูปที่ 22

Magnetising Force มีเศษไม้เล็กๆ ขึ้นอยู่ แม่เหล็กทั้งสองแท่งนี้เอาลากไป ลากมากวนกันจากทุกกองกลางของแท่งไปสุดที่ A ลากกลับมาจนสุดที่ B กลับไปสุดที่ A เรื่อยๆ ไปหลายครั้ง จะทำให้ AB กลายเป็นแม่เหล็กไปได้.

แบบนี้เกิดแรงเหนี่ยวนำให้แนวโมเลกุลเรียงตัวแรงมากระหว่างขั้ว N และ S ของ Magnetising Force และเมื่อโมเลกุลเรียงตัวแล้ว แม่เหล็กทั้งสองที่ทำหน้าที่เป็นเหล็กก็มักจะไว้ไม่ให้กลับอีก มองดูเส้นๆ คล้ายกับว่า เมื่อแม่เหล็กกำลังจะผ่านเส้นที่ C ในรูปที่ 23 โมเลกุลจะเรียงตัวเพื่อให้ขั้ว S ชี้ไปซ้าย และพอแม่



เหล็กผ่านมาเพื่อให้ โมเลกุลอยู่ระหว่างขั้วทั้งสองเส้นที่ b โมเลกุลจะเรียงตัว เพื่อให้ขั้ว S ชี้ไปทางขวา และเมื่อแม่เหล็กผ่านไป

รูปที่ 23

แล้วโมเลกุลจะเรียงตัวเพื่อให้ขั้ว S ชี้ไปทางซ้ายอีกเส้นที่ a ก็ขึ้น โมเลกุลกลับไปกลับมาหลายครั้งเมื่อแม่เหล็กผ่านแต่ตามความจริง เมื่อตอนก่อนขั้วทั้งคู่ของแม่เหล็กผ่าน และเมื่อผ่านแล้ว อำนาจเหนี่ยวนำให้โมเลกุลมีค่ามากขึ้นมาก แรงยังทำให้โมเลกุลมีค่าจะมีค่ามากแต่เฉพาะเมื่อโมเลกุลอยู่ระหว่างขั้ว ฉะนั้นโมเลกุลจะเรียงตัวเหมือนอย่าง ที่ b เท่านั้น นอกจากนั้นแม่เหล็กที่ช่วยก็มักจะช่วยยึดแนวของ โมเลกุลที่เรียงตัวแล้วอยู่ด้วย

ค. วิธีใช้อานาไฟฟ้า

วิธีนี้จะเข้าใจได้เมื่อได้เรียนถึงตอนแม่เหล็กไฟฟ้าแล้ว ในที่นี้จะขอกล่าวแต่ ว่าถ้าเอาสายลวดไฟฟ้า (ที่มีวัตถุเช่นขงหุ้มห่อ) และเอาพันไว้รอบแท่งเหล็กและ พันทางเดียวกันโดยตลอดแล้ว ปล่อยให้กระแสไฟชนิดตรงไหลผ่านสายลวด จะทำให้แท่งเหล็กนั้นกลายเป็นแม่เหล็กไปได้

ถ้าใช้แท่งเหล็กกล้าควร ปล่อยให้กระแสไฟเดิน เป็นพักๆ จะดีกว่ากลายเป็นแม่เหล็กที่แรงและคงทน ถ้าใช้เหล็กอ่อน เหล็กอ่อนจะเป็นแต่เพียงแม่เหล็กชั่วคราว เมื่อไรกระแสไฟหยุดไหล แท่งเหล็กอ่อนก็จะหมดอำนาจแม่เหล็กทันที แม่เหล็ก ที่เกิดจากอำนาจไฟฟ้า แต่ใช้เหล็กอ่อน เรียกว่า แม่เหล็กไฟฟ้า (Electro magnet)

การทำเหล็กให้เป็นแม่เหล็กนั้น ถ้าใช้วิธี ข. จะเป็นการเร็วและของไม่เลกๆ แต่ได้ผลเท่านั้น ฉะนั้นถ้าต้องการให้แม่เหล็กที่มีกำลังแรงต้องใช้แผ่นเหล็กกล้าบางๆ หลายแผ่นทำให้เป็นแม่เหล็กทีละแผ่น แล้วมีกรรมกันเป็นแท่งเก็บว แท่งทนมแม่เหล็ก เป็นแผ่นๆ หลายแผ่นมีกรรมกันอยู่ เรียกว่าแม่เหล็กเชิงประกอบ (Compound Magnet) และแม่เหล็กชนิดนี้มีกำลังแรงมาก.

บทที่ 3

สนามแม่เหล็ก ความเข้มแม่เหล็ก

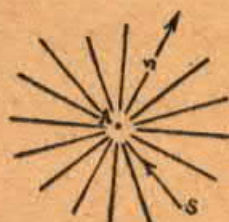
18. สนามแม่เหล็ก

อาณาเขตที่แม่เหล็กแท่งหนึ่งแสดงอำนาจแม่เหล็กออกไปถึงได้ เรียกว่า
สนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) ของแม่เหล็กแท่งนั้น

อาณาเขตที่อำนาจแม่เหล็กแสดงออกไปไ้นอกแท่ง เรียกว่าสนามแม่เหล็ก
ภายนอก (External Magnetic Field) หรือโดยปรกติใช้เรียกแต่เพียงสนามแม่เหล็ก
เพราะมีที่ใช้และต้องกล่าวถึงมากที่สุด อาณาเขตภายในตัวแท่ง คือ ทอภายใน
ไม่ถูกตัดหรือขวางอยู่ เรียกว่าสนามแม่เหล็กภายใน (Internal Magnetic Field)

สนามแม่เหล็กที่มีลักษณะง่ายที่สุดก็คือ สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วเดียว
(Point pole) และสนามแม่เหล็กแบบนี้มีลักษณะเป็นอาณาเขตทรงกลม ซึ่งมี
ขั้วเดียวเป็นศูนย์กลาง ตามความแรงขั้วเดียวมีไม่กี่ ฉะนั้นสนามแม่เหล็กแบบ
นี้จึงไม่มีจริง ๆ แต่เราอาจนึกถึงสนามแม่เหล็กที่มีลักษณะใกล้เคียงชนิดนี้ ถ้าคิดใช้
แม่เหล็กขนาดเล็กแต่ยาวมากจนเกือบยาวไว้ในข้อ 8 อำนาจจากขั้วหนึ่งอยู่ไกลพอ
สมควรและไม่สามารถส่งกำลังมาถึงได้ ฉะนั้นสนามที่เกิดจากขั้วใดขั้วหนึ่งของแม่
เหล็กขนาดเล็กยาวชนิดนี้จึงใกล้เคียงสนามของขั้วเดียว

19. เส้นของแรงและทิศของเส้นของแรง



สองขั้วของสนามแม่เหล็ก ขั้วหนึ่งซึ่งเกิดจากขั้วเดียว
A สนามนี้เป็นอาณาเขตรูปทรงกลม (Sphere) ซึ่งมีขั้ว
เดียวเป็นขั้วศูนย์กลาง ในรูปที่ 24 เราแสดงแนวระนาบอัน
หนึ่งของสนาม

รูปที่ 24

ถ้าสมมติว่าเรามีขั้วเดียวอีกอันหนึ่ง n ซึ่งเช่นขั้วเหนือขั้วเดียว คือมีแต่อำนาจ
แม่เหล็กชนิดหนึ่ง ไม่มีอำนาจชนิดใดด้วยเลย (ตามความจริงมีไม่ได้แต่จะ
สมมติว่ามี) และถ้าขั้วเดียว A ก็เป็นขั้วเหนือ n จะได้รับแรงผลักดันให้เคลื่อนที่
ตรงออกไปตามแนวรัศมีของรูปทรงกลม อาณาเขตของสนามและทิศตามแนวรัศมี
ของการเคลื่อนที่ของ n ก็จะเป็นวงกลมที่เขียนไว้ที่ n ถ้าเราสามารถทำให้ n
เคลื่อนที่ไถ่ตรงๆ n จะเคลื่อนตามแนวตรงแล้วและเคลื่อนที่ออกไปจากขั้วชนิดหนึ่ง
แนวซึ่งขั้วเหนือเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก เราให้ชื่อว่าเส้นของแรงแม่
เหล็ก (Magnetic Lines of Force) และทิศที่ขั้วเหนือเคลื่อนที่เรียกว่า ทิศของ
เส้นของแรง (Direction of the Lines of Force).

ขอให้คิดให้จงว่า สนามแม่เหล็กเป็นอาณาเขต ฉะนั้นไม่มีเส้นของแรง
แต่ที่พวกเส้นของแรงก็เพื่อความสะดวกในการเขียนรูปและเพื่อสะดวกในการมีหน่วย
ในการคำนวณ เพราะต่อไปในวิชาชั้นสูงจะต้องพวกันถึงว่า สนามใดสนามหนึ่งมี
เส้นของแรงกี่เส้น ถ้าหากเปรียบเทียบกับเทียนไขดวงหนึ่งทุกอยู่ อาณาเขตที่แสง
สว่างจากเทียนไขส่องแสงไปถึงได้ ก็อาจจะเรียกได้ว่า สนามแสงสว่างของเทียนไข
แต่เมื่อใดจะต้องการเขียนรูปแสดงสนามเราก็ต้องไปเขียนเป็นพู่กันรังสีของแสงสว่าง
(Pencils of Rays)

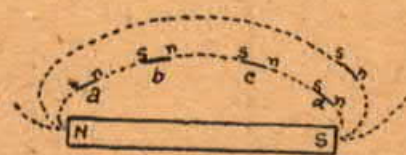
ถ้ามีขั้วใดขั้วเดียว เช่น ๘ ขั้วใกล้เคียงเห็นขั้วเดียว A ขั้วใดขั้วเดียวจะเคลื่อนที่
ในแนวเดียวกันกับขั้วเห็นขั้วเดียวเคลื่อนที่ แต่ คนละทิศ คือในทิศพุ่งหรือวิ่งเข้า
หาขั้วเดียว A ซึ่งมีอำนาจชนิกเห็นขั้ว แต่ ทิศของเส้นของแรงเรือดทิศของการ
เคลื่อนที่ของขั้วเห็นขั้วเดียว เสมอ

เมื่อตามความแรงมีขั้วเห็นขั้วเดียวหรือขั้วใดขั้วเดียวไม่ได้ เราจึงต้องใช้เข็มทิศ
ขนาดเล็ก (ดูข้อ ๑๓) แทน เข็มทิศขนาดเล็กนั้นชื่อว่า Exploring needles และ
เข็มทิศนี้จะวางตัวเป็นแทนเจน (tangent) กับเส้นของแรง ถ้าเส้นของแรงเป็นเส้น
ตรง (เช่นเส้นของแรงที่เกิดจากขั้วเดียว) เข็มทิศก็จะอยู่ในแนวเส้นของแรงนั้นเอง
แต่ถ้าเส้นของแรงเป็นเส้นโค้งก็จะไ้เวียนต่อไป เข็มทิศก็จะวางตัวเป็นแทนเจน
กับแนว ของเส้นของแรงนั้น ส่วนทิศของเส้นแรงก็คือทิศขั้วเห็นขั้วเดียวของเข็มทิศ
ขนาดเล็กนั้นเอง

หมายเหตุ เรืองแนวและทิศนี้จะต้องเข้าใจให้ถี่ แนวจึงคือเส้นและในแนว
หนึ่ง ๆ ใดๆ หนึ่ง ในแนวนั้นอาจจะเคลื่อนที่ไปได้ ๒ ทิศ ไปทางซ้ายหรือทางขวา แต่ถ้า
กำหนดทิศของการเคลื่อนที่ลงไป เช่น ใช้ลูกศรชี้ การเคลื่อนที่ทั้งแนวและทิศ
จากทิศมีขั้วใดขั้วเดียว

20. เส้นของแรงในสนามแม่เหล็ก

เส้นของแรงซึ่งเกิดจากขั้วเดียว จะเป็น
ดังที่เขียนไว้ในรูปที่ ๒๔ คือเป็นเส้นวงสฟ
ตรงออกมาจากขั้วเดียว แต่ขั้วเดียวจริงไม่ได้



รูปที่ 25

แม่เหล็กจะต้องมี ๒ ขั้ว คือ ขั้วเหนือและขั้วใต้อยู่พร้อมกันเสมอ ฉะนั้นเราจะต้อง
นึกต่อไปว่า เส้นของแรงที่เกิดขึ้นในสนามของแท่งแม่เหล็กจะมีรูปร่างอย่างไร

สมมติว่าแม่เหล็ก NS และเราต้องการทราบว่าเส้นของแรงในสนาม
ของแม่เหล็กแท่งนี้จะปรากฏเป็นอย่างไร ลองคิดถึงรูป a ในรูปที่ 25 เข็มทิศขนาด
เล็กวางอยู่ที่ a จะได้รับแรง 4 แรง คือ



รูปที่ 26

ขั้ว N ผลักขั้ว n

ขั้ว N ดึงขั้ว s

ขั้ว S ดึงขั้ว n

ขั้ว S ผลักขั้ว s

แรงทั้ง 4 นี้เมื่อรวมกันเข้าแล้ว จะทำให้เข็มทิศ ns วางตัวตามแนวตั้งในรูป
ที่ 25 หรืออย่างที่จะขยายส่วนเพื่อให้ชัดในรูปที่ 26 ถ้าลองยกข้อ ๆ ออกหลาย
จุดเช่น b, c, d, ... (ในเส้นของแรงอื่น ๆ) จะได้แนวของเข็มทิศวางตัวใน
แนวต่าง ๆ กัน ในรูปที่ 25 และถ้าลองเขียนเส้นเพื่อให้เข็มทิศต่าง ๆ ตกเป็นแทนแทน
กับส่วนโค้งนั้นจะได้เส้น เช่น NabcdS เส้นนี้คือ เส้นของแรงเส้นหนึ่งในสนาม
แม่เหล็กที่เกิดจากแท่งแม่เหล็ก NS

ถ้าทดลองวางเข็มทิศในที่อื่น ๆ อีกบ้างจะ ได้เส้นของแรงเส้นอื่น ๆ กันได้เขียน
เพิ่มไว้อย่าง อีกสองเส้น ในรูปที่ 25 แต่ถ้าต้องการเส้นของแรงทั้งสนามจะต้องใช้วิธี
ที่จะกล่าวต่อไปในข้อ 21 และ 22 เราจะเห็นว่า ในสนามของแม่เหล็กเส้นของ
แรงจะไม่เป็นเส้นตรงเสมอไปทุกตอน เส้นของแรงจะเป็นเส้นตรงบ้าง โค้งบ้าง และ
เส้นโค้งก็จะมีความโค้งต่าง ๆ กันในส่วนต่าง ๆ

เส้นของแรงที่ได้อธิบายไว้ เขียนให้มาอยู่ที่ปลายของแท่งแม่เหล็กแต่ความ
จริง เส้นของแรงจะมีต่อไปภายในแท่งของแม่เหล็กและมาไหลออกทางอีกปลายหนึ่ง
ฉะนั้นเส้นของแรง ส่วนมากจะ ควบเป็นวงพอที่ เส้นของแรงส่วนที่อยู่นอกแท่งแม่เหล็กจะ

เส้นของแรงภายนอก (External Lines of Force) และเป็นเส้นในสนามแม่เหล็ก
ภายนอก ส่วนเส้นของแรงส่วนที่อยู่ภายในแท่งเรียกว่า เส้นของแรงภายใน
(Internal Lines of Forces) และเป็นเส้นในสนามภายใน เส้นของแรงภายใน
ไม่มีความสำคัญมากนัก และเมื่อพูดถึงเส้นของแรงแม่เหล็ก หมายถึงเส้นของแรง
ภายนอกเสมอ (ข้อ 18)

โดยเหตุที่เข็มทิศวางตัวเป็นแท่งฉากกับเส้นของแรงทุกทิศทุกแห่ง เข็ม
ทิศทั้งสองทางพร้อม ๆ กันไม่ได้ ฉะนั้น ทิศทุกทิศทุกแห่ง เส้นของแรงสองเส้นจะ
ตัดกันไม่ได้ เรื่อนี้จะเห็นได้ชัดจากรูปที่ 27 สมมติว่า ab และ cd เป็นเส้นของ
แรงสองเส้น ตัดกันที่ O เข็มทิศวางตัวที่ O จะตั้งวางตัวไปตามแนว ab และตาม
แนว cd ในขณะเดียวกัน ซึ่งเป็นไปไม่ได้ แต่ถ้าเข็มทิศวางตัวในแนวใดแนว
หนึ่งระหว่างมุม bo od ก็หมายความว่า เข็มทิศไม่ได้
อยู่ในแนวที่เป็นแท่งฉากกับเส้น ab และ cd ฉะนั้น
รูปที่ 27 เส้น ab และ cd ไม่ใช่เส้นของแรง ตามความจริง

ถ้าเส้นของแรง 2 ชุดมาใกล้กันจะเลี้ยวใกล้กันหรือเบี่ยงห่างกันเป็นเส้นของแรงชุด
เดียว และจะไม่ตัดกันเลยดังจะได้เห็นต่อไปในข้อ 22

21. วิชเชยเส้นของแรง

เส้นของแรงเป็นเส้นสมมุติในสนามแม่เหล็ก และมีอยู่โดยรอบแท่งแม่เหล็ก
ก็ต่อเมื่อเอาแม่เหล็กมาวางลงบนหน้ากระดาษ เส้นของแรงตามผิวของหน้ากระดาษก็มี
เส้นของแรงในอากาศเหนือหน้ากระดาษและใต้หน้ากระดาษก็มี เมื่อเราเขียนเส้น
ของแรงบนหน้ากระดาษก็แปลว่า คิดแต่ระนาบอันเดียวของสนาม และเส้นจริงปรากฏ
ออกมาก็ไม่ได้ปรากฏออกมาสำหรับเส้นของแรงทุกเส้นที่มีอยู่ ปรากฏออกมาแต่

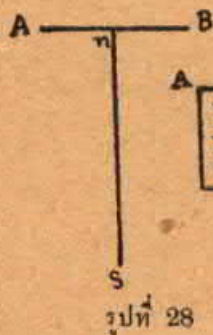
เพียงข้างเส้นเพื่อเป็นรูปอย่างคร่าว ๆ ว่า รูปร่างของเส้นของแรงในสนามนั้นมีลักษณะ
อย่างไรเท่านั้น.

วิธีเขียนเส้นของแรงที่ใช้กันอยู่มี ๒ วิธี

ก. ใช้ผงเหล็ก

เอาแม่เหล็กที่ต้องการหาเส้นของแรงวางบนโต๊ะ และเอากระดาษวางเขียน
วางทับบนแม่เหล็ก เอาผงเหล็ก (Iron filings) ที่แห้งโปรยลงบนแผ่นกระดาษ
และเคาะข้างกระดาษเบา ๆ ผงเหล็ก จะเรียงตัวตามแนวของเส้นของแรงและได้เส้นเป็น
เส้นโค้งจากปลายหนึ่งไปยังอีกปลายหนึ่งของขั้วแม่เหล็กนั้น การที่ผงเหล็กเรียงตัว
เช่นนั้น ก็เพราะว่าผงเหล็กเป็นเหล็กอ่อน และไ้ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นแม่เหล็กชั่วคราว
ขึ้น ฉะนั้นจึงแตกขั้วเป็นขั้วเล็ก ๆ หลาย ๆ อัน จึงเรียงตัวตามเส้นของแรง
ของแท่งแม่เหล็กนั้น รูปที่ 32 เป็นแนวของเส้นของแรงที่เกิดจากแท่งแม่เหล็ก รูป
ที่ 31 เป็นแนวของเส้นของแรงที่เกิดจากแม่เหล็กรูปเกือกม้า

ถ้าต้องการสนามที่เกิดจากขั้วเดียว เราจะทำให้ขั้วอย่างใดก็ได้โดยเอาแม่
เหล็กแท่งเล็กยาว n.s วางตามแนวตั้งและเอากระดาษ AB วางตามแนวนอนชนปลาย
แหลมของแท่งนั้น และโปรยผงเหล็กข้างบนกระดาษ ในรูปที่ 28 เส้นของแรงที่
ปรากฏเป็นเส้นที่เกิดจาก Point Pole ชนิดเหนือ ทิศของเส้นของแรงจึงพุ่งออก
จาก Point Pole ดังรูป.



ขอให้สังเกตว่า ถ้าใช้ผงเหล็ก จะไม่มีผงเหล็ก
เรียงตัวเป็นเส้นเหนือคอนที่แม่เหล็กอยู่ข้างใต้ เพราะ
คอนนั้นสนามแม่เหล็กจะเป็นสนามภายในแท่ง ฉะนั้น ไม่มี
อำนาจอะไร ยังคงให้ผงเหล็ก เรียง ตัวตามผิว ของหน้ากระ
ดาษ แต่ถ้าแม่เหล็กมีกำลังแรงพออาจจะทำให้ผงเหล็กตั้ง

ตัวโนแนวตั้ง คือ อยู่ในเส้นของแรงที่อยู่เหนือหน้ากระจกนั้นเอง

ข. ใช้เข็มทิศขนาดเล็ก

เอากระจกวางเขียนขนาดใหญ่ว่าพอสมควรมาแผ่นหนึ่ง วางบนโต๊ะ แล้วเอาแท่งแม่เหล็ก NS ที่เรากำลังการทราบแนวของเส้น ของ แรงวางที่บนกระจก ประมาณกึ่งกลางของหน้า ขีดเส้นรอยแท่งแสดงขอบของแท่งแม่เหล็ก เอาเข็มทิศขนาดเล็ก ๓๓ มาอันหนึ่ง และวางเข็มทิศใกล้ปลายเหนือของแม่เหล็ก เอาดินสอจิกไว้บนหน้ากระจก ๒ จุด a, b เพื่อแสดงว่า ขั้วใดและเหนือของเข็มทิศอยู่ที่ไหน แล้วเลื่อนเข็มทิศ เพื่อให้ขั้วใดที่จุด b เอาดินสอจิกไว้ว่า ขั้วเหนืออยู่ที่ไหน สมมุติว่าอยู่



รูปที่ ๒๙

ที่จุด c แล้วเลื่อนต่อไปเพื่อให้ขั้วใดที่จุด c ทิศที่ d, e, f. ค่อยไปตามลำดับเราจะได้เส้น เช่น N a b c d e f... S ซึ่งจะมาหยุดที่ปลายใต้ของแท่งแม่เหล็ก เมื่อทำหมดแล้วควรลากเส้นโค้งผ่านทุกข้างๆ เหล่านั้น เพื่อไม่ให้ปนกับขั้วอื่น ๆ เมื่อหาเส้นต่อๆ ไปของสนาม เมื่อลากเส้นผ่านทุกข้างๆ อาจจะต้องเอาแม่เหล็กออกไป แต่เรามีขอบอยู่แล้วว่า แม่เหล็กอยู่ที่ไหน ฉะนั้นจะวางเข้าที่เมื่อไรก็ได้.

ถ้าใช้วิธีเขียนเส้นของแรงตามวิธีนี้ จะกินเวลามากแต่ได้ผลดีกว่าวิธีใช้ผงเหล็ก เพราะได้เส้นจริง ๆ บนหน้ากระจกไม่ลบหายไป.

๒๒. เส้นของแรงในสนามที่เกิดจากแม่เหล็กแบบต่างๆ

เส้นแรงที่มีอยู่ในสนามที่เกิดจากขั้วเดียว จากแม่เหล็ก ๑ แท่งหรือแม่เหล็ก ๒

แต่ทั้ง วาดในท่าต่าง ๆ เป็นเรื่องให้นักเรียนควรระมัดระวังทิศทางของ $\vec{B}$ ในทันทีแสดงแต่รูป เพื่อเป็นหลักจำแบบของเส้นของแรงในสนามต่าง ๆ เท่านั้น

รูปที่ 30 สำหรับขั้วเหนือเดี่ยว

รูปที่ 31 สำหรับแม่เหล็กเกือกม้า

รูปที่ 32 สำหรับแม่เหล็กแท่ง 1 แท่ง

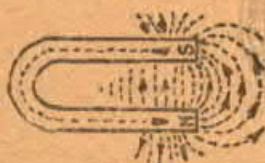
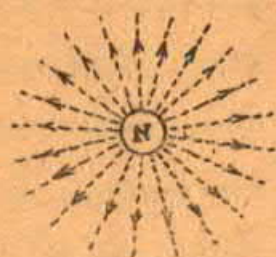
รูปที่ 33 สำหรับแม่เหล็กต่างขั้ววางใกล้กัน

รูปที่ 34 สำหรับขั้วชนิกเดียวกันวางใกล้กัน

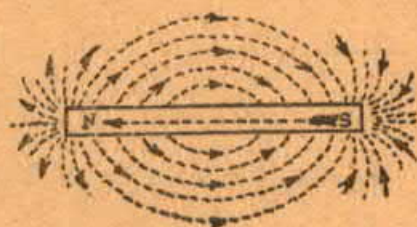
รูปที่ 35 สำหรับแม่เหล็ก 2 แท่งวางขนานกัน ขั้วสลับกัน

รูปที่ 30

รูปที่ 36 สำหรับแม่เหล็ก 2 แท่งวางขนานกัน ขั้วชนิกเดียวกันอยู่ใกล้กัน



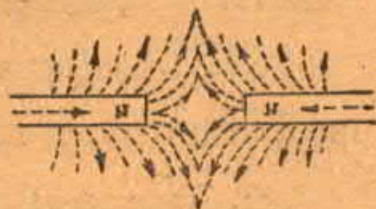
รูปที่ 31



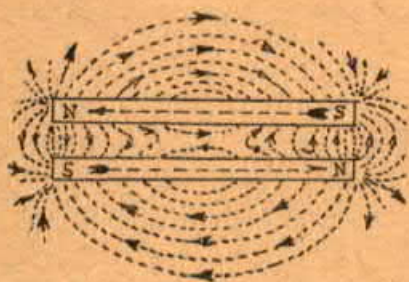
รูปที่ 32



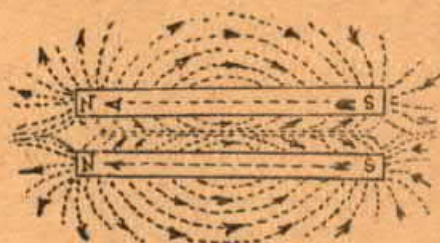
รูปที่ 33



รูปที่ 34



รูปที่ 35



รูปที่ 36

ในรูปต่าง ๆ ที่กล่าวแล้ว ลมศึกษาเส้นแรงแม่เหล็กแนวทวนเหนือเคียวจะเคลื่อน
และถ้าพิจารณาการต่าง ๆ จะเห็นว่า ไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กสองเส้นคั่นกันที่ใดเลย เมื่อใด
เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วขั้วใกล้เคียงกัน เส้นแรงแม่เหล็กจะเคลื่อนกันไปเลย และเส้นแรงแม่เหล็ก
จากขั้วขั้วใกล้เคียงกันจะผลักกันหากกันดังในรูปที่ 34 และ 36

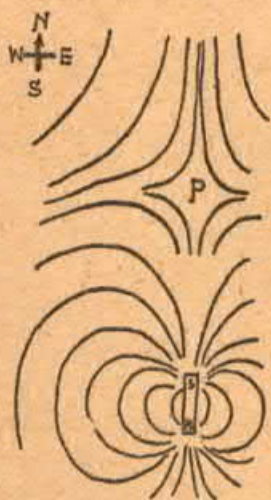
23. สนามแม่เหล็กของโลก

เรื่องอำนาจแม่เหล็กของโลกจะกล่าวถึงอีกในบทต่อไป แต่ในที่นี้จะ
อธิบายไว้เล็กน้อยก่อน โลกแสดงตัวคล้าย ๆ กันว่ามีแม่เหล็กใหญ่อยู่แห่งหนึ่งภายใน
ในบริเวณภายในโลกและบริเวณบรรยากาศรอบโลกเป็นสนามแม่เหล็กของโลก เส้น
ของแรงในสนามแม่เหล็กของโลกสำหรับทำขั้วโลกทั้งสอง เป็นเส้นขนานจากขั้ว
ใต้มาขั้วเหนือ และทิศของเส้นของแรงแม่เหล็กของโลกชี้จากทางทิศใต้มาทิศเหนือ
สนามแม่เหล็กอันใดมีแนวของเส้นของแรงขนานกันโดยตลอดทุกเส้น ก็ถือว่าเป็น
สนามเอกรูป (Uniform field.) สนามแม่เหล็กของโลกเป็นสนามเอกรูปเฉพาะ
ทำขั้ว ๆ แต่ถ้าเป็นส่วนรวมแล้วก็คล้ายสนามแม่เหล็ก 1 แท่ง (รูปที่ 49)

เมื่อเขียนแนวของเส้นของแรงสำหรับแม่เหล็กต่าง ๆ ในข้อ 22 รูปต่าง ๆ นั้น
ก็น่าจะเห็นว่าไม่มีสนามแม่เหล็กอันใดอยู่ใกล้เคียง เป็นสนามที่เกิดจากแม่เหล็กโดย

เฉพาะ และในระยะใกล้ๆ แท่งแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กจะเป็นอย่างที่เราแสดงไว้ในรูปที่ 30 — 36 uring

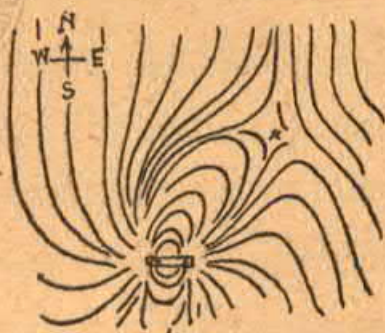
แต่ไม่มีที่ใดในโลกที่ไม่อยู่ในสนามแม่เหล็กของโลก ฉะนั้นตามความจริง สนามแม่เหล็กที่เกิดจากแม่เหล็กอาวเรสหรืออาวเรสก็กับสนามแม่เหล็กของโลก โดยเฉพาะในระยะที่ห่างจากแม่เหล็ก ฉะนั้นถ้าเราคำนึงถึงสนามแม่เหล็กของโลก กว้างแล้ว สนามแม่เหล็กรอบๆ แท่งสำหรับขั้วเดียว แม่เหล็กแท่งเดียววางในท่าต่างๆ จะเป็นดังแสดงในรูปที่ 37, 38, 39



รูปที่ 38



รูปที่ 37



รูปที่ 39

ขอให้สังเกตว่าในระยะใกล้ๆ แท่ง สนามแม่เหล็กจะมีลักษณะไม่ผิดจาก รูปในข้อที่ถัดมา เฉพาะระยะที่ห่างออกมาเท่านั้นจึงจะมีแนวแม่เหล็กของโลกเข้ามาแทรกแซง

ทุก ๆ รูปเราจะได้จุดเช่น P ซึ่ง ณ ที่นั้นแรงจากแม่เหล็กชักกันหรือฆ่าดูชัก
กับแรงของโลกพอดี ถ้าเป็นขั้วเหนือเดียวจะมีจุดเช่นนั้น 1 แห่ง ถ้าเป็นแท่งแม่เหล็กจะ
มีจุดเช่นนั้น 2 แห่ง ในรูปที่ 38 จะมีจุดชนิดนี้ที่ใดตัว n อีกแห่งหนึ่ง (ไม่ได้แสดง
ในรูป) และในรูปที่ 39 จะมีจุดชนิดนี้อยู่ทางตะวันตกเฉียงใต้ อีกแห่งหนึ่ง (ไม่
ได้แสดงในรูป) จุดที่อ่านาจากแม่เหล็กชักหรือฆ่าดูชักกับแรงแม่เหล็กของโลกพอดี
นี้เรียกว่า จุดสะเทิน (Neutral point)

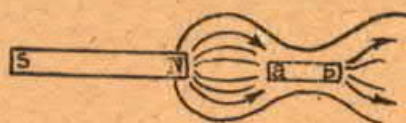
จุดสะเทินเกิดขึ้นเพราะอะไร ? ในวิชากลศาสตร์ นักเรียนได้เรียนแล้วว่า
ถ้ามีแรง 2 แรงมีค่าเท่ากัน อยู่ในแนวเดียวกัน แต่ในทิศตรงข้ามกัน แรงทั้งสอง
จะฆ่าดูชักกันจนหมด ได้แรงรวมเป็นศูนย์ ในที่นี้แรงจากแม่เหล็กที่ส่งแรงมายังจุด
 P มีค่าเท่ากับแรงแม่เหล็กของโลกที่ส่งมายังจุด P อยู่ในแนวเดียวกัน แต่ในทิศตรง
กันข้ามกับแรงแม่เหล็กของโลก แรงจากแม่เหล็กจึงฆ่าดูชักกับแรงแม่เหล็กของโลก
พอดี แรงรวมเป็นศูนย์และเราเรียกจุดนั้นว่า จุดสะเทิน

เมื่อ ณ จุดสะเทิน แรงแม่เหล็กไม่มี คือแรงแม่เหล็กเป็นศูนย์เข้มทิศ
ขนาดเล็กลงอยู่ ณ จุดสะเทินจะไม่อยู่ในบังคับของแรงอันใดเลย และจะไม่วางตัว
ในแนวเหนือใต้ หรือในแนวของเส้นของแรงอันใด เพราะ ณ จุดสะเทินไม่มีเส้น
ของแรง เข้มทิศ ณ จุดสะเทินจะวางตัวตามแนวอะไรก็ได้ ไม่อยู่ในบังคับของ
แรงแม่เหล็ก

นักเรียนควรจะทดลองหาเส้นของแรงของแม่เหล็กแท่งหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่ง
แท่ง วางในท่าต่างๆ จากที่แสดงในรูป และคำนึงถึงแรงของแม่เหล็กของโลกที่เข้ามา
แทรกแซงด้วย เพื่อหาจุดสะเทิน

24. ความซาบซึมได้

ถ้าเอาแม่เหล็ก NS มาแท่งหนึ่ง และเอาเหล็กอ่อน ab มาวางเพื่อให้ความยาวอยู่ในเส้นตรงอันเดียวกัน แต่ห่างกันพอสมควร และลองเอากระดาษวางทับบนแท่งทั้งสอง และโปรยผงเหล็ก เพื่อหาเส้นของแรงจะได้ผลดังในรูปที่ 40 ก็จะได้ปรากฏ

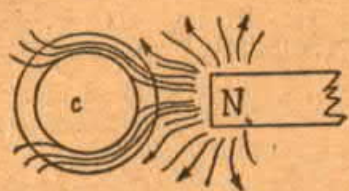


รูปที่ 40

ว่า เส้นของแรงที่ควรผ่านไป ในอากาศจะวกเข้าหาแท่งเหล็กอ่อน และเมื่อพุ่งออกจากอีกปลายหนึ่งแล้ว จึงจะวนต่อไปตามแรงที่ควรเป็นไป ฉะนั้น เสมือนกับว่าเส้นของแรงชอบที่จะผ่านเข้าไปในเหล็กอ่อนมากกว่าที่จะผ่านไป ในอากาศ หรือจะพูดว่าเหล็กอ่อนนำเส้นของแรงได้ดีกว่าอากาศก็ได้ การที่เส้นของแรงชอบผ่านเข้าไปในเนื้อธาตุของเหล็กอย่างนั้น เราเรียกว่า ความซาบซึมได้ (Permeability) ของเหล็กอ่อน

ในเรื่องการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก การที่เหล็กอ่อนที่อยู่ใกล้แท่งแม่เหล็กมีอำนาจแม่เหล็กเกิดขึ้นโดยการเหนี่ยวนำนั้น เราจะได้ว่าเป็นเพราะเส้นของแรงจากแม่เหล็กพุ่งเข้าทางปลาย a และพุ่งออกทางปลาย b เลยทำให้แท่ง ab แสดงคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กได้ ตามหลักของการเหนี่ยวนำ ปลาย a ในรูปที่ 40 จะมีอำนาจขั้วได้ ปลาย b จะมีอำนาจขั้วเหนือ ฉะนั้นถ้าเราใช้หลักของการซาบซึมของเส้นแรงภายในแท่งเหล็กอ่อนเพื่อบอกชนิดของขั้วแล้วเราก็บอกได้ว่า “ปลายที่ทิศของเส้นของแรงพุ่งเข้าจะเป็นขั้วได้ ปลายที่ทิศของเส้นของแรงพุ่งออกจะเป็นขั้วเหนือ”

ถ้าแทนที่จะเอาแท่งเหล็กอ่อน เช่น ab วางหน้าขั้วของแม่เหล็กเราเอาแท่งเหล็กอ่อนเป็นวงแหวนวางไว้ดังในรูปที่ 41 เส้นของแรงจากขั้วแม่เหล็กจะเข้าขั้วและผ่านโค้งไปตามเนื้อเหล็ก ที่ว่าง c ภายในของวงแหวนจะไม่มีเส้นของแรงผ่านเลย และ



รูปที่ 41

จะไม่เกิดอำนาจแม่เหล็กภายในนั้น คือเข็มทิศที่อยู่ในนั้น จะไม่ชี้ตามแนวอันใดอันหนึ่งเลย จะวางตัวตามแนวที่ไม่มีผลึกเกิดที่เหมือนกับที่ทุกส่วในวงแหวน เช่นแท่งสกรูที่ทำหน้าทีเป็นฉากแม่เหล็ก (Magnetic Screen) ณ ที่ใดที่เราก็นำไม้ที่มีเส้นของแรงของแม่เหล็กผ่านเลย เราเรียกมันว่าฉากแม่เหล็ก

35. กฎกำลังสองผกผัน, ความหมายของหน่วยขั้ว

กฎกำลังสองผกผัน (Inverse square law) เป็นกฎที่มีความสำคัญในวิชาวิทยาศาสตร์มาก เพราะปรากฏการณ์ธรรมชาติหลายอย่างเป็นไปตามกฎกำลังสองผกผัน เช่น ความเข้มแห่งความส่องสว่างของแสงลดลงตามระยะทางกำลังสอง เป็นต้น

สำหรับในเรื่องแม่เหล็ก แรงดึงดูดระหว่างแม่เหล็กก็จะเป็นไปตามกฎกำลังสองผกผัน ได้มีนักวิทยาศาสตร์ทดลองกันแล้ว ถ้าแม่เหล็ก 2 ขั้ววางห่างกันเป็นระยะ r เซนติเมตร และเกิดแรงดึงดูด (หรือแรงผลัก) จำนวนหนึ่งแล้ว เมื่อเราเพิ่มระยะห่างระหว่างขั้วเป็น $2r$ เซนติเมตร แรงดึงดูดจะลดลงเป็น $\frac{1}{4}$ ของเดิม หรือ $\frac{1}{2^2}$ ของเดิม ถ้าเพิ่มระยะห่างระหว่างขั้วเป็น $3r$ เซนติเมตร แรงดึงดูดจะลดลงเป็น $\frac{1}{9}$ ของเดิม หรือ $\frac{1}{3^2}$ ของเดิม ถ้าเพิ่มระยะห่างระหว่างขั้วให้เป็น $\frac{r}{2}$ เซนติเมตร แรงดึงดูดจะเพิ่มเป็น 4 เท่าของเดิม คือ $\frac{1}{(\frac{1}{2})^2}$ หรือ 4 เท่าของเดิม ฉะนั้นโดยทั่ว ๆ ไป เราจึงพูด

ได้ว่าแรงดึงดูดเปลี่ยนแปลงไปตามกฎกำลังสองผกผัน

ถ้าให้ F เป็นแรงดึงดูดระหว่างขั้วหนึ่ง

และให้ r เซนติเมตรเป็นระยะห่างระหว่างขั้วนั้น

$$\text{เราจะได้ } F \propto \frac{1}{r^2}$$

ในค่านำลึงทขวของแม่เหล็ก ถกทดลองได้อีกว่า ถ้าแม่เหล็ก ๒ ขั้ว และเกิดแรงดึงดูด (หรือแรงผลั) เป็นจำนวนหนึ่งแล้ว ถ้าเราเพิ่มกำลังทขวอนหนึ่งเป็น ๒ เท่าของเดิม แรงดึงดูดจะเพิ่มเป็น ๒ เท่า ถ้าเพิ่มกำลังทขวอนหนึ่งเป็น ๕ เท่าของเดิม แรงดึงดูดจะเพิ่มเป็น ๕ เท่า แต่ถาเพิ่มกำลังทขวอนหนึ่งเป็น ๕ เท่าของเดิม และเพิ่มกำลังทขวอนหนึ่งเป็น ๒ เท่าของเดิม แรงดึงดูดจะเพิ่มเป็น ๑๐ เท่า หรือ (5×2) เท่าของเดิม โดยทั่วไป แรงดึงดูดจะเพิ่มหรือลด ตามผลคูณของกำลังทขวทเพิ่มชน

ถ้าให้ F เป็นแรงดึงดูดระหว่างขั้วหนึ่ง

m_1 เป็นกำลังของขั้วหนึ่ง

m_2 เป็นกำลังของขั้วอีกอันหนึ่ง

$$\text{เราจะได้ } F \propto m_1 m_2$$

โดยส่วนรวม ถ้าแม่เหล็กขั้วเดียวมี ๒ ขั้ว มีกำลัง m_1 และ m_2 และวางห่างกันเป็นระยะ r แล้ว

$$\text{เราจะได้ } F \propto \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

แรงจะเป็นแรงอะไร ย่อมต้องแล้วแต่ชนิดของขั้ว ถ้าเป็นขั้วชนกเดียวกัน แรงที่เกิดขึ้นเป็นแรงผลั ถ้าเป็นขั้วต่างชนิดกัน แรงที่เกิดขึ้นจะเป็นแรงดูด

มาตรฐานของหน่วยขั้ว (Unit Magnetic Pole) เพื่อเป็นหลัก สำหรับเปรียบเทียบ และวัดกำลังทขว นักวิทยาศาสตร์ได้วางมาตรฐานไว้ดังนี้

ถ้ามีมวลสองก้อนวางห่างจากกันเป็นระยะ 1 เซนติเมตร ในอากาศ และเกิดแรงดึงดูด (หรือแรงผลักร) ระหว่างกันเป็นแรง 1 ดายน์ (dyne) แล้วมวลของก้อนหนึ่งเรียกว่า เป็นมวลมาตรฐาน 1 หน่วยมวล
หมายเหตุ ดายน์เป็นหน่วยแรงอีกชนิดหนึ่ง และแรง 981 ดายน์ มีค่าเท่ากับ แรง 1 กรัม

จากกฎภาคข้างบน เราจะเขียนตามหลักพีชคณิตได้ว่า

$$F = k \cdot \frac{m_1 \times m_2}{r^2} \dots \dots \dots (1)$$

เมื่อ k เป็นจำนวนค่าคงตัว (constant) จำนวนหนึ่ง จากมาตรฐานของ หน่วยมวล สมมติว่า มีมวล 2 มวล ก้อนหนึ่งวางห่างจากกัน เป็นระยะ 1 เซนติเมตร ในอากาศแล้ว แรงที่เกิดขึ้นจะเป็น 1 ดายน์

$$m_1 = 1 \text{ หน่วยมวล}$$

$$m_2 = 1 \text{ หน่วยมวล}$$

$$r = 1 \text{ เซนติเมตร}$$

$$F = 1 \text{ ดายน์}$$

$$\therefore 1 = k \times \frac{1 \times 1}{1^2}$$

นั่นคือ ถ้ามวลแม่เหล็กวางอยู่ในอากาศ $k = 1$

ฉะนั้นสูตร (1) จึงเปลี่ยนเป็นสูตรทั่วไปได้ว่า

$$F = \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

ถ้ามวลของแม่เหล็กวางอยู่ในอากาศและ

แรง F ที่เกิดขึ้นคือเป็นหน่วย ดายน์

m_1, m_2 เป็นกำลังยกเป็นหน่วยมวล

r เป็นระยะทางระหว่างสองก้อน คือเป็น เซนติเมตร

ตัวอย่าง 1 แม่เหล็กสองขั้วมีกำลังขั้ว 48 และ 30 หน่วยขั้วตามลำดับ
วางห่างกัน 12 เซนติเมตรในอากาศ จงหาแรงระหว่างขั้วทั้งสอง

$$\text{กําลังดึงดูด } F = \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

$$m_1 \text{ เป็นกำลังขั้วของขั้วแรก} = 48 \text{ หน่วยขั้ว}$$

$$m_2 \text{ เป็นกำลังขั้วของขั้วที่สอง} = 30 \text{ หน่วยขั้ว}$$

$$r \text{ เป็นระยะทางระหว่างขั้วทั้งสอง} = 12 \text{ เซนติเมตร}$$

$$\therefore \text{แรงที่เกิดขึ้น } F = \frac{48 \times 30}{12^2} \text{ กายน์}$$

$$= 10 \text{ กายน์}$$

ตัวอย่าง 2 แม่เหล็กสองขั้ววางห่างกัน 4 นิ้ว เกิดแรงดูด 63 กายน์
ถ้าจะให้เกิดแรงดูด 112 กายน์ จะต้องวางใหม่ให้ห่างกันกี่นิ้ว

ให้ x, y เป็นกำลังขั้วของแม่เหล็กทั้งสองตามลำดับ

$$\text{สมมติว่า 1 นิ้ว} = a \text{ ซม.}$$

$$\therefore \text{สำหรับตอนแรก } F = \frac{x \times y}{(4a)^2} = 63$$

$$\frac{xy}{a^2} = 63 \times 4 \times 4$$

สำหรับตอนหลัง สมมติว่าต้องวางใหม่ให้ห่างกัน b นิ้ว

$$\therefore F = \frac{xy}{b^2 a^2}$$

$$\therefore 112 = \frac{x \cdot y}{a^2} \cdot \frac{1}{b^2}$$

$$b^2 = \frac{63 \times 4 \times 4}{112}$$

$$b = 3 \text{ นิ้ว}$$

คือ ต้องวางใหม่ให้ห่างกัน 3 นิ้ว

26. ความเข้มแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก

จากข้อ 25 เราขอมทราบอยู่แล้วว่า ณ จุดต่างๆ ในสนามแม่เหล็กจะมีแรงต่างๆ กัน ถ้าแม่เหล็กเป็นแท่งเดียวกัน จุดที่อยู่ใกล้แท่งแม่เหล็กจะได้รับแรงมาก จุดที่อยู่ไกลออกไปก็ได้รับแรงน้อยลง นอกจากนั้น ถ้ากำลังที่กระทำต่อแม่เหล็ก 2 แท่ง มีค่าต่างกัน ณ จุด 2 จุดซึ่งอยู่ห่างจากปลายของแม่เหล็กทั้งสองเท่าๆ กัน ก็จะได้รับแรงต่างๆ กันด้วย

แรงตามจุดต่างๆ ในสนามแม่เหล็กนี้เราเรียกว่า ความเข้มแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก (Intensity in a magnetic field) และให้คำจำกัดความไว้ไว้ดังนี้:—

“ความเข้มแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก ณ จุดใดจุดหนึ่ง คือ แรงที่เกิดขึ้นแก่ขั้วเคียวกำลัง 1 หน่วยขั้ววางอยู่ ณ ที่นั้น”

ถ้าขั้วเคียวกำลัง 1 หน่วยขั้ววางอยู่ ณ จุดหนึ่งในสนามแม่เหล็กและเกิดแรง 1 คาบใน สนามแม่เหล็ก ณ ที่นั้นมีความเข้ม 1 เกาส์ (Gauss) ในทำนองเดียวกัน ถ้าเราได้ว่า ณ จุด ใดๆ หนึ่งมีความเข้มของสนามแม่เหล็กเท่ากับ 0.5 เกาส์ ก็หมายความว่า ถ้าขั้วเคียวกำลัง 1 หน่วยขั้ววางอยู่ ณ ที่นั้น จะเกิดแรง 0.5 คาบนี้ แก่ขั้วเคียวหนึ่ง

หน่วยวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก เรียกว่า เกาส์ และก็หมายความว่า คาบนี้คือหน่วยขั้ว

ขอให้จำไว้ด้วยว่า ถ้าเป็นแรงกดหรือแรงผลัก ซึ่งเกิดจากขั้ว 2 ขั้วหรือมากกว่าแรงนั้นจะต้องใช้หน่วยเป็นคาบนี้ แต่ถ้าเป็นความเข้มของสนามหน่วยจะต้องใช้เกาส์ ความเข้มของสนามแม่เหล็กอาจจะพบเป็นจำนวนล้อยๆ ก็ได้ หน่วยไม่ต้องบอกเพราะเป็นทวิคูณ เช่น พบว่า ความเข้ม ณ จุด ใดๆ หนึ่ง ในสนามแม่เหล็กเป็น 0.18

27. วิเคราะห์ความเข้มในสนามซึ่งเกิดจากขั้วเดียว

สมมติว่า มีขั้วเดียว N กำลัง m หน่วยขั้ว และเราต้องการหาความเข้มที่จุด A ในสนามห่างจากปลาย N เป็นระยะ r เซนติเมตร การหาความเข้มที่จุด A ก็คือ สมมติว่า ที่จุด A มีขั้วเดียวกำลัง 1 หน่วยขั้ววางอยู่

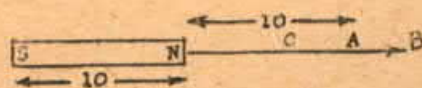
$$\therefore \text{แรงระหว่าง N กับ A} = \frac{m \times 1}{r^2} \text{ คาห์น}$$

$$= \frac{m}{r^2} \text{ คาห์น}$$

$$\therefore \text{ความเข้มที่จุด A ที่เกิดจากขั้ว N} = \frac{m}{r^2} \text{ เกาส์}$$

เราต้องสังเกตในการคำนวณ และถ้าต้องการหาความเข้ม ณ จุดหนึ่งในสนามที่เกิดจากแม่เหล็กแท่งหนึ่ง คือ มี 2 ขั้ว ก็คิดหาแต่ละขั้ว และคิดหาแรงรวมโดยวิธีลบล้างแรงตกกับแรงผลัดตามหลักพีชคณิต (ถ้าแรงทั้งสองอยู่ในแนวเดียวกัน) และหาแรงรวมตามหลักพีชคณิต (ถ้าแรงอยู่ต่างแนวกัน)

ตัวอย่าง 1 แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 10 ซม. มีกำลังขั้ว ๆ ละ 20 หน่วย หาคความเข้มของสนาม ณ จุด A ซึ่งตั้งอยู่บนแนวแกนห่างจากปลาย ออกมานอกแท่ง 10 ซม.



รูปที่ 42

สมมติว่า ที่จุด A มีขั้วหนึ่งกำลัง 1 หน่วยขั้ว

$$\therefore \text{แรงผลัดที่เกิดจากขั้ว N} = \frac{20}{10^2}$$

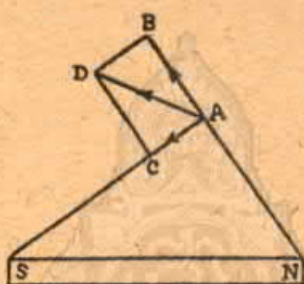
$$= 0.2 \text{ คาห์น ตามแนว AB}$$

$$\text{แรงตกที่เกิดจากขั้ว S} = \frac{20}{20^2}$$

$$= 0.05 \text{ คาห์น ตามแนว AC}$$

แรงจาก N พยายามผลักข้อเหวี่ยงไปตามแนว AB ด้วยแรง 0.2 คาบั้น แรง
จาก S พยายามดึงข้อเหวี่ยงไปตามแนว AC ด้วยแรง 0.05 คาบั้น ผลรวมก็คือ
แท่งแม่เหล็ก NS พยายามผลักข้อเหวี่ยงไปตามแนว AB ด้วยแรง 0.15 คาบั้น
นั่นคือ ความเข้มที่จุด A ในสนาม = 0.15 เกาส์

ตัวอย่าง 2 แม่เหล็กยาว 10 ซม. มีกำลังขั้ว 144 หน่วยขั้ว ใจหาความเข้มของ
สนาม ที่จุด A ซึ่งอยู่ห่างจากปลาย N 6 ซม. จากปลาย S 8 ซม.



รูปที่ 48

สมมติว่า ที่จุด A มีขั้วเหวี่ยงกำลัง 1 หน่วยขั้ว

$$\therefore \text{แรงผลักที่เกิดจากขั้ว N} = \frac{144}{6^2}$$

$$= 4 \text{ คาบั้น ตามแนว AB}$$

$$\text{แรงดูดที่เกิดจากขั้ว S} = \frac{144}{8^2}$$

$$= 2.25 \text{ คาบั้น ตามแนว AC}$$

$$\text{รวมแรงตามหลักวิชาคณิตศาสตร์ได้แรงรวม} = \sqrt{4^2 + 2.25^2}$$

$$= 4.59 \text{ คาบั้น ตามแนว AD}$$

$$\therefore \text{ความเข้มที่จุด A ในสนาม} = 4.59 \text{ เกาส์}$$

ถ้านักเรียนวิชาดาราศาสตร์แล้ว จะคำนวณได้ต่อไปว่า แนว AD นั้นทำมุม
อะไรกับแท่งแม่เหล็ก NS แต่ในที่นี้จะไม่คำนึงถึง เพราะต้องการทราบแต่ค่าของ
ความเข้ม

ตัวอย่าง 3 มีขั้วเหนือเพียงกำลัง 80 หน่วยขั้ว วางอยู่ในสนามแม่เหล็กของโลก
ปรากฏว่า ขั้วสะเทินอยู่ห่างจากขั้วมาทางทิศใต้ 20 ซม. ให้หาแรง
ความเข้มของแม่เหล็กของโลก

ก่อนอื่น หาว่าขั้วสะเทินควรมีความเข้มเท่าใด ความเข้มที่ขั้ว
สะเทิน (ถ้าไม่คิดถึงแรงแม่เหล็กโลก)

$$= \frac{80}{20^2} \text{ เกาส์}$$

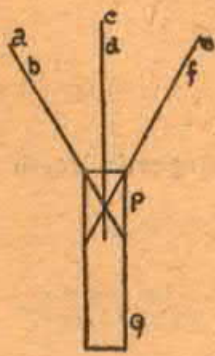
$$= 0.2 \text{ เกาส์}$$

ถ้าแม่เป็นขั้วสะเทิน ความเข้มก็ไม่มี ซึ่งหมายความว่า ความเข้ม 0.2 เกาส์
นี้ ไปฆ่าฤทธิ์ขั้วแรงความเข้มของแม่เหล็กโลกพอดี

∴ แรงความเข้มของแม่เหล็กของโลกเท่ากับ 0.2 เกาส์ (ข้อ 23)

28. แมกเนติกโมเมนต์

ถ้าแม่เหล็กเป็นแม่เหล็กแท่งเล็ก เส้นแรงที่เกิดขึ้นจะพุ่งออกจากปลายแท่งแม่
ถ้าแม่เหล็กเป็นชนิดแท่งใหญ่ เส้นแรงแถบปลายจะปรากฏเหมือนกันว่า พุ่งออกจาก
ทุก ๆ หนึ่งแถบปลายนั้น เวળนั้นแสดงให้เห็นชัดดังนี้ เอาแม่เหล็กมาอันหนึ่ง และ
วางไว้บนแผ่นกระดาษและสมมุติว่าจะใช้เฉพาะปลายเหนือ ชักเส้นรอบแท่งตอนปลาย
เพื่อแสดงขอบของแท่ง เอาเข็มทิศขนาดเล็กมาอันหนึ่ง และวางห่างจากขั้ว N พอ
สมควร ทุกไว้บนกระดาษด้วยจุด a และ b ว่าขั้วเหนือและใต้ของเข็มทิศอยู่ที่ตรง

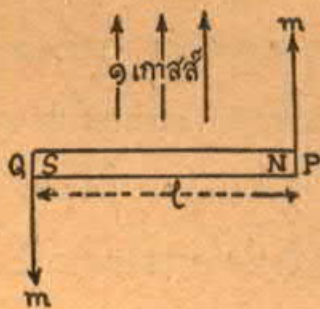


รูปที่ 44

ทุกโค การวนเลือนเข้ามาใกล้ขั้วของแม่เหล็ก และทำเช่นเดิม
โคที่ c และ d และอีกแห่งหนึ่งโคที่ e และ f ลาก ab, cd,
ef และต่อเส้นออกมาให้ตัดกัน จะปรากฏว่าตัดกันทุก ๆ แห่ง
เช่น P เลยเข้ามาจากปลายของแท่งเหล็กน้อย ๆ ทุกแท่งเหมือนกัน
ว่า เส้นของแรงเริ่มพุ่งออกจากแท่งนี้เอง เรียกว่าขั้วของแม่เหล็ก
ถ้าทำสำหรับขั้วใดอีกจะโคที่ซึ่งสมมุติว่าเป็น Q อยู่ใกล้ปลาย
ของขั้วใดซึ่งเส้นของแรงพุ่งเข้ามารวมกัน ระยะทางระหว่าง P

และ Q เรียกว่า Magnetic length ของแม่เหล็ก รูปที่ 44 ขยายส่วนของจุด P และ
Q ใ้มาากหน่อยเพื่อให้ชัด แต่ความปรกติเราถือว่าความยาวของแท่งแม่เหล็กนั้น
เอง เป็น Magnetic length ของแม่เหล็ก ที่ขอเสียว่า ขั้วของแม่เหล็กอยู่ที่
ปลายของแท่งพอดี.

ความหมายของแมกเนติกโมเมนต์ (Magnetic Moment)



รูปที่ 45

แมกเนติกโมเมนต์ของแม่เหล็ก คือ โมเมนต์ของ
แรงที่เกิดขึ้นแก่แท่งแม่เหล็ก เมื่อแม่เหล็กนั้นวางตั้งฉาก
กับเส้นของแรงในสนามที่มีความเข้ม 1 เกาส์ ให้ FQ
เป็นแม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 1 ซม. ให้จุด P และ Q เป็นขั้ว
ของแม่เหล็ก (ถือว่าอยู่ที่ปลาย) ให้แม่เหล็กอยู่ในแนว
ตั้งฉากกับเส้นแรงในสนามที่มีความเข้ม 1 เกาส์

∴ แรงที่ปลาย P จะเท่ากับ m คายันและตั้งไปทางเหนือ และแรงที่ปลาย Q
จะเท่ากับ m คายัน และตั้งไปทางใต้ แรงทั้งสองนี้จะกลายเป็นแรงคู่ควบ m, m มี
ระยะแขน 1 ซม.

∴ โมเมนต์ของแรงคู่ควบ = ml

นั่นคือโมเมนต์ของแม่เหล็ก = ml

หรืออีกนัยหนึ่ง โมเมนต์ของแม่เหล็ก ก็คือ ผลคูณระหว่าง Magnetic length ของแม่เหล็กกับกำลังชั่วของขั้วโคขหนึ่งของแม่เหล็กแท่งนั้น

แม่เหล็กแท่งเดียวกันจะมีกำลังชั่วขั้วขั้วทั้งสองเท่ากัน ฉะนั้นจึงไม่ต้องคำนึงว่ากำลังชั่วขั้วเป็นของปลายโค เว้นแต่จะไม่สามารถจะรู้ที่จะเข้าใจ ถ้าพิจารณาจากทฤษฎีโมเลกุลของแม่เหล็ก เพราะถ้าปลายของแนวโมเลกุลมี Free polarity ชนิกเห็นออกแนว ก็จะมี Free polarity ชนิกได้เป็นจำนวนเท่ากัน นอกจากนั้นการทดลองของสองของข้อ 7 ก็ช่วยให้เห็นได้เหมือนกัน และจะพิสูจน์ให้เห็นอีกในข้อที่ 33

เส้นตรงที่ลากระหว่างขั้วขั้วทั้งสองของแม่เหล็ก เรียกว่า แกนแม่เหล็ก (Magnetic axis) ของแม่เหล็กแท่งนั้น

ตัวอย่าง 1 แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 10 ซม. มีกำลังชั่ว ๆ ละ 20 หน่วย แม่เหล็กแท่งนี้มีโมเมนต์เท่าใด. ถ้าขั้ว A ขนเส้นที่คั่นจากแนวแกนไปทางขั้วเหนือ และห่างจาก N ไปทางนอก 10 เซนติเมตร มีขั้วเหนือเคียวกำลัง 5 หน่วยขั้ววางอยู่ จะเกิดแรงอะไรระหว่างแม่เหล็กกับขั้วเหนือเคียว และจะมีค่าเท่าใด?

$$\text{แมกเนติกโมเมนต์} = 20 \times 10$$

$$= 200 \text{ หน่วย}$$

สำหรับเรื่องแรงต้องคิดเป็น 2 ตอน

ตอนแรกเป็นแรงระหว่างข้อ N และ A และตอนนี้เป็นแรงผลัก

$$\begin{aligned}\text{แรง } F_1 &= \frac{20 \times 5}{10^2} \\ &= 1 \text{ คาบน์}\end{aligned}$$

ตอนสองเป็นแรงระหว่างข้อ S และ A และตอนนี้เป็นแรงผลัก

$$\begin{aligned}\text{แรง } F_2 &= \frac{20 \times 5}{20^2} \\ &= 0.25 \text{ คาบน์}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\therefore \text{ผลรวมเป็นแรงผลักและมีค่า } F_1 - F_2 &= (1 - 0.25) \text{ คาบน์} \\ &= 0.75 \text{ คาบน์}\end{aligned}$$

ตัวอย่าง 3 แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 20 ซม. มีกำลังขั้ว ๆ ละ 50 หน่วยขั้ว วางอยู่ในสนามที่มีความเข้ม 0.18 เกาส์ส ทำมุมตามแนวทำมุม 45° กับเส้นของแรงของสนาม จงหาโมเมนต์ของแรงคู่ควบของแม่เหล็กแท่งนั้น

ให้ PQ เป็นแม่เหล็ก วางในสนามที่มีความเข้ม

0.18 เกาส์ส และวางตามแนวทำมุม 45° กับเส้นของแรง

$\therefore$ แรงที่ P คือไปทางเหนือเท่ากับ 50×0.18 คาบน์

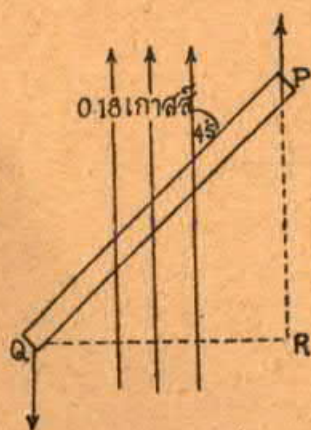
แรงที่ Q คือไปทางใต้เท่ากับ 50×0.18 คาบน์

แรงทั้ง 2 เป็นแรงคู่ควบ 9,9 แต่มีระยะแขน QR

$\therefore$ โมเมนต์ของแรงคู่ควบ $= 9 \times QR$

$$= 9 \times 20 \cos 45^\circ$$

$$= 127.26 \text{ คาบน์-เซนติเมตร}$$



รูปที่ 46

29. การหาความเข้มของสนามแม่เหล็กกรอบแท่ง

ตามความจริงถ้าต้องการหาความเข้มของสนามแม่เหล็ก ณ จุดต่าง ๆ รอบแท่งแม่เหล็ก เราใช้หลักของข้อ 28 และหาความเข้มที่เกกชนที่ละขั้ว แล้วรวมกันก็

ไว้ แต่ในที่นี้จะรวบรวมเป็นสูตรทั่วไปไว้เพื่อใช้ในยกต่อไป อย่างไรก็ดี จะเห็นว่าสูตรนี้ใช้หลักของข้อ ๒๘ นั้นเอง

การหาความเข้ม ณ จุดบนแนวแกน

สมมุติว่า มีแม่เหล็ก NS ยาว 2 l ซม. มีกำลังขั้ว ๆ ละ m หน่วย

∴ แมกเนติกโมเมนต์ของแม่เหล็ก $M = 2 ml$

ให้หาความเข้มที่จุด A ห่างจากศูนย์กลางของแท่ง r ซม. A อยู่บนแนวแกน.



รูปที่ 47

สมมุติว่า ที่จุด A มีขั้วเหนือเทียบกำลัง 1 หน่วยขั้ว.

$$\therefore \text{ความเข้มที่เกิดจากขั้ว N} = + \frac{m}{(r-l)^2}$$

$$\therefore \text{ความเข้มที่เกิดจากขั้ว S} = - \frac{m}{(r+l)^2}$$

$$\text{ความเข้มที่เกิดจากแท่งแม่เหล็ก} = + \frac{m}{(r-l)^2} - \frac{m}{(r+l)^2}$$

$$= \frac{mr^2 + 2 mrl + ml^2 - mr^2 + 2 mrl - ml^2}{(r-l)^2 (r+l)^2}$$

$$= \frac{4 mrl}{(r^2 - l^2)^2}$$

$$= \frac{2 Mr}{(r^2 - l^2)^2}$$

แนวออกแรงของความเข้มอยู่ในแนวนอนนั่นเอง

หมายเหตุ 1. เพื่อความสะดวกในการคำนวณ เราใช้เครื่องหมาย + แทนแรงผลัก
เครื่องหมาย - แทนแรงดูด เวลารวมกันตามหลักพีชคณิต จะได้ข้อ
ลยกันได้เลย

การใช้เครื่องมืออะไรแทนแรงอะไรไม่สำคัญนัก แล้วแต่
จะกำหนดไว้ใช้ เพื่อเข้าใจกัน

๒. เหตุที่ใช้ ๒ 1 เป็นความยาวของแท่งแม่เหล็ก แทนการใช้ 1 และให้ระยะ r ซม. เป็นระยะของจุด A จากศูนย์กลางของแท่ง เพื่อให้สูตรที่จะได้ คือ $\frac{2Mr}{(r^2-1^2)^2}$ เป็นรูปที่ง่าย ถ้าใช้ 1 เป็นความยาวของแท่ง r เป็นระยะ ของจุด A จากปลาย N สูตรที่หาได้จะเหมือนกัน แต่จะมีรูป $\frac{M(2r+1)}{r^2(r+1)^2}$ ซึ่งจำยาก

๓. ถ้าแม่เหล็กเป็นแม่เหล็กแท่งที่สั้น และระยะ r ยาว คือเปรียบเทียบกับกันแล้ว r มีค่ามากกว่า 1 มาก เขามักจะเปลี่ยนแปลงสูตรเพื่อให้สั้นเข้าและผลไม่ผิดจากความจริงมากนัก แต่ก็ต้องอธิบายเสมอว่า ใช้เพื่อให้สั้น และสะดวกแก่การคำนวณในบางกรณี แต่ไม่ใช่สูตรที่ถูกต้องแท้

$$\begin{aligned} & \frac{2Mr}{(r^2-1^2)^2} \\ &= \frac{2Mr}{r^4} \quad \text{คือตัด } 1^2 \text{ ทิ้งเสีย} \\ &= \frac{2M}{r^3} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 1 แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 10 ซม. มีกำลังที่ขั้ว 20 หน่วย จงหาความเข้มของสนาม ณ จุด A ซึ่งตั้งอยู่บนแนวแกน ห่างจากปลาย N ออกมานอกแท่ง 10 ซม.

$$\text{ในทันที } 1 = 5 \text{ ซม.}$$

$$r = 15 \text{ ซม.}$$

$$M = 200$$

$$\begin{aligned}\therefore \text{ความเข้มของสนามที่จุด A} &= \frac{2 Mr}{(r^2 - l^2)^2} \\ &= \frac{2 \times 200 \times 15}{(15^2 - 5^2)^2} \\ &= 0.15 \text{ เกาส์}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ถ้าใช้สูตรสั้น ความเข้ม} &= \frac{2 M}{r^3} \\ &= \frac{2 \times 200}{15^3} \\ &= 0.12 \text{ เกาส์}\end{aligned}$$

ซึ่งไม่ใกล้กับความจริง แสดงว่าระยะ r และ l มีค่าใกล้กันเกินไปที่จะหาค่าของ l โดยใช้สูตรแบบสั้น

ตัวอย่าง ๒ แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว ๘ ซม. มีกำลังขั้ว ๕๐ หน่วย ใจกลางความเข้มบนแนวแกน ณ จุดหนึ่งห่างจากขั้วศูนย์กลางของแท่ง ๔๐ ซม.

$$\text{ในทันที} \quad l = 4 \text{ ซม.}$$

$$r = 40 \text{ ซม.}$$

$$M = 8 \times 50 \text{ หรือ } 400$$

$$\begin{aligned}\therefore \text{ความเข้มที่จุด A} &= \frac{2 \times 400 \times 40}{(40^2 - 4^2)^2} \\ &= 0.0127 \text{ เกาส์}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ถ้าใช้สูตรสั้นความเข้มที่จุด A} &= \frac{2 \times 400}{40^3} \\ &= 0.0125 \text{ เกาส์}\end{aligned}$$

ซึ่งใกล้กันพอที่จะถือว่าไม่ผิดไปมากนัก

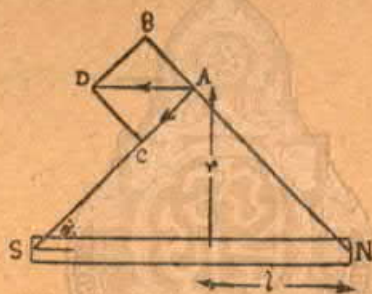
การหาความเข้ม ณ จุดบนเส้นอิกเวเตอร์

เส้นอิกเวเตอร์ของแม่เหล็ก คือ เส้นที่คงฉากกับแท่งจากศูนย์กลางของแท่งแม่เหล็ก

สมมติว่า มีแม่เหล็ก NS ยาว $2l$ ซม. มีกำลังที่ขั้ว ๆ ละ m หน่วย

∴ แมกเนติกโมเมนต์ของแม่เหล็ก $M = 2ml$

ให้หาความเข้มที่จุด A ห่างจากศูนย์กลางของแท่ง r ซม. A อยู่บนเส้นอิกเวเตอร์



รูปที่ 48

สมมติว่า ที่จุด A มีขั้วเหนือเทียบกำลัง 1 หน่วยขั้ว

ความเข้มที่เกิดจากขั้ว N $= \frac{m}{r^2 + l^2}$ ตามแนว AB

ความเข้มที่เกิดจากขั้ว S $= \frac{m}{r^2 + l^2}$ ตามแนว AC

ตามหลักวิชาลศาสตร์ ความเข้มรวมที่เกิดจากแท่งแม่เหล็ก

$$= \frac{2m}{r^2 + l^2} \cos \theta \quad \text{เมื่อ } \angle ASN = \theta$$

$$= \frac{2m}{r^2 + l^2} \times \frac{1}{\sqrt{r^2 + l^2}}$$

$$= \frac{2ml}{[\sqrt{(r^2 + l^2)}]^3}$$

$$= \frac{M}{\sqrt{(r^2 + l^2)^3}}$$

และแรงความเข้มข้นออกแรงตามแนว AD ขนานกับแท่ง NS และชี้ไปทางซ้ายได้
หมายเหตุ ถ้าแม่เหล็กเป็นแม่เหล็กแท่งทึบ เราอาจจะไม่คิดถึงค่าของ l ฉะนั้น
สูตรจะเปลี่ยนแปลงไปให้เป็น

$$\frac{M}{\sqrt{(r^2 + l^2)^3}}$$

$$= \frac{M}{r^3} \quad \text{คือคิด } l^2 \text{ ทิ้งเสีย}$$

ตัวอย่าง แม่เหล็กมีความยาว 8 ซม. มีกำลังขั้ว ๆ ละ 40 หน่วยของหาคความเข้ม
ของสนาม ณ จุด A ห่างจากขั้วศูนย์กลางของแท่ง 40 ซม. ตามแนว
เส้นอิกซ์เทอร

$$\text{ในแท่ง 1} = 4 \text{ ซม.}$$

$$r = 40 \text{ ซม.}$$

$$M = 8 \times 40 \text{ หรือ } 320$$

$$\therefore \text{ความเข้มที่จุด A} = \frac{M}{\sqrt{(r^2 + l^2)^3}}$$

$$= \frac{320}{\sqrt{(40^2 + 4^2)^3}}$$

$$= 0.0049 \quad \text{เกาส์}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ถ้าใช้สูตรสั้น ความเข้มตก } A &= \frac{M}{r^2} \\
 &= \frac{820}{40^2} \\
 &= 0.005 \text{ เกาส์}
 \end{aligned}$$

ค. การหาความเข้ม ณ จุดอื่นๆ รอบแท่งแม่เหล็ก

เราจะรวบรวมเป็นสูตรขึ้นเช่นที่ทำได้สำหรับตอน ก. และ ข. ก็ได้ แต่จะใช้สูตรซึ่งจำได้ยาก ฉะนั้น ในที่นี้จะไม่ทำไว้ เมื่อมีความจำเป็นเมื่อใดก็ควรหาจากหลักตามข้อ ๒๘ แล้วรวมแรงเอาตามหลักวิชาคณิตศาสตร์



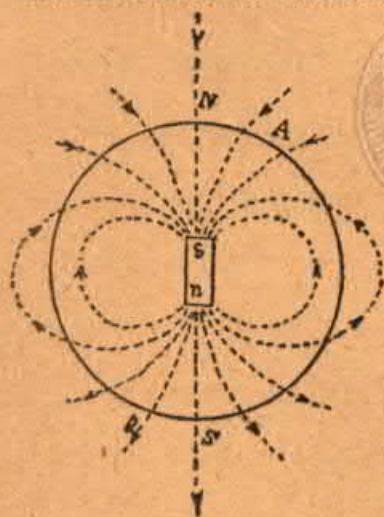
บทที่ 4

สนามแม่เหล็กของโลก

30. สนามแม่เหล็กของโลก

โลกแสดงคุณสมบัติในเรื่องแม่เหล็กคล้ายกับว่า มีแม่เหล็กแท่งใหญ่แท่งหนึ่งฝังอยู่ภายในพื้นโลก ฉะนั้น บริเวณภายในพื้นโลกและบริเวณบรรยากาศภายนอกผิวโลก จึงเป็นสนามแม่เหล็กของโลกและโดยเหตุนี้ เข็มแม่เหล็กซึ่งปล่อยให้แกว่งไกวตามดิ่งพึง จึงวางตัวในแนวของเส้นของแรงแม่เหล็กในสนามของโลก

แท่งแม่เหล็กใหญ่ที่เราสมมุติว่าอยู่ในผิวโลกนี้ แสดงคุณสมบัติทำให้เกิดขั้วที่ตรงกันข้ามกันเป็นขั้วเดียวกัน



รูปที่ 49

ก. แสดงคุณสมบัติเหมือนกันว่า แท่งที่สั้นเทียบกับความยาวของแกนของโลกคือ อานาที่ขั้วขั้วลงไปในพื้นที่ โดยเหตุนี้ เส้นของแรงแม่เหล็กของโลกที่พุ่งออกจากพื้นดิน จึงพุ่งออกมาเป็นมุมต่าง ๆ (ยกเว้นแนวกลางของแท่ง) เรืองนระพารณาละแยกในข้อเรื่องมุมเท

ข. แกนของแม่เหล็กของโลกไม่อยู่ในแกน

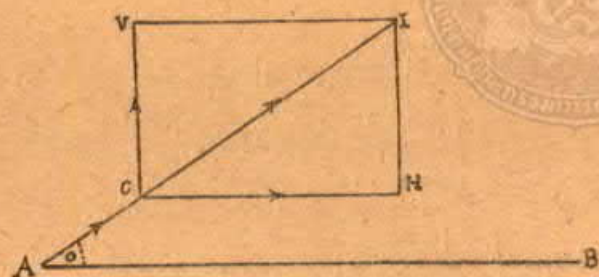
เหนือใต้ภูมิศาสตร์โดยแท้ ฉะนั้น ขั้วเหนือของแม่เหล็กจึงไม่อยู่ตรงกึ่งขั้วเหนือภูมิศาสตร์ จะเยื้องกันอยู่หน่อย เรืองนทำให้เกิดมุมย้ายเช่น ในรูปที่ 49 จุดเหนือใต้แท้ ตามหลักภูมิศาสตร์อยู่ประมาณ

จุด A และ B

เราทราบจากในตอนต้นแล้วว่า ขั้วเหนือของเข็มทิศชี้ไปหาขั้วใต้ของแม่เหล็ก
 ฉะนั้น เพื่อให้ขั้วเหนือของเข็มทิศชี้ไปทางเหนือของโลก เราเลยสมมุติให้แม่เหล็ก
 ของโลกมีขั้วขั้วใต้ขั้วทางแถบเหนือ ขั้วขั้วเหนือขั้วทางแถบใต้ทั้งในรูป แต่
 ถ้าเราลากเส้นตามแนวแกนของแม่เหล็กของโลกให้มาใกล้ผิวโลก จุดที่ใกล้ทาง
 เหนือเรียกว่า ขั้วเหนือแม่เหล็กของโลก (Magnetic North Pole) จุดที่ใกล้ทางใต้
 เรียกว่า ขั้วใต้แม่เหล็กของโลก (Magnetic South Pole) ในรูป N เป็นขั้วเหนือ
 แม่เหล็กของโลก S เป็นขั้วใต้แม่เหล็กของโลก

31. ความเข้มในสนามแม่เหล็กของโลก

ณ จุดต่าง ๆ ในสนามแม่เหล็กของโลกก็จะมี ความเข้มของอำนาจแม่เหล็ก
 ต่าง ๆ กัน แต่เรื่องความเข้มของอำนาจแม่เหล็กของโลกยังเกิดเป็นเรื่องที่จะคง
 พิจารณาพิเศษต่อไป



รูปที่ 50

เส้นของแรงแม่เหล็กของโลก
 ที่แผ่ออกจากผิวโลกจะทำมุมต่าง ๆ
 กัน ณ ที่ต่าง ๆ กัน แถบขั้วเหนือ
 และขั้วใต้ของแม่เหล็กของโลก เส้น
 ของแรงจะพุ่งตั้งฉากออกมาคือที่ N
 และ S ในรูปที่ 49 แถบเส้น

ซึ่งแนวตะวันออกแม่เหล็กเส้นของแรงจะขนานกับผิวโลก แถบอื่นๆ นอกจากนี้ เส้น
 ของแรงจะทำมุมกับผิวโลกเป็นมุมต่าง ๆ กัน

สมมุติว่า ณ ที่ AB ซึ่งเป็นตำบลแห่งหนึ่งบนผิวโลก เส้นของแรงแม่เหล็ก
 ของโลกทำมุม θ กับผิวโลก เช่น เส้น CI ซึ่งแสดงทั้งขนาดและทิศทางของแรงความ

เส้นของแม่เหล็กของโลกอันแท้จริง เราสามารถคิดแยกแรงแรงความเข้มของโลกนี้
ซึ่งเรียกว่า Total intensity of the Earth's Magnetic field และมีอักษรย่อว่า I
ออกเป็น ๒ แรงแ

ก. แรงแรงความเข้มของแม่เหล็กของโลกตามแนวนอน เช่น เส้น CH เรียกว่า
Horizontal Component of the Earth's Magnetic Field แรงแรงความเข้มของแม่เหล็ก
ของโลกตามแนวนอน มักจะใช้อักษรย่อว่า H

ข. แรงแรงความเข้มของแม่เหล็กของโลกตามแนวยืน เช่น CV เรียกว่า Vertical
Component of the Earth's Magnetic Field แรงแรงความเข้มของแม่เหล็กของโลก
ตามแนวยืน มักจะใช้อักษรย่อว่า V

ตามหลักวิชาคณิตศาสตร์ ส่วนเหลี่ยมของระหว่าง I, H และ V เป็นดังนี้

$$H = I \cos \theta$$

$$V = I \sin \theta$$

$$\text{หรือ } H^2 + V^2 = I^2$$

$$\text{หรือ } \frac{V}{H} = \tan \theta$$

เส้น CH ในรูปแสดงทั้งขนาดและทิศของแรงแรงความเข้มตามแนวนอน

เส้น CV ในรูปแสดงทั้งขนาดและทิศของแรงแรงความเข้มตามแนวยืน

ที่แถบขั้วเหนือและขั้วใต้ของแม่เหล็กของโลกแรงแรงความเข้มตามแนวนอนไม่มี
และแรงแรงความเข้มตามแนวยืน V มีค่าเท่ากับแรงแรงความเข้มอันแท้จริง I ที่แถบ
อิกเวเตอร์ของแม่เหล็กของโลก แรงแรงความเข้มตามแนวยืนไม่มี และแรงแรงความเข้ม
ตามแนวนอน H มีค่าเท่ากับแรงแรงความเข้มอันแท้จริง I

แรงความเข้มอันแท้จริงของแม่เหล็กของโลกมีค่าน้อยที่สุดแถบเส้นเอควาเตอร์ และจะมีค่าสูงขึ้นจากนั้นไปทางขั้วเหนือและขั้วใต้แถบเส้นเอควาเตอร์ไกลจากขั้ว ฉะนั้น ก็ย่อมมีแรงน้อยกว่า และยังเข้ามาใกล้ทางขั้วเหนือหรือทางใต้ แรงความเข้ม ก็ย่อมต้องสูงขึ้น แต่แรงความเข้มตามแนวอนัน H มีค่าสูงที่สุดทางแถบเส้นเอควาเตอร์ และมีค่าลดลงมาเมื่อห่างออกมาทางเหนือหรือใต้ของโลก เพราะมุมที่ เส้นแวงทำกับเขาหาพหุคูณ จะเป็นมุมมากจนทุกที ที่เกาะเซนต์เฮเลนา (St. Helena) Lat. 15° S. แรงความเข้มแท้จริงของโลกเท่ากับ 0.276 มุมที่เส้นแวงยังกลง เป็นมุม 20°

$$H = 0.276 \times \cos 20^\circ = 0.26$$

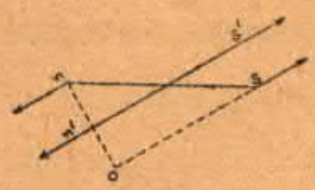
แต่ที่กรุงลอนดอนแรงความเข้มแท้จริงเท่ากับ 0.445 มุมที่เส้นแวงยังกลงเป็น มุม 66°

$$H = 0.455 \times \cos 66^\circ = 0.185$$

โดยเหตุที่โลกเป็นทึบ ๆ ทั่วทั้งใหญ่ เมื่อนักเดินค้าขายแลแห่งหนึ่งแรงความเข้ม ในค้าขายนั้นจะเท่ากันทุกแห่ง และแนวของเส้นของแรงก็จะขนานกัน ฉะนั้น ณ ค้าขายหนึ่ง เช่น กรุงเพทรา เราถือได้ว่า สนามแม่เหล็กของโลกเป็น สนาม เอกรูป (Uniform Field)

32. การวางตัวของเข็มทิศ

สมมุติว่าแม่เหล็กขนาดเล็ก ๆ และมีจุดแขวนอยู่ที่ศูนย์กลางความโค้งของ แท่งพอลิ ให้แม่เหล็กมีกำลังที่ขั้วเท่ากับ m และเอาแม่เหล็กแท่งนั้นแขวนในสนาม แม่เหล็กของโลกที่มีแรงความเข้มตามแนวแท้ I แนวของแรงความเข้มนั้นอยู่ในแนว เียง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 50



รูปที่ 51

ถ้าสมมติให้แม่เหล็กวางตัวในแนวนอน
ก่อน แม่เหล็กนั้นจะไถ่รับแรงดึงดูดปลายทั้งสอง
ข้างละ Im ดังตามทิศของลูกศรที่ a และ
ในรูป แรงทั้งสองนี้จะเกิดแรงคู่ควบ

(couple) ซึ่งมีระยะห่างกัน On เกิดโมเมนต์พยายามหมุนรอบศูนย์กลางของแท่ง
จนกระทั่งแม่เหล็กเข้าอยู่ในแนว ns' แรงคู่ควบจึงระหมดโมเมนต์ ขณะนั้นแม่เหล็ก
ก็เข้าไปวางตัวอยู่ในแนวเส้นของแรงของโลกตามแนวแท่งแล้ว และแม่เหล็กจะปัก
ตัวลงดินตามแนวของเส้นของแรง มุมที่ยกตั้งขึ้นคือ มุมเท (ข้อ 35)

เข็มทิศวางตัวเพื่อให้อยู่เป็นแทนแทนแกนแนวของเส้นของแรงเสมอ แต่
แนวของเส้นของแรงของแม่เหล็กของโลก ณ จุดต่างๆ เป็นส่วนมาก จะอยู่ในระนาบ
เอียง ฉะนั้นเข็มทิศที่แขวนที่ศูนย์กลางความถ่วงและปล่อยให้วางตัวตามลำพัง จะ
วางตัวในระนาบเอียงปักลงพื้นดินไม่มากนักน้อย การที่จะให้เข็มทิศแกว่งหรือวางตัว
ในระนาบเอียงเสมอย่อมไม่สะดวก ฉะนั้น ในการทำเข็มทิศเราจึงมักถ่วง เพื่อให้
เข็มทิศแกว่งไปมาในระนาบนอน เมื่อถ่วงแล้ว เราถือได้ว่า แท้ไม่ให้ความความเข้ม
ของแม่เหล็กของโลกตามแนวนอนเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องกับการแกว่ง และคงใช้
เฉพาะแรงความเข้มของแม่เหล็กของโลกตามแนวนอนเท่านั้น.

การถ่วงนั้นทำได้โดยง่าย คือ แทนที่จะให้ปลายแหลมของเข็มทิศอยู่ที่
ศูนย์กลางความถ่วงอันแท้จริง (Centre of Gravity) ของแท่งแม่เหล็กเช่นที่ O
เราให้ที่ค้ำยที่เข็มทิศเหลื่อมมาทางปลายใด หรือปลายหนึ่งของเข็มทิศ เพื่อถ่วง
ให้เข็มทิศตั้งอยู่ในระนาบนอนได้ คำยลที่อยู่ทางเหนือของโลก ปลายเหนือ N จะ



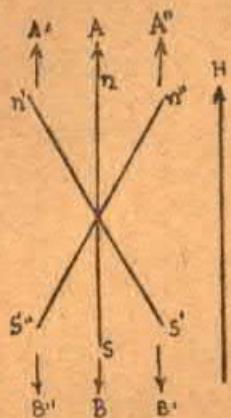
รูปที่ 52

พยายามปักลง เราจึงเอาเข็มทิศที่ B เหลื่อม
มาทางขั้ว N เพื่อให้หน้าดินของแท่งถ่วงให้
เข็มทิศอยู่ในแนวนอน รูปที่แสดงไว้ขยาย

ส่วนมากไป ตามความวิ่ง B ใกล้กับ O มาก และโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเส้นอิเควเคอร์
 คบ และเมื่อเราเกือบไม่ต้องคำนึงถึงแรงการถ่วงเลย

33. เข็มทิศในสนามของโลก

ถ้าเข็มเหล็กหรือเข็มทิศอยู่ในใกล้แท่งแม่เหล็ก แม่เหล็กจะดึงดูดเข็มเหล็กหรือ
 เข็มทิศให้เคลื่อนที่เข้าไปหาแท่ง (ถ้าเคลื่อนที่ได้และแรงมากพอ) การเคลื่อนที่
 ชนิดนี้เรียกว่า Translatory motion.



รูปที่ 53

สมมติว่า แม่เหล็ก ns มีกำลังดึงดูดข้างละ m หน่วย
 อยู่ในสนามแม่เหล็กของโลกซึ่งมีความเข้มตามแนวขั้ว H และ
 มีจุด O เป็นจุดหมุน

ถ้าแม่เหล็กอยู่ในแนว $n's'$ ปลาย n' จะถูกดึงดูดด้วยแรง
 mH ไปตามทิศของลูกศร $n'A'$ ปลาย s' จะถูกดึงดูดด้วยแรง mH
 ไปตามทิศของลูกศร $s'B'$ แรงทั้งสองนี้เป็นแรงคู่ควบ จึงทำ
 ให้แม่เหล็กบิดไปรอบจุด O แต่ไม่เคลื่อนที่แบบ Translatory
 motion คงเคลื่อนที่แบบ Rotational motion เท่านั้น

ถ้าแม่เหล็กอยู่ในแนว $n's'$ ก็จะได้ผลเช่นเดียวกัน คือ มีแรงคู่ควบ ทำ
 ให้แม่เหล็กบิดไปคนละทางรอบจุด O แต่ไม่เคลื่อนที่แบบ Translatory motion เป็น
 แต่ Rotational motion

ถ้าแม่เหล็กอยู่ในแนวเหนือใต้เช่นที่ ns จะมีแรง mH ดึงที่ปลาย n ไปตาม
 แนว nA และแรง mH ดึงที่ปลาย s ไปตามแนว sB แต่แรงนี้มีค่าเท่ากัน อยู่ใน
 ในแนวเดียวกันแต่คนละทิศ จึงไม่เกิดแรงคู่ควบ แม่เหล็กจะนิ่งอยู่ คือจะไม่
 Translatory motion หรือ Rotational motion

ถ้าแม่เหล็กแท่งหนึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็กของโลก และถ้าขั้วเหตุโลกก็ตามแม่เหล็กแท่งนั้น ไม่ได้วางตัวอยู่ในแนวเส้นของแรงของโลก ตามแนว นอน แล้วแม่เหล็กแท่งนั้นจะถูกคดโค้งเพื่อให้หมุนกลับเข้าไปอยู่ในแนวเหนือใต้ คือ ในแนวเส้นของแรงของโลกตามแนวนอนนั้นเอง ขอให้สังเกตไว้ว่า ช่างขนใช้คำว่า หมุนเท่านั้น ซึ่งแสดงแก่ Rotational motion และในการขยับกลับเข้าแนวเส้นของแรงนั้น แม่เหล็กจะขยับกลับเข้าแนวโดยแกว่งไปแกว่งมานาน หรือไม่นาน ย่อมแล้วแต่ขั้วแกว่ง ถ้าเป็นขั้วทิศแล้ว การขยับกลับก็ย่อมมีความถี่อยู่มาก แม่เหล็กจะเข้าแนวโดยเร็ว แต่ถ้าเป็นแม่เหล็กแท่งใหญ่และแขวนไว้ด้วยสายไหม การแกว่งมีความถี่น้อย แม่เหล็กจะแกว่งกลับไปกลับมาเป็นเวลานาน และแกว่งแคบเข้าทุกทีกว่าจะหยุดนิ่งในแนวเส้นของแรงได้ (ดูข้อ 42)

แนวเหนือใต้ หรือ แนวของเส้นของแรงแม่เหล็กของโลกตามแนวนอน เรียกว่า Magnetic Meridian เส้น H ในรูปเป็น Magnetic Meridian สำหรับค่าลททำการทดลองนั้น

ตามที่อธิบายไว้ข้างบน ได้สมมุติให้กำลังทวนของแม่เหล็กแท่งเดียวกัน มีกำลังเท่ากัน เลยยังเกิดผลให้แม่เหล็กที่ตั้งอยู่ในสนามของโลกเกิดแต่ Rotational motion และไม่มี Translatory motion ฉะนั้น ถ้าแม่เหล็กอยู่ในสนามของโลก และอยู่ในฐานะที่จะเคลื่อนที่ทั้งสองแบบแต่เคลื่อนที่แบบ Rotational motion แคอย่างเดียว ก็ย่อมหมายความว่า กำลังทวนทั้งสองข้างเท่ากันจริง

ถ้าเราเอาไม้ก่อกกลมแบนลอยในน้ำนิ่งในอ่าง และเอาแม่เหล็กวางบนไม้ก่อกบนแนว Meridian แม่เหล็กจะไม่เคลื่อนที่ไปทางเหนือหรือทางใต้ จะอยู่นิ่ง ณ ที่เดิม

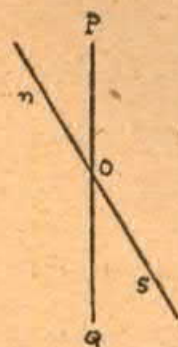
เสมอ แต่ถูกขยับให้ขอยกจากแนว Meridian กระเคลื่อนที่เป็น Rotational Motion กลยเข้าแนว Meridian เท่านั้น เป็นการพิสูจน์ว่า กำลังทวนทั้งสองข้างของ แม่เหล็กทั้งคู่จะเหมือนกัน (ข้อ 7)

34. มุมขั้วเบน

ทั้งนี้กล่าวไว้แล้ว ขั้วแม่เหล็กของโลกไม่ได้้อยู่ตรงกับขั้วเหนือและขั้วใต้ ภูมิศาสตร์ (Geographical North and South Poles) ฉะนั้น เข็มทิศวางไว้ตามทิศทางๆ จึงไม่จำเป็นจะต้องชี้ไปตามแนวเหนือใต้ภูมิศาสตร์เสมอไป ฉะนั้นค่าของมุมที่เกิดขึ้นระหว่างแนวเหนือใต้ภูมิศาสตร์และแนวเหนือใต้แม่เหล็ก เรียกว่า มุมขั้วเบนสำหรับค่าขั้วนั้น (Angle of Declination)

วิธีหามุมขั้วเบน

เอากระดาษมาแผ่นหนึ่ง ตรงด้วยหมุดไว้บนโต๊ะ แล้วเขียนแนวเหนือใต้ ภูมิศาสตร์ไว้ เช่น เส้น POQ เอาเข็มทิศมาซ้อนหนึ่ง ns และวางไว้เพื่อให้เกิด (คือจุดหมุนของเข็มทิศ) ตั้งอยู่บนเส้น POQ เช่นที่จุด O เข็มทิศวางตัวในแนวเหนือใต้แม่เหล็ก หมายถึงของปลาย n และ s ไว้บนกระดาษ เมื่อเอาเข็มทิศออกไปแล้วลากเส้น nos และต่อออกไป มุม Pon คือ มุมขั้วเบน

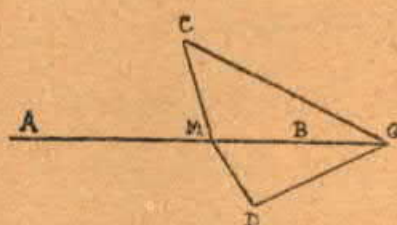


รูปที่ 54

แนวเหนือใต้ภูมิศาสตร์ (Geographical Meridian) จะหาได้หลายๆ โดยเอาเข็มอะไรอันหนึ่งมาปักให้ตั้งฉากกับพื้นราบที่กลางแจ้ง เมื่อเวลาเที่ยงตรง เงาของแสงพระอาทิตย์ที่เกิดจากเข็มแท่งนั้นจะอยู่ในแนวเหนือใต้ภูมิศาสตร์

มมย้ายเบน

ก. ณ จุดต่าง ๆ บนพื้นโลก มมย้ายเบนธารจะมีค่าเป็นมุมต่าง ๆ ทั่ว 0 ถึง 180° และธารจะย้ายเบนไปทางตะวันออกหรือทางตะวันตก



รูปที่ 55

สมมติว่า G เป็นขั้วเหนือภูมิศาสตร์ M เป็นขั้วเหนือแม่เหล็กของโลก ท้ายลหนึ่งของเส้น A ขั้วเหนือภูมิศาสตร์และขั้วเหนือแม่เหล็ก คั่นแนวเดียวกันและทางเดียวกัน ฉะนั้น มมย้ายเบนจะเป็นศูนย์ ท้ายลเช่น B, G และ M อยู่แนว

เดียวกัน แต่คนละทาง ฉะนั้น มมย้ายเบนเป็น 180° ท้ายลเช่น C มมย้ายเบน คือ GCM และควรวัดขั้วเหนือแม่เหล็กอยู่ทางตะวันออกของขั้วเหนือภูมิศาสตร์ และท้ายลเช่น D มมย้ายเบน คือ GDM แต่ขั้วเหนือแม่เหล็กอยู่ทางตะวันตกของขั้วเหนือภูมิศาสตร์

ข. ขั้วเหนือแม่เหล็กขยับแสดงคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงอย่างหนึ่ง คือ อำนาจแม่เหล็กไม่ได้แสดงว่าพุ่งออกจากที่เดียวเรื่อยไป เมื่อหลายร้อยมาแล้ว เคยแสดงอำนาจพุ่งออกจากแถบเหนือของไซบีเรียแต่แล้วค่อย ๆ เปลี่ยนที่ และจุดที่อำนาจขั้วเหนือพุ่งออกเลื่อนเป็นวงรอบขั้วเหนือภูมิศาสตร์ของโลก จนถึงขณะนี้แสดงอำนาจขั้วเหนือพุ่งออกจากแถบเหนือของแคนาดา ค่อย ๆ ไปคงวงรอบขั้วเหนือภูมิศาสตร์กลับไปทีละน้อย แล้วตั้งคนใหม่ ตามที่ตระเนไว้ กระจายจะหมุนเต็มรอบในเวลา 960 ปี และโดยเหตุฉนั้น มมย้ายเบนของที่ ๆ หนึ่งจึงมีค่าเปลี่ยนแปลงไปทุกปี ที่กรุงลอนดอน มมย้ายเบนเป็น 0 เมื่อปี 1659 มีค่าสูงสุดทางตะวันตกเมื่อปี 1823 และจะกลับว่าเป็น 0 ใหม่ในปี 2139

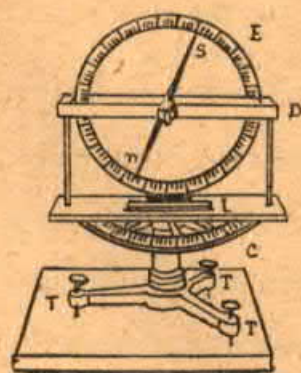
ค. นอกจากการเปลี่ยนแปลงของมุมขั้วเบนเนืองจากอิทธิพลของ
การเปลี่ยนแปลงประจำวัน การเปลี่ยนแปลงประจำวัน และการเปลี่ยนแปลงเมื่อมี
เหตุการณ์พิเศษ เช่น พายุแม่เหล็ก (Magnetic storm) อีกด้วย

ง. ในการเขียนแผนที่สำหรับการเดินเรือ การทราบมุมขั้วเบนอย่างแน่นอน
สำหรับที่ต่าง ๆ เป็นของสำคัญ เส้นที่ลากผ่านจุดต่าง ๆ บนโลกที่มีมุมขั้วเบนเท่ากัน
เรียกว่า Isogonic lines และแผนที่ ที่แสดง Isogonic lines เรียกว่า Isogonic map

35. มุมเท

เส้นของแรงที่เกิดจากแรงความเข้มอินทิเกรตของโลกชี้เป็นมุมต่าง ๆ กับ
พื้นดินมุมที่เส้นของแรงทำกับระนาบของพื้นโลก ณ ตำแหน่งใดเรียกว่า มุมเทสำหรับ
ตำแหน่งนั้น (Angle of Inclination or Dip Angle)

วิธีหามุมเท



รูปที่ 56

เราใช้เครื่องมือเรียกว่า Dip Circle สำหรับหา
มุมเท Dip Circle มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 56 วง
กลม C ทำด้วยโลหะ เช่น ทองเหลือง และตรึงแน่น
อยู่บนฐาน ซึ่งมีหมุด T, T และ T. T เป็นสกรูยึดอยู่
กับเท้าของฐาน และมีประโยชน์สำหรับแก้ไขฐานตั้งอยู่
ในระนาบของวงรี ๆ เพื่อเป็นเครื่องตรวจว่า ฐานอยู่ใน
ระนาบของวงรีหรือไม่ วงกลม C มีเข็มวัดระดับ (Spirit Level)

L อยู่ประจำเครื่อง วงกลม C นี้อยู่ในระนาบของ และแบ่งมุมไว้โดยรอบแต่ 0
ถึง 360°

มีแท่น D ซึ่งมีลักษณะเป็นโครงกรวย ตั้งอยู่บนฐานเดียวกันนี้เอง แต่มี
แกนสวมในฐานเพื่อให้แท่น D หมุนไต่รอบตัวตามแนวนอน ที่ส่วนบนมีวงกลม B
ซึ่งอยู่ในแนวนอน และแบ่งมุมไว้กรวย ที่ศูนย์กลางของวงกลมมีเข็มแม่เหล็ก
เล็ก ๆ ๓๘ ครึ่งอยู่ เพื่อให้ขั้วโคโดยคล้องรอบตัวในแนวนอน เข็มแม่เหล็กนี้มี
ลักษณะพิเศษก็คือ มีจุดแขวนอยู่ที่ศูนย์กลางความถ่วงของแท่งพอดี คือ ไม่มี
การแกว่งให้แกว่งได้แต่เฉพาะในระนาบนั้น เช่น เข็มทิศธรรมดา

การใช้

ถ้าเราทราบแนวเหนือใต้แม่เหล็กของโลกอยู่แล้ว เราควรวางเข็มแม่เหล็กเพื่อ
ให้อยู่ในแนวเหนือใต้แม่เหล็กของโลก ในขณะนั้นแรงความเข้มอันแท้จริงของ
แม่เหล็กของโลกจะคงให้เข็มแม่เหล็ก ๓๘ ชักลงมากับกระทั่งเข็มแม่เหล็กวางตัวเป็น
แท่น เหนือกับเส้นของแรงอันแท้จริงของแม่เหล็กของโลก มุมที่เกิดขึ้นกับระนาบนั้น
ก็คือ มุมที่เราทราบที่แห่งนั้น และมุมที่เราอ่านได้จากเครื่อง

แต่ถ้าเราไม่ทราบแนวเหนือใต้ของโลก เราอาจจะหาได้จาก Dip circle ดังนี้—

ปักเครื่องนี้ให้หมุนตามแกนขึ้น จนกระทั่งเข็มแม่เหล็กชักถึงลงหาพื้นดิน คือ
ชักมุม ๙๐° เมื่อนั้นแปลว่า เข็มแม่เหล็กอยู่ในแรงดึงดูดของแรงความเข้มของโลก
ตามแนวนอนแต่แรงเดียว เข็มจึงชักถึงลงสู่พื้นดิน แรงความเข้มของโลกตามแนวนอน
ไม่สามารถออกแรงดึงได้ เมื่อแรงความเข้มตามแนวนอนออกแรงแก่แม่เหล็กไม่ได้
ก็หมายความว่า ขณะนั้นเข็มแม่เหล็กอยู่ในระนาบ ซึ่งตั้งฉากกับแนวเหนือใต้
ของโลกพอดี ฉะนั้นถ้าเราตั้งเกตุมุมที่วงกลม C และปักเครื่องไป ๙๐° จะทำให้
เข็มแม่เหล็กเข้ามาอยู่ในแนวเหนือใต้ของโลก เมื่อทำดังนี้แล้ว มุมที่อ่านได้
ทันที ก็คือค่าที่เราได้ไว้ในตอนบน

มุมเท

ก. วิชามุมเทตามทศดาวไว้เช่นวิชาโดยไม้แก่ส่วนที่อาจผิดพลาด เนื่อง
จากเครื่องมือชกพร่อง ถ้าจะต้องการมุมที่แน่นอนจะต้องคิดแก้ส่วนชกพร่องให้
รชยคอบ เรื่องการแก้ส่วนผิดพลาดจะไม่กล่าวถึงในหนังสือ

ข. มุมเท ณ ตำแหน่งใดแห่งหนึ่ง อาจเปลี่ยนแปลงไปได้เหมือนกันมุมย้ายเข
เนื่องมาจากข้อเห็นของโลกเปลี่ยนที่ แต่มุมที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าน้อย

ค. ถ้า I เป็นความเข้มของแม่เหล็กของโลกอันแท้จริง ณ ตำแหน่ง

และ H เป็นความเข้มของแม่เหล็กของโลกตามแนวอน

V เป็นความเข้มของแม่เหล็กของโลกตามแนวน

θ เป็นมุมเท

$$H = I \cos \theta$$

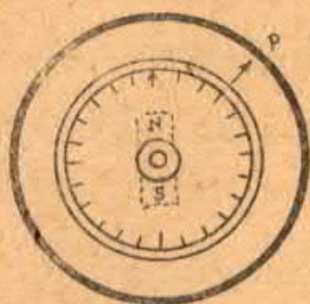
$$V = I \sin \theta$$

ง. เส้นซึ่งลากผ่านจุดต่าง ๆ ในโลกที่มีมุมเทเท่ากันเรียกว่า Isoclinic Lines
และโดยเฉพาะ Isoclinic Line สำหรับมุมเท 0° เรียกว่า Magnetic Equator

38. เข็มทิศ

ในการเดินเรือ หรือในการสำรวจพื้นที่หรือทำแผนที่ เราจำเป็นต้องหาวิ
หาคิศ ในการนี้ใช้เข็มทิศ เรียกว่า Magnetic Compass และเข็มทิศที่ใช้เฉพาะ
การเดินเรือเรียกว่า Mariner's Compass,

หลักของเข็มทิศคือ ใช้แม่เหล็กเป็นตัวชี้แนวเหนือใต้ของโลก แต่เพื่อให้ปัด
ได้คล่องให้อ่านมุมได้ชัด จึงมักจะทำให้พิศการขึ้นไปตามความต้องการ รูปที่แสดง



รูปที่ ๕๗

ไว้เป็นแต่แสดงหลักการประกอบไว้เท่านั้น NS เป็น
แม่เหล็กก็อยู่ที่กระดานแข็งกลม ซึ่งแบ่งไว้เป็นองศา
และแม่เหล็กก็ขยับบนเคียว และทำไว้เพื่อให้โคจร
ทั้งหมดอยู่ในภาชนะหุ้มห่อ ซึ่งมีแก้วปิดไว้รอบบนเพื่อ
กันลม ลูกศรที่ P ในรูปเลื่อนไปมาได้โดยรอบวงนอก และ
มีไว้เพื่อแสดงจุดหมายทิศของการทราบดี

ถ้าต้องการทราบแนวเหนือใต้ภูมิศาสตร์ ณ ใดๆ ก็
โดยใช้เข็มทิศ เราจะต้องเอาหมุดขั้วบนขั้วโลกเข้าด้วยเสมอ

๓๗. วิธีหาแรงความเข้มตามแนวนอน

วิธีหาแรงความเข้มของแม่เหล็กของโลกตามแนวนอนที่ระดัณยาวไว้ต่อไป
เป็นวิธีที่ใช้โลกเหมือนกัน แต่เราต้องทราบโมเมนต์ของแม่เหล็กที่ใช้ในการทดลอง
อย่างแน่นอน นอกจากวงของแม่เหล็กอื่นซึ่งจะได้เรียนต่อไป

เอาแม่เหล็กแท่งหนึ่งที่เราทราบโมเมนต์อย่างแน่นอน วางบนหน้ากระดานวาง
เขียนขนาดใหญ่ และให้อยู่ในแนวเหนือใต้ของโลก ขั้วเหนือของแท่งชี้ไปทางใต้
แล้วหาแนวเส้นของแรงในสนามของแม่เหล็กแท่งนี้ด้วยวิธีเขียนเส้นของแรง โดยใช้
เข็มทิศขนาดเล็ก (หรือใช้ผงเหล็กก็ได้) เราจะได้จุดสองจุด ซึ่งเป็นจุดสะท้อน
หมายที่ขั้วของจุดสะท้อน ไว้

จุดสะท้อน เช่นนี้ๆ ไม่มีความเข้มแม่เหล็กเลย แต่โดยปรกติความเข้มของ
แม่เหล็กของโลกมีอยู่โดยทั่วไป ฉะนั้นการที่จุดสะท้อน ไม่มีความเข้มแม่เหล็กเลย
ก็ต้องหมายความว่า แรงความเข้มจากแท่งแม่เหล็กส่งมาถึงจุดสะท้อน เป็นจำนวน
เท่ากับแรงความเข้มของโลก ณ ที่นั้น และอยู่ในทิศตรงกันข้าม จึงได้ผลล้าง
กันเสียหมด (ดูข้อ ๒๓ และตัวอย่าง ๓ ในข้อ ๒๗)

เมื่อเราทราบทิศทางของกระแสที่เห็น ว่าห่างจากแท่งแม่เหล็กเท่าใด เราก็
คำนวณหาความเข้มที่จุดนั้น โดยใช้สูตรตามข้อ 29 คือ $F = \frac{2Mr}{(r^2 - l^2)^2}$ จำนวน
ที่คำนวณได้ก็คือ แรงความเข้มของแม่เหล็กของโลกตามแนวนอน

ถ้าเราทราบมุมเท ณ จุดนั้นอีกด้วย แรงความเข้มของแม่เหล็กของโลกอัน
แท้จริง ก็คำนวณได้จากสูตร $H = I \cos \theta$

38. แรงเหนี่ยวนำของแม่เหล็กของโลก

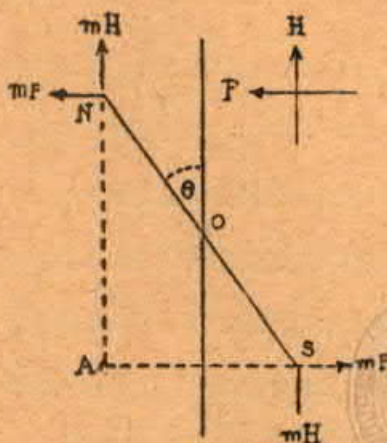
โดยเหตุที่ทั่วทั้งโลกเป็นสนามแม่เหล็ก จึงมีเส้นของแรงแม่เหล็กของโลกอยู่
โดยทั่วไป ฉะนั้นเหล็กอ่อนที่วางในแนวเหนือใต้ของโลกก็จะถูกเหนี่ยวนำให้เป็น
แม่เหล็กขึ้นได้ และในขณะนั้นจะถูกเหนี่ยวนำโดยแรงความเข้มตามแนวนอน ถ้า
เราเขียนเหล็กอ่อนให้อยู่ในแนวของมุมเท เราจะได้แรงเหนี่ยวนำมากที่สุด และถ้าวาง
ตั้งฉากกับพื้นก็เท่ากับใช้แรงเหนี่ยวนำจากแรงความเข้มตามแนวนอน ถ้าเราวาง
แท่งเหล็กในแนวตะวันออกตะวันตกของแม่เหล็ก จะไม่มีแรงเหนี่ยวนำเลย (ความจริง
มี แต่แรงเหนี่ยวนำจะทำให้ความยาวของแท่งเป็นแม่เหล็กซึ่งไม่ต้องคำนึงถึง)

ในการทดสอบซึ่งทำด้วยเหล็กกล้า และเมื่อมีการทดสอบแล้ว เราสามารถ
จะทราบการเหนี่ยวนำอย่าง ฉะนั้น เราทดสอบแล้วมักจะมีความจำเป็นที่จะต้อง
การมีอำนาจแม่เหล็กประจำตัวเรื้อนเอง ทำให้ต้องระวังในการใช้เข็มทิศในเรือ และ
ในสงครามโลกคราวที่แล้วนี้ ใต้ใช้เรือเป็นประโยชน์ในการทำ Magnetic Mines
แต่แล้วก็มี การแก้โดยทำให้อำนาจแม่เหล็กประจำเรือหมดไป

บทที่ 5

แมกนีโตเมตรี (Magnetometry)

39. ส่วนสัมพันธ์ระหว่างแรงความเข้มสองแนวที่มีต่อเข็มทิศ



รูปที่ 58

(Uniform field)

เมื่อแรงทั้งสองออกแรงแก่เข็มทิศจะทำให้เข็มทิศบิดไปจากแนวเหนือใต้ และบิดไปอยู่เป็นสมดุลใหม่ทำมุม θ กับแนวเหนือใต้ของโลก

แรงความเข้ม H ระวังและผลตกปลาย N และ S ด้วยแรงข้างละ mH เกิดเป็นแรงคู่ควบ mH ซึ่งมีระยะห่างกัน AS

$$\therefore \text{โมเมนต์ของแรงคู่ควบ} = mH \times AS$$

แรงความเข้ม F ระวังและผลตกปลาย N และ S ด้วยแรงข้างละ mF เกิดเป็นแรงคู่ควบ mF ซึ่งมีระยะห่างกัน AN

$$\therefore \text{โมเมนต์ของแรงคู่ควบ} = mF \times AN$$

สมมติความเข้มที่ขึ้นหนึ่ง NS มากลางทข
 m หน่วย และเข็มทิศอยู่ในบังคับของแรงความ
 เข้มแม่เหล็ก 2 แรง ซึ่งตั้งฉากซึ่งกันและกัน แรง
 ความเข้มขึ้นหนึ่ง คือแรงความเข้มของโลกตาม
 แนวขึ้น H อีกอันหนึ่งเป็นแรงความเข้มที่เกิดจาก
 ขั้วเกิดอันใดอันหนึ่ง และจะให้เป็น F สมมติ
 ว่าแรง ความ เข้ม ทั้ง สอง นี้นั้น ต่าง ก็เป็น สนามเหวี่ยง

ถ้าเข็มที่ค้อยเป็นสมมุติ โมเมนต์ของแรงคู่ควบทั้งสองก็จะต้องเท่ากัน

$$mF \times AN = mH \times AS$$

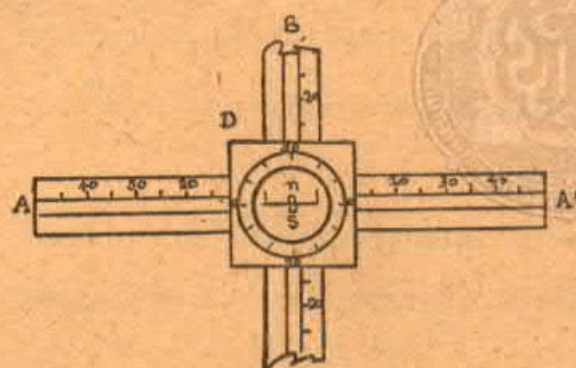
$$F = H \times \frac{AS}{AN}$$

$$F = H \times \tan \theta$$

ส่วนสัมพันธ์ใช้ได้เฉพาะเมื่อแรงความเข้มทั้งสองตั้งฉากซึ่งกันและกันและ
ต่างก็เป็นสนามเอกรูป (Uniform field)

40. แมกนีโตมิเตอร์ (Magnetometer)

แมกนีโตมิเตอร์มีลักษณะอย่างในรูปที่ 59 D เป็นเข็มที่เคลือบมีจุดทำด้วย
ไม้ แต่ฝ่ายหน้าทำด้วยแก้วเพื่อให้มองเห็นได้ และทำเพื่อให้เข็มกับคอก ทิศทางของ
เข็มมีการกระเจา และที่จุดศูนย์กลางของก้นเข็มมีเกลียวขึ้นวนมา ขนเกลียวมีแม่เหล็ก



รูปที่ 59

อันสั้น (ทข. 2 ค.) ตั้งอยู่เพื่อให้
ชี้ได้รอบตัว ตั้งฉากกับแม่เหล็ก
มี Pointer II ทำด้วยอลูมิเนียม
บาง ๆ ฝังอยู่ มีแผ่นกระดาษทำ
เป็นวงแหวนประอบขึ้นการกระเจา เพื่อ
ให้จุดศูนย์กลางของ วง แหวน อยู่ตรง
กับเกลียวพอดี รอบวงแหวนแบ่งมุม

เป็นองศาไว้เป็น 4 เลี่ยง แต่ 0—90 ทั้ง 4 เลี่ยง ให้หมายเลข 0 อยู่ตามยาวของ
แกนไม้ AA' ที่ยื่นออกมาทั้ง 2 ข้าง แกนไม้ยาวประมาณเมตรเศษ ๆ และ
แบ่งขีด จาก 0 ที่ตรงเดือย และเพิ่มออกมาทั้ง 2 ข้าง โดยปรกติแกนไม้
ทำเป็นร่องไว้เพื่อสอดแม่เหล็กให้เลื่อนไปตามยาวของแกนได้

เครื่องแมกนีโตมิเตอร์ข้างเครื่องแมกนีโตมิเตอร์หนึ่ง BB ยื่นออกมาทางปลาย
บน และล่างของหีบไม้ ตั้งฉากกับแกน AA' และแบ่งระยะไว้เช่นเดียวกับแกน
AA' คือที่ 0 อยู่ตรงเคียบ

เวลาจะใช้เครื่องแมกนีโตมิเตอร์ จะต้องวางให้แกน AA' อยู่ในแนว
ตะวันออก ตะวันตกของแม่เหล็กของโลกเสียก่อน เรืองนทำได้ง่ายโดยให้
Pointer II ชี้ตรงหมายเลข 0

หมายเหตุ ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องมือไว้เพื่อให้ทดลองได้ละเอียดเท่านั้น

ก. ที่ใช้หีบไม้เพื่อไม่ให้ลมทำให้เข็มขยับ การขยับของเข็มที่ผิดปกติจะเกิด
จากแรงแม่เหล็กเท่านั้น

ข. เข็มแม่เหล็กต้องเป็นขนาดสั้น เพื่อให้แกว่งในสนามเอกรูป (Uniform
field) ริง ๆ ถ้าเข็มยาวไปนัก เพราะถือว่าแกว่งในสนามเอกรูป
(Uniform field) ไม่ได้ ฉะนั้นจะนำสูตร $F = H \tan \theta$ มาใช้ในการ
คำนวณไม่ได้

ค. Pointer II มีไว้เพื่ออ่านมุม เพราะเข็มแม่เหล็กต้องสั้น ฉะนั้นถ้า
ใช้เข็มเป็นทิวชี่ วงแหวนกระดาษต้องมีขนาดเล็ก การแบ่งมุมย่อม
เล็กลงไปอ่านได้ยาก

ง. กระบอกเงาไว้เพื่อเป็นเครื่องช่วยให้อ่านมุมได้แน่นอน เพราะ Pointer II
อยู่สูงจากกระดาษแบ่งองศา ฉะนั้นถ้าเราวางตาไม่ตั้งฉากกับหน้า
กระดาษ เวลาอ่านมุมจะทำให้มุมผิดไปได้ แต่ถ้า Pointer II ทับเงา
ของตัวเองที่เกิดในกระบอกเงา เราแน่ใจได้ว่าในขณะนั้น ตาเราอยู่ตั้ง
ฉากกับกระดาษพอดี มุมที่อ่านได้จะไม่ผิด

๑. ท่อน AA' และ BB' เป็นท่ๆ ระหว่างแท่งแม่เหล็ก ฉะนั้นเมื่อมีระยะ
 ขดไว้ในตัว เราจะได้ทราบว่า ในขณะใดแม่เหล็กอยู่ห่างจากเค็ช
 กึ่งกลางของเข็มทิศเท่าใด
๒. ถ้าต้องการแมกนีโตมิเตอร์แต่เพียงพอใช้การได้ เอาไม้มะยมมาอัน
 หนึ่ง วางเข็มทิศเล็ก ๆ อันหนึ่งท่ามกลางของแท่งก็พอใช้การ
 ได้แล้ว

๔๑. การเปรียบเทียบโมเมนต์ของแม่เหล็กโดยใช้แมกนีโตมิเตอร์

โดยเอาแม่เหล็กชี้เข้าหา End-on position

สมมติว่า มีแม่เหล็ก ๒ แท่ง ยาวเท่ากันคือ ๒๑ เซนติเมตร มีโมเมนต์
 M_1 และ M_2 และเราต้องการเปรียบเทียบโมเมนต์ของแม่เหล็ก ๒ แท่งนี้ เรา
 ทำได้ ๒ วิธี

- ก. วางแมกนีโตมิเตอร์ตั้งไว้ข้างบน แล้วเอาแม่เหล็กแท่งที่ ๑
 วางบนแกน A ห่างออกมาพอสมควร สมมติว่า รกศูนย์กลางของ
 แท่งอยู่ห่างจากเค็ช r_1 ซม. เข็มทิศจะชี้ไปเป็นมุม ๆ หนึ่งเอาแม่เหล็ก
 แท่งที่ ๒ วางบนแกน A เพื่อให้เข็มทิศกลับเข้าแนวเหนือใต้เช่นเดิม
 เมื่อเข็มทิศกลับเข้าแนวเหนือใต้ สมมติว่าแม่เหล็กแท่งที่ ๒ อยู่ห่าง
 จากเค็ช r_2 ซม.

เมื่อเข็มทิศกลับเข้าแนวเหนือใต้เช่นเดิม ก็หมายความว่าแรงความเข้ม
 จากแม่เหล็กแท่งที่ ๑ และแท่งที่ ๒ ที่ส่งมาที่เข็มทิศมีค่าเท่ากันพอดี และทิศตรง
 กันข้ามจึงลบล้างกันหมด

$$\text{แรงความเข้มจากแม่เหล็กแท่งที่ ๑} = \frac{2 M_1 r_1}{(r_1^2 - l^2)^2}$$

$$\text{แรงความเข้มจากแม่เหล็กแท่งที่ ๒} = \frac{2 M_2 r_2}{(r_2^2 - l^2)^2}$$

$$\frac{2 M_1 r_1}{(r_1^2 - l^2)^2} = \frac{2 M_2 r_2}{(r_2^2 - l^2)^2}$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{r_2}{r_1} \times \frac{(r_1^2 - l^2)^2}{(r_2^2 - l^2)^2}$$

๒. วางแม่เหล็กโคมิตอร์ไว้ตามที่ แล้วเอาแม่เหล็กแท่งที่ 1 วางไว้บนแกน A ห่างออกมาเป็นระยะพอสมควรระยะหนึ่งเช่น r ซม. และอ่านค่าเข็มที่คืบไปเป็นมุมเท่าใด

สมมติว่า บิดไปเป็นมุม θ_1

$$\frac{2 M_1 r}{(r^2 - l^2)^2} = H \tan \theta_1 \dots\dots\dots (1)$$

เอาแม่เหล็กแท่งที่ 1 ออกไปให้ห่าง แล้ววางแท่งที่ 2 ไว้แทนที่ ที่ระยะเท่ากัน คือ ระยะ r ซม. จากเคือบ สมมติว่า เข็มที่คืบไปเป็นมุม θ_2

$$\frac{2 M_2 r}{(r^2 - l^2)^2} = H \tan \theta_2$$

$$\frac{\frac{2 M_1 r}{(r^2 - l^2)^2}}{\frac{2 M_2 r}{(r^2 - l^2)^2}} = \frac{H \tan \theta_1}{H \tan \theta_2}$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\tan \theta_1}{\tan \theta_2}$$

- หมายเหตุ 1. ถ้าแม่เหล็กยาวไม่เท่ากัน เราจะต้องเก็บค่าให้ถูกต้องและโดยเฉพาะวิธีให้ระยะ r เท่ากัน สูตรสุดท้ายจะไม่ง่ายถึงข้างบน เพราะคำนวณข้อผิดพลาดกันไม่ได้หมด
2. ถ้าแม่เหล็กทุกคดงันมาก เราอาจจะใช้สูตรอื่นตามหมายเหตุ 3 ข้อ 29 ได้
3. ถ้าแม่เหล็กวางอย่างอื่นเช่น ให้เข็มที่คืบอยู่บนทุกที่ของแกนจากแนวแกนของแม่เหล็ก จะต้องใช้แกน AA' เสมอ ใช้แกน

BB' ไม่ได้ เพราะถ้าใช้แกน BB' แรงจากแม่เหล็กจะเสริมหรือ
หักล้างแรงของโลกเท่านั้น เพราะอยู่ในแนวเดียวกัน ไม่ได้หักล้าง
ซึ่งกันและกัน เข็มทิศจะไม่ขยับ (นอกจากขั้วกลัวยางเลย) เรือง
นครทกลองให้เห็นจริง (รูป 62 ก. และ ข.)

4. จากสมการที่ได้เลขหมาย (1) ไว้ข้างบน เราจะเห็นได้ทันทีว่า
ถ้าเราทราบโมเมนต์ของแม่เหล็กอย่างแน่นอน เราจะคำนวณแรง
ความเข้มของโลกตามแนวนอน H ได้ทันทีจากสมการนี้ และโดย
เหตุผลอันเดียวกัน ถ้าทราบแรงความเข้มตามแนวนอน H เราก็
คำนวณโมเมนต์ของแม่เหล็กได้

ตัวอย่าง 1. แม่เหล็ก 2 แท่งยาวแต่ละ 10 ซม. เมื่อเอาแม่เหล็กแท่งหนึ่งวาง
ทางตะวันออกของแท่งอื่น โดยมีระยะห่างออกมา 30 ซม. แล้วเอาอีก
แท่งหนึ่งวางพริ้วกัน ทางตะวันตกห่างออกไป 20 ซม. ปรากฏว่า
เข็มทิศกลับเข้าแนวเหนือใต้เช่นเดิม จงเปรียบเทียบโมเมนต์ของ
แม่เหล็กทั้ง 2 แท่งนั้น

ให้ M_1 และ M_2 เป็นโมเมนต์ของแม่เหล็ก 2 แท่งนี้

$$\begin{aligned}\text{แรงความเข้มจากแท่งที่ 1} &= \frac{2 M_1 r_1}{(r_1^2 - l^2)^2} \\ &= \frac{2 M_1 \times 30}{(30^2 - 5^2)^2}\end{aligned}$$

$$\text{แรงความเข้มจากแท่งที่ 2} = \frac{2 M_2 \times 20}{(20^2 - 5^2)^2}$$

เมื่อเข็มทิศอยู่ในแนวเดิม แรงความเข้มย่อมเท่ากัน

$$\frac{2 M_1 \times 30}{(900 - 25)^2} = \frac{2 M_2 \times 20}{(400 - 25)^2}$$

$$\begin{aligned} \frac{M_1}{M_2} &= \frac{20}{30} \times \frac{875^2}{875^2} \\ &= \frac{98}{27} \end{aligned}$$

4. ข้อให้สังเกตไว้ว่า เมื่อบอกว่าวางแม่เหล็กทางตะวันออกหรือตะวันตกของแมกนีโตมิเตอร์ ไม่จำเป็นจะต้องบอกไว้ว่าวางอย่างไรเข้าหา เพราะตามเหตุผล (หมายเหตุ 3) ต้องเป็นเช่นนั้นอยู่แล้ว เช่นเดียวกันถ้าโจทย์บอกว่าวางอย่างไรเข้าหา ก็ต้องเป็นทางตะวันออกหรือตะวันตกของแมกนีโตมิเตอร์เท่านั้น

ตัวอย่าง 2 แม่เหล็ก 2 แท่งยาวเท่ากัน เมื่อเอาแท่งหนึ่งวางเป็นระยะ 20 ซม. จากแมกนีโตมิเตอร์ทางตะวันตก ทำให้เข็มแมกนีโตมิเตอร์บิดเป็นมุม 50° ครั้นเอาแม่เหล็กแท่งที่สองวาง ณ ที่เดียวกัน เข็มบิดเป็นมุม 35° จงเปรียบเทียบโมเมนต์ของแม่เหล็กทั้งสองนั้น

โดยเหตุที่แม่เหล็กยาวเท่ากัน วางห่างจากเข็มเป็นระยะเท่ากัน โมเมนต์ของแม่เหล็กจะเป็นปฏิภาคกับแทนเจนของมุมบิด

$$\begin{aligned} \frac{M_1}{M_2} &= \frac{\tan 50^\circ}{\tan 35^\circ} \\ &= \frac{1.19}{0.7} = \frac{1.7}{1} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 3 แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 8 ซม. มีโมเมนต์ 500 เมื่อเอาวางอย่างไรเข้าหาเข็มของแมกนีโตมิเตอร์ เป็นระยะทางออกมา 25 ซม. ทำให้เข็มแม่เหล็กบิดเป็นมุม 20° จงหาแรง H ของโลก

$$\text{ตามสูตร } F = H \tan \theta$$

$$\frac{2 Mr}{(r^2 - l^2)^2} = H \tan \theta$$

$$H = \frac{2 \times 500 \times 25}{(25^2 - 4^2)^2 \times \tan 20^\circ}$$

$$= 0.185 \text{ เกาส์}$$

โดยเอาข้างแม่เหล็กเข้าหา (Broadside-on Position)

สมมติว่า มีแม่เหล็ก ๒ แท่ง ยาวเท่ากันคือ ๒*l* เซนติเมตร มีโมเมนต์ M_1 และ M_2 และเราต้องการเปรียบเทียบโมเมนต์ของแม่เหล็กทั้ง ๒ แท่งนี้

ค. เอาแม่เหล็กแท่งที่ ๑ วางไว้บนแกน B ทางเหนือของเข็มทิศและวางไว้ในแนวตะวันออกตะวันตก คือ ให้ขนานกับแกน AA' และให้จุดศูนย์กลางของแท่งแม่เหล็กอยู่เหนือเข็มทิศของแมกนีโตมิเตอร์พอดี สมมติว่าจุดศูนย์กลางของแท่งแม่เหล็กอยู่ห่างจากเข็มทิศ r_1 ซม. เข็มทิศจะบิดไปเป็นมุม ๆ หนึ่ง เอาแม่เหล็กแท่งที่ ๒ วางบนแกน B' ทางใต้ของเข็มทิศ และให้ขนานกับแกน AA' และให้จุดศูนย์กลางของแท่งอยู่ใต้เข็มทิศพอดี สมมติว่าต้องวางให้แท่งที่ ๒ อยู่ห่างจากเข็มทิศ r_2 ซม. เข็มทิศจะบิดกลับเข้าแนวเหนือใต้เช่นเดิม ฉะนั้นแรงความเข้มที่แม่เหล็กทั้งสองส่งมายังเข็มทิศจะมีค่าเท่ากัน และอยู่ในทิศตรงข้ามกัน

$$\text{แรงความเข้มจากแม่เหล็กแท่งที่ ๑} = \frac{M_1}{(\sqrt{r_1^2 + l^2})^3}$$

$$\text{แรงความเข้มจากแม่เหล็กแท่งที่ ๒} = \frac{M_2}{(\sqrt{r_2^2 + l^2})^3}$$

$$\therefore \frac{M_1}{(\sqrt{r_1^2 + l^2})^3} = \frac{M_2}{(\sqrt{r_2^2 + l^2})^3}$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{(\sqrt{r_1^2 + l^2})^3}{(\sqrt{r_2^2 + l^2})^3}$$

ง. ถ้าเอาแม่เหล็กทั้งสองวางห่างจากแมกนีโตมิเตอร์เป็นระยะเท่ากัน r ซม. แต่วางกันคนละคราว และสมมติว่าไทม์บีกของเข็มทิศเป็น θ_1 และ θ_2 ตามลำดับ

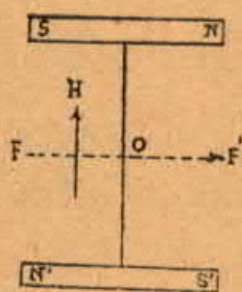
$$\frac{M_1}{(\sqrt{r^2 + l^2})^3} = H \tan \theta_1$$

$$\frac{M_2}{(\sqrt{r^2 + l^2})^3} = H \tan \theta_2$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\tan \theta_1}{\tan \theta_2}$$

หมายเหตุ 6

การวางแม่เหล็กอย่างเอียงเข้าหาเข็มทิศตั้งวางทางเหนือทางใต้ของเข็มทิศ จึงจะได้แรงจากแท่งแม่เหล็กตั้งฉากกับแรงความเข้ม H ของโลกทั้งในรูปที่ 60 ถ้าวางทางตะวันออกหรือตะวันตกจะได้แรงความเข้มทั้งสองเสริมหรือหักกัน แต่ไม่ตั้งฉากกัน



รูปที่ 60

เพราะอยู่ในแนวเดียวกัน (รูป 62 ค. และ ง.)

ถ้าวางแม่เหล็กสองแท่งพร้อมๆ กัน ก็ข้อ ก. จะต้องวางขวให้ตก คือ ให้สลับขั้วกัน มิฉะนั้นแรงทั้งสองจะเสริมกัน ตามรูปที่ 60 แรง F มาจากแม่เหล็ก NS แรง F' มาจากแม่เหล็ก $N'S'$

7. เราอาจจะใช้สูตรแบบเส้นได้ ถ้าแม่เหล็กที่ใช้ทดลองสั้นมาก

ตัวอย่าง 4

มีแม่เหล็ก 2 แท่ง แท่งที่ 1 ยาว 12 ซม. แท่งที่ 2 ยาว 10 ซม.

เมื่อเอาแม่เหล็กทั้งสองวางพร้อมๆ กัน และวางอย่างข้างเข้าหาเข็มทิศของแอมมิโทมิเตอร์ ปรากฏว่าเข็มทิศขยับเมื่อแม่เหล็กแท่งที่ 1 อยู่ห่างจากเข็ม 22 ซม. แท่งที่สองอยู่ห่าง 25 ซม. จึงเปรียบเทียบโมเมนต์ของแม่เหล็กทั้งสองแท่งนี้

$$\text{ความเข้มจากแม่เหล็กแท่งที่ 1} = \frac{M_1}{(\sqrt{22^2 + 6^2})^3}$$

$$\text{ความเข้มจากแม่เหล็กแท่งที่ 2} = \frac{M_2}{(\sqrt{25^2 + 6^2})^3}$$

$$\begin{aligned}\frac{M_1}{M_2} &= \frac{(\sqrt{484 + 36})^2}{(\sqrt{625 + 25})^2} \\ &= \frac{(\sqrt{520})^2}{(\sqrt{650})^2} \\ &= \frac{0.7156}{1}\end{aligned}$$

ตัวอย่าง ๕ แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 10 ซม. วางอย่างข้างเข้าหาเข็มของแมกนีโตมิเตอร์ เป็นระยะห่างออกมา 15 ซม. ทำให้เข็มทิศชี้เป็นมุม 33° จงหาโมเมนต์ของแม่เหล็กแท่งนั้น กำหนดว่าความเข้มของแม่เหล็กของโลกตามแนวนอนเท่ากับ 0.22

ตามสูตร
$$\frac{M}{(\sqrt{r^2 + l^2})^2} = H \tan \theta$$

$$\begin{aligned}\therefore \text{โมเมนต์ของแม่เหล็ก } M &= (\sqrt{15^2 + 5^2})^2 \times 0.22 \times \tan 33^\circ \\ &= 564.5\end{aligned}$$

42. การแกว่งของแม่เหล็กในสนาม

ถ้าเอาแท่งแม่เหล็กมาแกว่งหนึ่ง และแขวนไว้เพื่อให้แกว่งไกวตามแนวนอนในสนามแม่เหล็ก และถ้าเราใช้แรงอันใดอันหนึ่งมาบังคับให้แม่เหล็กชี้ไปจากแนวเส้นของแรงในสนามนั้น แท่งแม่เหล็กจะแกว่งกลับไปกลับมา โดยแนวเส้น Magnetic Meridian ที่ผ่านศูนย์กลางแม่เหล็กแท่งที่แกว่งเป็นหลักกลาง การแกว่งจะแกว่งอยู่เป็นเวลานาน และความกว้างของส่วนแกว่งจะค่อย ๆ ลดลงจนสุดท้ายจึงจะหยุดนิ่งในแนวของเส้นของแรง

ถ้าระยะแกว่งไม่กว้างเกินไปนัก การแกว่ง 1 ครั้ง คือ นับตั้งแต่แม่เหล็กแกว่งผ่าน Magnetic Meridian ไปทางทิศหนึ่ง วนมาผ่านใหม่อีกครั้งหนึ่งในทิศเดียวกัน ระยะเวลาเท่ากันเสมอ และถ้า

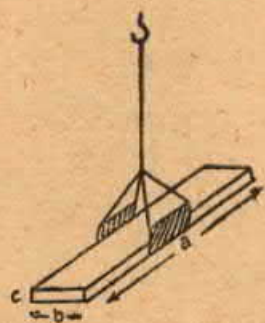
M เป็นโมเมนต์ของแม่เหล็กที่แกว่ง

H เป็นแรงความเข้มของสนามแม่เหล็กที่แกว่งอยู่

I เป็นโมเมนต์ของความเฉื่อย (Moment of Inertia) ของแท่งที่แกว่ง

t เป็นเวลาที่แกว่ง 1 ครั้ง คิดเป็นวินาที

$$\text{เราจะได้สูตรส่วนเกี่ยวของ } t = 2\pi \sqrt{\frac{I}{MH}}$$



รูปที่ 61

ฉะนั้นถ้าเราทราบ เวลาที่ตึง ใช้ เพื่อ แกว่ง 1 ครั้ง

และทราบโมเมนต์ของความเฉื่อยของแท่งที่แกว่ง เราจะได้คำนวณ

จำนวน MH ได้ จากจำนวนนี้ถ้ารู้ H เราจะได้คำนวณ M

ได้ ถ้ารู้ M นั่นเอง คำนวณ H ได้ ถ้าเราไม่ทราบทั้งค่า

เราก็นำแม่เหล็กแท่งนั้นเองไปวางที่แมกนีโตมิเตอร์ดังวิธีใน

ข้อ 41 และคำนวณหาส่วนเกี่ยวของของ $\frac{M}{H}$

$$\text{สมมติว่า } MH = a$$

$$\frac{M}{H} = b$$

$$MH \frac{M}{H} = ab$$

$$M = \sqrt{ab}$$

และ

$$\frac{MH}{M} = \frac{a}{b}$$

$$H = \sqrt{\frac{a}{b}}$$

เครื่องมือสำหรับใช้กับเรื่องทวน เรียกว่า แมกนีโตมิเตอร์ชนิดแกว่ง

(Vibration Magnetometer) เครื่องมืออย่างหย่าย ๆ จะทำได้ดังนี้

วางแม่เหล็กที่จะให้แกว่งไว้ดังในรูปที่ 61 เอาแม่เหล็กสอดไว้ในแผ่นกระดาษ

เล็ก ๆ ซึ่งเป็นทรงกรวย และเชือกที่ห้อยใช้เส้นไหม เส้นไหมที่ใช้จะตึงไม่ให้มี
เกลียว มิฉะนั้นจะเกิดแรงบิดกันออกเหนือไปจากแรงของแม่เหล็ก วิชิตะทราบายว่าไม่มี
แรงบิดก่อกวน เอาแท่งโลหะอื่น เช่น ทองแดงที่มีลักษณะคล้ายกันวางแทนไว้ และ
ปล่อยให้หมุนจนหมดเกลียว และเมื่อนิ่งแล้ว ให้แนวของแท่งอยู่ในแนวเหนือใต้ของโลก
เสร็จแล้วเอาแท่งทองแดงออก และเอาแท่งแม่เหล็กสอดเข้าแทน

เวลาจะใช้ควรให้แท่งแม่เหล็กบิดจากแนวเหนือใต้ แม่เหล็กประมาณไม่เกินมุม
5 องศา และใช้เวลากว่าแกว่งประมาณ 50 ครั้งเป็นเวลานานเท่าใด จากเวลาที่หา
ได้นี้ คำนวณต่อไปว่า แกว่ง 1 ครั้งจะเป็นเวลากี่วินาที

หมายเหตุ 1. โมเมนต์ของความเฉื่อยของแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะคำนวณได้ดังนี้

ถ้า m เป็นน้ำหนักของแท่งแม่เหล็กคิดเป็นกรัม

a เป็นความยาวของแท่ง คิดเป็นเซนติเมตร

b เป็นความกว้างของแท่ง คิดเป็นเซนติเมตร

I เป็นโมเมนต์ของความเฉื่อย ของแท่งแม่เหล็ก

$$I = m \frac{(a^2 + b^2)}{12}$$

ข้อได้สังเกตไว้ว่า ความหนาของแท่งไม่มีส่วนอยู่ในการ
คำนวณ แต่ถ้าใช้แท่งแม่เหล็กให้แกว่งโดยเอาด้าน C มาอยู่ใน
แนวขนานกับ b อยู่ในแนวยืน ความกว้างของแท่งจะกลายเป็น C
และโมเมนต์ของความเฉื่อยจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปทันที

2. ในการทดลอง แม่เหล็กอื่น ๆ ที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับผลการทดลอง
จะต้องไม่ให้มีอยู่ในระยะใกล้เคียง ต้องนำเอาออกไปเสียให้ห่าง

ตัวอย่าง

แท่งแม่เหล็กยาว 10 ซม. กว้าง 2 ซม. และหนัก 100 กรัม เมื่อ
เอาแท่งแม่เหล็กแท่งนี้วางอย่าง ขี เข้า ทา เข็ม ของ แมกนีโตมิเตอร์

ทางออกมา 25 ซม. ทำให้เข็มชี้เป็นมุม 25° ครั้นเขาแม่เหล็กทั้ง
นั้นให้แก่วงในสนามของโลก ปรากฏว่าแก่วง 30 ครั้งในเวลา
11 นาที 20 วินาที หมายความว่าความเข้มของโลกตามแนวชน และ
โมเมนต์ของแม่เหล็ก

จากการวางแนวกนิโคมิเตอร์ เราได้ส่วนเกินของ

$$\frac{2Mr}{(r^2 - l^2)^2} = H \tan \theta$$

$$\frac{M}{H} = \frac{(25^2 - 5^2)^2 \tan 25^\circ}{2 \times 25}$$

$$= 3358$$

โมเมนต์ของความเฉื่อย $I = m \frac{(a^2 + b^2)}{12}$

$$= 100 \cdot \frac{(100 + 4)}{12}$$

$$= 866.7$$

จากการแก่วงของแท่งแม่เหล็ก

$$t = 2\pi \sqrt{\frac{I}{MH}}$$

$$MH = \frac{4\pi^2 I}{t^2}$$

$$= \frac{4\pi^2 \times 866.7}{\left(\frac{680}{30}\right)^2}$$

$$= 66.62$$

$$MH \cdot \frac{M}{H} = 3358 \times 66.62$$

$$M = \sqrt{3358 \times 66.62}$$

$$= 473.1$$

$$\frac{MH}{\frac{M}{H}} = \frac{66.62}{3358}$$

$$H = \sqrt{\frac{66.62}{3358}}$$

$$= 0.14 \text{ เกาส์}$$

43. ใช้เปรียบเทียบความเข้มในสนามสองสนาม

สมมติว่าเราต้องการเปรียบเทียบความเข้มของสนาม 2 แห่ง ให้ความเข้มของสนามทั้งสองเป็น F_1 และ F_2

เอาแม่เหล็กแท่งหนึ่งมาให้นั่งในสนามอันแรก และหาว่าในเวลาจำกัด เช่น T วินาทีจะแกว่งกี่ครั้ง สมมติว่า แกว่ง F_1 ครั้ง เอาแม่เหล็กแท่งเดิมให้แกว่งในสนามอันที่สอง และสมมติว่า แกว่ง F_2 ครั้ง ในเวลา T วินาที

สำหรับแม่เหล็กแท่งแรก

$$\frac{T}{F_1} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{MF_1}}$$

สำหรับแม่เหล็กแท่งที่สอง

$$\frac{T}{F_2} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{MF_2}}$$

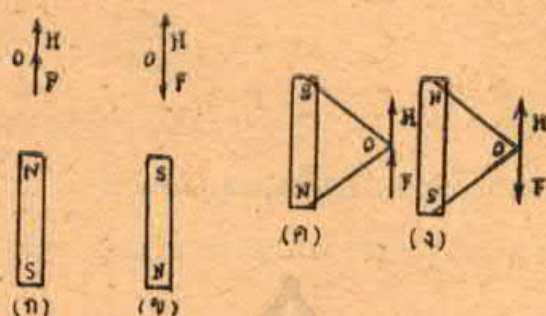
แต่แม่เหล็กเป็นแท่งเดียวกันโดยตลอด ฉะนั้น I และ M ย่อมเท่ากัน

$$\therefore \frac{2\pi \sqrt{\frac{I}{MF_2}}}{2\pi \sqrt{\frac{I}{MF_1}}} = \frac{\frac{T}{F_2}}{\frac{T}{F_1}}$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{F_1^2}{F_2^2}$$

โดยปรกติสนามแม่เหล็กที่เกิดจากแท่งแม่เหล็กแท่งหนึ่ง จะเป็นสนามของ

แม่เหล็กแท่งนั้นโดยเฉพาะไม่ได้ ย่อมมีสนามของโลกเข้ามาแทรกแซงอยู่ด้วยเสมอ
 เราจะเสริมกันหรือหักกัน แล้วแต่จะวางแม่เหล็กอย่างไร ในรูปที่ 62 แรงความ



รูปที่ 62

เข้มจากแท่งแม่เหล็ก จะเสริมกับแรงความเข้มของโลกที่จุด O ทั้งในรูป ก. และ
 ค. แรงรวมกลายเป็น $F+H$ และจะหักกันทั้งในรูป ข. และ ง. แรงรวมกลายเป็น $F-H$
 หรือ $H-F$ แล้วแต่ชั้นใดจะมีค่ามากกว่ากัน ฉะนั้นโดยทั่วไป เมื่อจะเปรียบเทียบ
 แรงความเข้มในสนาม 2 หรือมากกว่า 2 สนาม เรามักจะคิดแรงความเข้มจาก
 แม่เหล็ก 1 หรือมากกว่า 1 แท่ง เสริมกับความเข้มของโลกแล้ว จึงเปรียบเทียบกัน.

สมมุติว่า แรงความเข้มที่แม่เหล็กแท่งที่ 1 ส่งมายังจุด O เป็น F_1

สมมุติว่า แรงความเข้มที่แม่เหล็กแท่งที่ 2 ส่งมายังจุด O เป็น F_2

ให้แรงความเข้มของโลกตามแนวนอนเป็น H

เมื่อแม่เหล็กที่แกว่ง แกว่งในสนามของโลกอย่างเคียว แกว่งได้ θ_0 ครั้ง
 ในเวลา T วินาที

และแกว่งในสนามของโลก+สนามของแม่เหล็ก 1 แกว่งได้ F_1 ครั้ง ในเวลา
 T วินาที

และแกว่งในสนามของโลก + สนามของแม่เหล็ก ๒ แกว่งได้ F_2 ครั้ง ในเวลา T วินาที

$$\frac{F_1 + H}{H} = \frac{f_1^2}{f_0^2} \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{F_2 + H}{H} = \frac{f_2^2}{f_0^2} \dots \dots \dots (2)$$

$$\frac{F_1 + H}{F_2 + H} = \frac{f_1^2}{f_2^2} \dots \dots \dots (3)$$

จากสมการทั้ง ๓ นี้ เราสามารถแปรไปอย่างใดก็ได้

$$\begin{aligned} \text{เช่น จาก (1)} \quad \frac{F_1 + H - H}{H} &= \frac{f_1^2 - f_0^2}{f_0^2} \\ \frac{F_1}{H} &= \frac{f_1^2 - f_0^2}{f_0^2} \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก (2) เช่นเดียวกัน} \quad \frac{F_2}{H} &= \frac{f_2^2 - f_0^2}{f_0^2} \dots \dots \dots (5) \\ \therefore \quad \frac{F_1}{F_2} &= \frac{f_1^2 - f_0^2}{f_2^2 - f_0^2} \end{aligned}$$

เราเปลี่ยนมาใช้ จำนวนครั้งที่แกว่ง ในเวลาจำกัด (frequency) แทนใช้ เวลาที่ต้องการสำหรับการแกว่ง 1 ครั้ง (time for one oscillation) ดังที่ใช้ใน ข้อ 4๒ ทั้งนี้เพื่อให้สูตรเขารูปทรงง่ายและใช้ง่าย และไม่เป็นการเลี้ยวหายอย่างใด เพราะเป็นแต่เพียงเทียบกันเท่านั้น แต่การต้องการคำนวณตามสูตร $t = 2\pi$

$\sqrt{\frac{1}{MH}}$ t ในที่นี้เป็นเวลาเป็นวินาทีสำหรับการแกว่ง 1 ครั้ง สำหรับเวลาจำกัด กล่าวลงในข้อนี้ เวลาจะเป็นนาทีหรือวินาทีไม่สำคัญ

นักเรียนอาจถามว่า เมื่อกำหนดเวลาจำกัดให้เป็น 10 นาที และการแกว่ง นับได้ 30 ครั้ง และมีเศษของครึ่ง แต่ไม่ครบจำนวนครึ่งเป็นจำนวนเต็มจะอย่างไร สำหรับเรือนกขอสองแรงว่านับได้ถึง 30 ครั้ง เป็นจำนวนเต็ม ๆ ว่ากินเวลาเท่าใด สมมติว่า $14\frac{1}{2}$ นาที แล้วเทียบส่วนลงมามีว่า ถ้าเวลา 10 นาที จะเป็นกี่ครั้งได้

$$\frac{30 \times 10}{14\frac{1}{2}} \text{ หรือ } 20-89 \text{ ครั้ง}$$

หมายเหตุ สัตว์ข้างบนทั้งหมดจะใช้ไฟฟ้าเมื่อแม่เหล็กที่แกว่ง แกว่งในสนามเอก
 รูป (uniform field) ถ้าให้แกว่งในสนามของโลก จะใช้แม่เหล็ก
 แท่งขนาดเท่าใดก็ได้ แต่ถ้าใช้ตัววัดด้วยความเข้มจากแม่เหล็กแท่งอื่น
 ควรใช้แม่เหล็กที่แกว่งเป็นขนาดเล็ก

ตัวอย่าง แม่เหล็กของแมกนีโตมิเตอร์ชนิดแกว่ง แกว่งได้ 10 ครั้งใน 3 นาที
 20 วินาที เมื่ออยู่ในสนามของโลกแต่อย่างเดียว ครั้นเอาแม่เหล็ก
 แท่ง A มาวางเพื่อให้แรงความเข้มจากแม่เหล็กเสริมแรงของโลกแกว่ง
 ได้ 20 ครั้งใน 5 นาที ถ้าเอาแม่เหล็กแท่ง B มาแทน A แกว่งได้
 30 ครั้ง ใน 6 นาที จงเปรียบเทียบแรงความเข้มที่เกิดจากแม่เหล็ก A
 โดยเฉพาะ แม่เหล็ก B โดยเฉพาะ และแรงของโลก

ถ้าเราเอาแม่เหล็กแท่ง A กลับหัวเสีย แม่เหล็กของแมกนีโต
 มิเตอร์จะแกว่งกี่ครั้งใน 10 นาที

ให้แรงความเข้มจากแม่เหล็กแท่ง A และ B เป็น F_1 และ F_2

อัตราการแกว่งใน 3 คราวนั้น เวลาไม่เท่ากัน ฉะนั้นเราเลือกเวลา
 จำกัด เช่น 1 นาที

∴ เมื่อแกว่งในสนามที่มีความเข้ม H แกว่งได้ 3 ครั้งต่อนาที

„ „ $F_1 + H$ แกว่งได้ 4 ครั้งต่อนาที

„ „ $F_2 + H$ แกว่งได้ 5 ครั้งต่อนาที

$$\frac{F_1 + H}{H} = \frac{4^2}{3^2}$$

$$\frac{F_1 + H - H}{H} = \frac{16 - 9}{9}$$

$$\frac{F_1}{H} = \frac{7}{9} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{และ } \frac{F_2 + H}{H} = \frac{5^2}{3^2}$$

$$\frac{F_2}{H} = \frac{16}{9}$$

$$\therefore F_1 : F_2 : H = 7 : 16 : 9.$$

ในคอนสแตนต์ แรงความเข้มรวมกลายเป็น $H - F_1$ เพราะ $H > F_1$
 สมมติว่า แม่เหล็ก แกว่งได้ f ใน 1 นาที

$$\frac{H - F_1}{H} = \frac{f^2}{3^2}$$

$$1 - \frac{F_1}{H} = \frac{f^2}{9}$$

$$\text{จาก (1)} \quad 1 - \frac{7}{9} = \frac{f^2}{9}$$

$$\frac{2}{9} \times 9 = f^2$$

$$f = \sqrt{2} \text{ หรือ } 1.414$$

$\therefore$ ใน 1 นาที แม่เหล็กแกว่งได้ $\sqrt{2}$ ครั้ง

ใน 10 นาที แม่เหล็กแกว่งได้ $10 \sqrt{2}$ ครั้ง

$$= 14.14 \text{ ครั้ง}$$

44. ใช้เปรียบเทียบโมเมนต์ของแม่เหล็ก

ในการเปรียบเทียบโมเมนต์ของแม่เหล็ก ถ้าใช้แม่เหล็กที่มีน้ำหนักเท่ากัน
 กว้างยาวเท่ากันจะสะดวกมาก และในตอนที่กระทำต่อไปจะสมมติว่าเป็นเช่นนั้น

ให้โมเมนต์ของแม่เหล็กที่ต้องการเปรียบเทียบโมเมนต์เป็น M_1 และ M_2

เราตั้งที่หนึ่งมาให้แกว่งในสนาม H ของโลก สมมุติว่าแกว่งได้ f_1 ครั้งในเวลาจำกัด เช่น T วินาที

เราตั้งที่สองมาแทนที่ (แม่เหล็กอันแรกต้องเอาไปให้ห่าง) สมมุติว่าแกว่งได้ f_2 ครั้งในเวลา T วินาที

$$\therefore \text{คาบสัณย } t = 2\pi \sqrt{\frac{I}{MH}}$$

$$\therefore \text{สำหรับแม่เหล็กแท่งที่ 1} \quad \frac{T}{f_1} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{M_1 H}}$$

$$\text{สำหรับแม่เหล็กแท่งที่ 2} \quad \frac{T}{f_2} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{M_2 H}}$$

$$\frac{2\pi \sqrt{\frac{I}{M_2 H}}}{2\pi \sqrt{\frac{I}{M_1 H}}} = \frac{\frac{T}{f_2}}{\frac{T}{f_1}}$$

แต่แม่เหล็กขนาดเท่ากัน I จึงเท่ากัน และ H มีค่าเหมือนกันตลอด

$$\therefore \frac{M_1}{M_2} = \frac{f_1^2}{f_2^2}$$

ตัวอย่าง แม่เหล็กแท่งหนึ่งแกว่งในสนามแม่เหล็กของโลกได้ 30 ครั้ง ในเวลา 10 นาที แม่เหล็กแท่งที่สองแกว่งได้ 30 ครั้งในเวลา 12 นาที เปรียบเทียบโมเมนต์ของแม่เหล็กทั้งสองแท่งนี้

ให้โมเมนต์ของแม่เหล็กเป็น M_1 และ M_2 ตามลำดับ

แม่เหล็กแท่งแรกแกว่งได้ 30 ครั้งใน 10 นาที

แม่เหล็กแท่งที่สอง แกว่งได้ 30 ครั้งใน 12 นาที

หรือ $\frac{30 \times 10}{12}$ ครั้งใน 10 นาที

$$= 25 \text{ ครั้งใน 10 นาที}$$

$$\therefore \frac{M_1}{M_2} = \frac{30^2}{25^2}$$

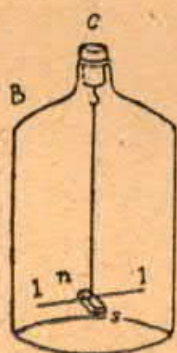
$$= \frac{36}{25}$$

45. แมกนีโตมิเตอร์ชนิดแกว่ง

ในการใช้แมกนีโตมิเตอร์ชนิดแกว่ง ถ้าจะใช้เปรียบเทียบกับความเข้มของสนามที่เป็นสนามเอกรูป หรือจะใช้เปรียบเทียบกับโมเมนต์ของแม่เหล็กสองแท่งโดยให้แกว่งในสนามเอกรูปของแม่เหล็กของโลก เราจะใช้แม่เหล็กแขวนไว้ดังอธิบายไว้ในข้อ 42 ก็พอ เพราะขนาดของแท่งแม่เหล็กไม่ทำให้ผลผิดไป ทุกส่วนของแท่งแกว่ง ๆ อยู่ในสนามเอกรูปแล้ว และโดยเหตุที่แท่งแม่เหล็กเป็นขนาดใหญ่ การเคลื่อนที่ของอากาศจะไม่ทำให้การแกว่งผิดไปจากที่ควรเป็นมากนัก

ถ้าเราไม่สามารถทำให้สนามเป็นสนามเอกรูปได้ และถือได้แต่เพียงว่าสนามจะเป็นสนามเอกรูป ในอาณาเขตเล็ก ๆ เราต้องใช้แม่เหล็กที่แกว่งเป็นขนาดเล็กและโดยเหตุนี้เองจึงควรมีภาชนะครอบไว้ให้มีขีดเพื่อกันส่วนเกี่ยวข้องของอากาศ

เครื่องมือที่อธิบายต่อไปนี้จะใช้ได้ก็ แต่ด้วยการให้ละเอียดยิ่งขึ้นไปอีก คือทำให้พิศดารขึ้นซึ่งจะไม่กล่าวในที่นี้ เครื่องมือที่กล่าวถึงหรือเครื่องมืออย่างง่ายที่ได้อธิบายไว้แล้วในข้อ 42. ก็เป็นแมกนีโตมิเตอร์ชนิดแกว่ง (Vibration Magnetometer) ทั้งนี้ B เป็นขวดโม่แก้ว (Bell Jar) อันหนึ่ง ซึ่งมี C และไครก C มีขดลวดอยู่ เอาแม่เหล็ก ns ยาวประมาณ 1 นิ้ว ห้อยจากขดลวดเส้นไหม ซึ่งจะตึงไม่ให้แม่เหล็กโยก แท่งแกว่ง II ที่ตรงอยู่ก็กับแท่งแม่เหล็ก ns นั้นหรือไม่มีก็ได้ ที่แสดงไว้ก็เพื่อบอกในการนับจำนวนครั้ง



รูปที่ 68

ของการแกว่งเท่านั้น การตึงแท่งแกว่งด้วยแม่เหล็กใช้ตรงก็พอ

ต่อไปนี้จะรวมเรื่องทศวรรษเวลาใช้แมกนีโตมิเตอร์ชนิดแกว่ง

ก. เส้นไหมจะต้องไม่ให้แม่เหล็กโยก วิ่งก็ได้อธิบายไว้แล้ว

ข. เมื่อจะให้แม่เหล็กทั้งคันแกว่งจะเป็นโดยเอาแม่เหล็กอื่นมาช่วย หรือวิธี
อื่นก็ตาม ถ้ามีการส่ายค่อย ให้เริ่มใหม่ เราต้องการแต่การแกว่ง Vibration เท่านั้น

ค. แม่เหล็กอื่นที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับทฤษฎี จะต้องอยู่ในระยะที่ห่าง
ออกไป

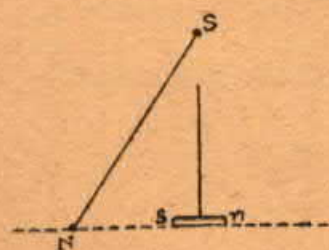
ง. การให้แม่เหล็กแกว่ง ต้องไม่ให้มีแม่เหล็กมาขัดโตเกินไปนัก ประมาณ
มุม 3-5 องศาพอ เพราะถ้ามุมแกว่งโตเกินไปนัก การแกว่งครั้งต่างๆ กัน
เวลาไม่เท่ากันโดยแท้

จ. ในการนี้จำนวนครั้งของการแกว่ง ควรมีแนวหลักเช่นแนวเหนือใต้
ของแม่เหล็กของโลก เขียนไว้บนโต๊ะใต้แม่เหล็ก ทั้งคันนี้และรายการอื่นๆ
เมื่อแม่เหล็กแกว่งผ่านเส้นหลัก

การแกว่ง 1 ครั้งคือการที่แม่เหล็กผ่านเส้นหลักไปทางทิศหนึ่ง จนมาผ่าน
อีกครั้งในทิศเดียวกัน

46. พิสูจน์กฎกำลังสองผกผันโดยแมกนีโตมิเตอร์

ในข้อ 25 ได้อ้างกฎกำลังสองผกผันไว้ และบอกไว้ว่าความเข้ม ณ จุด
ต่างๆ ในสนามที่เกิดจากแม่เหล็กขั้วเดียวกัน จะลดลงตามส่วนของระยะทางกำลัง
สอง เรืองนี้จะพิสูจน์ให้เห็นจริงได้โดยการทดลองต่อไปนี้



รูปที่ 64

ก. เอาแมกนีโตมิเตอร์มาขึ้นหนึ่ง และให้แม่เหล็ก
แกว่งในสนาม H ของโลกแต่อย่างเดียว สมมุติว่าแกว่ง
ได้ 10 ครั้ง ในเวลาจำกัดจำนวนหนึ่ง

คราวนี้เอาแม่เหล็กแท่งเล็กแต่ยาว เช่น NS มาวาง
เพื่อให้ขั้ว N อยู่บนเส้น Magnetic Meridian ขึ้นด้วย

กันกับที่ผ่านแท่งแม่เหล็ก ns และอยู่ทางทิศใต้ของแม่เหล็ก ห่างออกมา r_1 เซนติเมตร ส่วนขั้ว S ให้อยู่ข้างบนแม่เหล็ก ns พอดีกับในรูปที่ ๕๔ ทั้งนี้เพื่อให้แรงจากขั้ว S (ซึ่งมีค่าน้อยอยู่แล้ว เพราะอยู่ห่างออกไป) ที่ระดมมาลงแม่เหล็ก ns ลงมาในแนวตั้งฉากกับแม่เหล็ก ns จึงไม่ยังเกิดผลอะไรแก่การแกว่งของแท่ง การแกว่งคงได้รับแรงจากขั้ว N และจากโลกเท่านั้น

สมมติว่าแม่เหล็ก ns แกว่งได้ f_1 ครั้งในเวลาจำกัดเท่ากับเท็ม เอาแม่เหล็กแท่งนี้มาไว้ระยะให้ขั้ว N ห่าง r_2 เซนติเมตร

สมมติว่าคราวใหม่นี้ แม่เหล็ก ns แกว่งได้ f_2 ครั้งในเวลาเท่าเดิม

ให้ F_1 เป็นความเข้มที่เกิดจากขั้ว N เมื่ออยู่ระยะห่างจาก ns, r_1 ซม.

ให้ F_2 เป็นความเข้มที่เกิดจากขั้ว N เมื่ออยู่ระยะห่างจาก ns, r_2 ซม.

$$\therefore \frac{F_1}{F_2} = \frac{f_1^2 - f_0^2}{f_2^2 - f_0^2}$$

ข. ถ้าถูกกำลังสองคูณเป็นทวีคูณ F_1 จะเท่ากับ $\frac{m}{2r_1}$ เมื่อ m เป็นกำลังทวีคูณของแม่เหล็ก NS

และ F_2 จะเท่ากับ $\frac{m}{2r_2}$

$$\text{และ } \frac{F_1}{F_2} = \frac{\frac{1}{r_1^2}}{\frac{1}{r_2^2}}$$

ค. เมื่อทดลองดูและได้เป็นตัวเลขจริง ๆ จะได้ว่า

$$\frac{f_1^2 - f_0^2}{f_2^2 - f_0^2} \quad \text{กับ} \quad \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad \text{เท่ากันจริง ๆ}$$

$$\text{แต่} \quad \frac{f_1^2 - f_0^2}{f_2^2 - f_0^2} = \frac{F_1}{F_2} \dots\dots\dots \text{ตาม ก.}$$

$$\therefore \frac{F_1}{F_2} = \frac{\frac{1}{r_1^2}}{\frac{1}{r_2^2}}$$

ซึ่งเป็นการพิสูจน์กฎกำลังสองผกผัน

ลองใช้เป็นตัวเลขกัน แม่เหล็กของแมกนีโตมิเตอร์ชนิดแกว่ง แกว่งในสนามแม่เหล็กของโลกแต่ละฟอง แกว่งได้ 10 ครั้งใน 1 นาที ครั้นเอาขั้วเหนือเคียวมาวางทางทิศใต้ของแม่เหล็กของแมกนีโตมิเตอร์ห่างออกมา $5\sqrt{2}$ เซนติเมตร คราวใหม่นี้ แม่เหล็กของแมกนีโตมิเตอร์แกว่งได้ $5\sqrt{6}$ ครั้งต่อนาที และเมื่อขั้วเหนือเคียวให้ห่างออกไปเป็น 10 เซนติเมตร แม่เหล็กของแมกนีโตมิเตอร์แกว่งได้ $5\sqrt{5}$ ครั้งต่อนาที จึงพิสูจน์ว่ากฎกำลังสองผกผันเป็นจริง

ให้ m เป็นกำลังหน่วยขั้วของขั้วเหนือเคียว

ให้ F_1 เป็นแรงความเข้มที่ขั้วเคียวส่งมายังแม่เหล็ก เมื่อขั้วเคียวอยู่ห่าง 5 ซม.

ให้ F_2 เป็นแรงความเข้มที่ขั้วเคียวส่งมายังแม่เหล็ก เมื่อขั้วเคียวอยู่ห่าง 10 ซม.

ให้ H เป็นแรงความเข้มตามแนวนอนของแม่เหล็กของโลก

ก. จากจำนวนที่กำหนด และคิดจากการแกว่งของแม่เหล็กของแมกนีโตมิเตอร์

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{f_1^2 - f_0^2}{f_2^2 - f_0^2}$$

$$= \frac{(5\sqrt{6})^2 - 10^2}{(5\sqrt{5})^2 - 10^2}$$

$$= \frac{150 - 100}{125 - 100}$$

$$= \frac{2}{1}$$

๒. ถ้ากฎกำลังสองผกผันเป็นจริง

$$F_1 = \frac{m}{(5\sqrt{2})^2}$$

$$F_2 = \frac{m}{10^2}$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{\frac{m}{50}}{\frac{m}{100}}$$

$$= \frac{2}{1}$$

ซึ่งตรงกับตอน ก. ฉะนั้นข้อนี้เป็นการพิสูจน์ว่ากฎกำลังสองผกผันเป็นจริง

แม่เหล็ก

แบบฝึกหัดชุดที่ ๑ (แรงดูดหรือแรงผลักระหว่างขั้วแม่เหล็ก)

- แม่เหล็ก 2 ขั้วมีกำลังขั้ว + 50 และ + 60 หน่วยขั้ว วางไว้ห่างกันเป็นระยะ 10 เซนติเมตร จงหาแรงผลักระหว่างขั้วแม่เหล็กทั้งสองนั้น (ตอบ 30 คาซัน)
- แม่เหล็ก 2 ขั้วมีกำลังขั้ว - 80 และ + 70 หน่วยขั้ว วางไว้ห่างกันเป็นระยะ 5 เซนติเมตร จงหาแรงคุดระหว่างขั้วแม่เหล็กทั้งสองนั้น (ตอบ 224 คาซัน)
- แรงคุดระหว่างขั้วแม่เหล็กคุดหนึ่ง ซึ่งวางห่างกันเป็นระยะ 6 เซนติเมตร เป็น 30 คาซัน ถ้าขั้วหนึ่งมีกำลังขั้ว + 20 หน่วยขั้ว ขั้วหนึ่งจะเป็นขั้วชนิดใด และมีกำลังขั้วเท่าใด (ตอบ - 54 หน่วยขั้ว)
- ขั้วแม่เหล็กคุดหนึ่ง เมื่อวางห่างกัน 10 เซนติเมตร เกิดแรงคุดหรือแรงผลักระหว่างขั้วแม่เหล็กทั้งสอง 40 คาซัน เมื่อเลื่อนขั้วแม่เหล็กทั้งสองให้ห่างออกไปอีก 5 เซนติเมตร จะเกิดแรงคุดหรือแรงผลักระหว่างขั้วแม่เหล็กทั้งสองเท่าใด (ตอบ 17.78 คาซัน)
- ขั้วแม่เหล็กคุดหนึ่งมีกำลังขั้ว 50 และ 60 หน่วยขั้ว วางห่างกันเป็นระยะ 10 นิ้ว และขั้วแม่เหล็กคุดอีกคุดหนึ่งมีกำลังขั้ว 40 และ 20 หน่วยขั้ว วางไว้ห่างกันเป็นระยะ 5 นิ้ว จงเปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นระหว่างแม่เหล็กทั้งสองคุดนั้น (ตอบ 15:16)
- ขั้วแม่เหล็กสองขั้ว ขั้วหนึ่งมีกำลังขั้วเป็นสองเท่าของอีกขั้วหนึ่ง วางไว้ห่างกันเป็นระยะ 10 เซนติเมตร เกิดแรงคุดหรือแรงผลักระหว่างขั้วแม่เหล็กทั้งสองเป็น 50 คาซัน จงหา กำลังขั้วของแม่เหล็กทั้งสองนั้น (ตอบ 50, 100 หน่วยขั้ว)

7. ขวแม่เหล็ก 2 ขวแม่เหล็ก 50 และ 80 หน่วยขั้ว ระยะว่างห่างกันเป็นระยะเท่าไร จึงจะเกิดแรงคดหรือแรงผลักระหว่างขวแม่เหล็กทั้งสอง มีขนาดเท่ากับน้ำหนัก 0.1 กรัม กำหนดให้ 1 กรัม = 981 คาห์น (ตอบ 6.39 เซนติเมตร)
8. ขวแม่เหล็ก 3 ขวแม่เหล็กขั้วเป็น +50, +60 และ -70 หน่วยขั้ว วางไว้ในเส้นตรงเดียวกัน ทิศ ก, ข และ ค ตามลำดับ ก ข มีระยะเป็น 10 เซนติเมตร ข ค มีระยะเป็น 10 เซนติเมตร แรงดึงดูดที่เกิดขึ้นทุกก. (ตอบ 21.25 คาห์น)
9. ก ข ค เป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่ารูปหนึ่ง มีด้านยาวด้านละ 10 เซนติเมตร มีขวแม่เหล็ก +50, +60 และ -70 หน่วยขั้ว วางไว้ที่จุด ก, ข และ ค ตามลำดับ แรงดึงดูดที่เกิดขึ้นทุกก. (ตอบ 32.79 คาห์น)
10. แม่เหล็กสองแท่ง แท่งหนึ่งมีกำลังขั้ว 40 หน่วยขั้ว อีกแท่งหนึ่งมีกำลังขั้ว 60 หน่วยขั้ว วางไว้ให้จุดกึ่งกลางของแม่เหล็กทั้งสองห่างกัน 20 เซนติเมตร และแนวแกนแม่เหล็กทั้งสองเป็นเส้นตรงเดียวกัน ถ้าแม่เหล็กทั้งสองยาวแท่งละ 10 เซนติเมตร แรงดึงดูดหรือแรงผลักระหว่างแม่เหล็กทั้งสองนั้น (ตอบ 14.67 คาห์น)
11. ขวแม่เหล็กมีกำลังขั้วเป็น +50, -40 และ -60 หน่วยขั้ว วางไว้ในเส้นตรงเดียวกัน ทิศ ก, ข และ ค ตามลำดับ ก ข มีระยะเป็น 5 เซนติเมตร ข ค มีระยะเป็น 10 เซนติเมตร แรงดึงดูดที่เกิดขึ้นทุกก. (ตอบ 104 คาห์น)
12. ก ข ค เป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉากรูปหนึ่ง มีมุม ก. เป็นมุมฉาก กานที่ประกอบมุมฉากมีความยาวเป็นด้านละ 10 เซนติเมตร มีขวแม่เหล็ก +50, -40 และ -60 หน่วยขั้ว วางไว้ที่จุด ก, ข และ ค ตามลำดับ แรงดึงดูดที่เกิดขึ้นทุกก. (ตอบ 38.06 คาห์น)

13. ก ข กง. เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสรูปหนึ่ง มีด้านยาวด้านละ 10 เซนติเมตร มีหัวแม่เหล็ก $+100, -50, +100$ และ -50 หน่วยขั้ว วางไว้ที่จุด ก, ข, ค และ ง. ตามลำดับ จงหาแรงที่กระทำบนทุกจุด. (ตอบ 58.2 คาบ)
14. ก ข กง. เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสรูปหนึ่ง มีด้านยาวด้านละ 10 เซนติเมตร มีหัวแม่เหล็ก $+50, -50, +40$ และ -40 หน่วยขั้ว วางไว้ที่จุด ก, ข, ค และ ง. และที่จุดศูนย์กลางของสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีหัวแม่เหล็ก 10 หน่วยขั้ว จงหาแรงที่กระทำบนทุกจุดศูนย์กลางของสี่เหลี่ยมจัตุรัสนั้น. (ตอบ 2.838 คาบ)

แบบฝึกหัดชุดที่ 2 (ความเข้มของสนามแม่เหล็กเนื่องจากขั้วแม่เหล็ก)

1. ขั้วแม่เหล็กขั้วหนึ่ง มีกำลังขั้ว 50 หน่วยขั้ว จงหาความเข้มของสนามแม่เหล็กซึ่งอยู่ห่างเป็นระยะ 5 เซนติเมตร (ตอบ 2 เกาส์)
2. ขั้วแม่เหล็กขั้วหนึ่ง ทำให้เกิดความเข้มของสนามแม่เหล็กที่จุดซึ่งอยู่ห่างออกไป 10 เซนติเมตร เป็น 0.18 เกาส์ จงหา กำลังขั้วของขั้วแม่เหล็กขั้วนั้น. (ตอบ 18 หน่วยขั้ว)
3. ขั้วแม่เหล็กขั้วหนึ่ง ทำให้เกิดความเข้มของสนามแม่เหล็ก ที่จุดซึ่งอยู่ห่างออกไป 5 เซนติเมตร เป็น 0.18 เกาส์ จงหาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่จุดห่างจากขั้วแม่เหล็ก 3 เซนติเมตร (ตอบ 1.125 เกาส์)
4. ขั้วแม่เหล็กขั้วหนึ่ง ทำให้เกิดความเข้มของสนามแม่เหล็ก ที่จุดซึ่งอยู่ห่างออกไป 10 เซนติเมตร เป็น 0.2 เกาส์ จงหา กำลังขั้วของขั้วแม่เหล็กนั้น ถ้าเอาขั้วแม่เหล็กขั้วหนึ่งมีกำลังขั้ว 50 หน่วยขั้วไปวางไว้ที่จุดนั้น จะทำให้เกิดแรงดูดหรือแรงผลักดันขึ้นเท่าใด. (ตอบ 20 หน่วยขั้ว, 10 คาบ)

5. ขวแม่เหล็กขงหนึ่ง ทำให้เกิดความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ทุกขงขบห่างออกไป 5 เซนติเมตร เป็น 0.2 เกาส์ และขวแม่เหล็กอีกขงหนึ่ง ทำให้เกิดความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ทุกขงห่างออกไป 10 เซนติเมตร เป็น 0.05 เกาส์ รงเปรียบเทียบบ้างขวแม่เหล็กทั้งสองนั้น. (ตอบ 1:1)
6. ถ้าเอาขวแม่เหล็กมิกำลัง 200 หน่วยขง วางไว้ที่ทุก ๆ หนึ่งขงมีความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกเป็น 0.18 เกาส์ จะเกิดแรงคุดหรือแรงผลับนขงแม่เหล็กนั้นเท่าใด. (ตอบ 36 คายน์)
7. ขวแม่เหล็กขงหนึ่งมิกำลังขง 100 หน่วยขง วางไว้ที่ทุก ๆ หนึ่งในสนามแม่เหล็กโลกทำให้เกิดแรงที่ขวแม่เหล็กนั้น ตามแนวนอนเป็น $\frac{20}{981}$ กรัม รงหาความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอนที่ทุกนั้น กำหนดให้ 1 กรัม = 981 คายน์ (ตอบ .02 เกาส์)
8. ขวแม่เหล็กสองขง มิกำลังขง +25 และ +36 หน่วยขง วางไว้ห่างกันเป็นระยะ 11 เซนติเมตร รงหาตำแหน่งที่ความเข้มของสนามแม่เหล็กมิก่าเป็นศูนย์ (ตอบ ห่างจากขง +25 หน่วยขง 5 เซนติเมตร)
9. ขวแม่เหล็ก 2 ขง มิกำลัง 50 หน่วยขงเท่ากัน แต่ขงคุดรงกันข้าม วางไว้ห่างกัน 10 เซนติเมตร รงหาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ทุก ๆ หนึ่งในแนวเส้นตรง ซึ่งคุดระหว่างขวแม่เหล็กทั้งสองนั้น แต่ห่างออกไปภายนอกจากขงหนึ่งเป็นระยะ 10 เซนติเมตร. (ตอบ 0.375 เกาส์)
10. ก, ข, ค และ ง. เป็นขงคุดขงอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน ก ข, ข ค และ ค ง. ห่างกันเป็นระยะเป็น 5 เซนติเมตร มิกำลังขง +90, +20 และ -15 หน่วยขง วางไว้ที่ ก, ข และ ค ตามลำดับ รงหาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ทุก ง. (ตอบ 0)

11. กช คง เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสหนึ่ง มีด้านยาวด้านละ 10 เซนติเมตร มีหัวแม่เหล็ก $+100, -100, -50$ และ $+50$ หน่วยหัว วางไว้ที่มุมทั้งสี่ตามลำดับ จงหาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เส้นตรงแบ่งมุมทั้งสองตัดกัน (ตอบ 4.242 เกาส์)

แบบฝึกหัดชุดที่ 3 (โมเมนต์ของแรงคู่ควบของแม่เหล็ก)

- แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 10 เซนติเมตร มีกำลังหัว ๆ ละ 20 หน่วยหัว จั๊ให้เบนจากแนวเมริเดียนเป็น 30° จงหาโมเมนต์ของแรงคู่ควบของแม่เหล็กแท่งนั้น เพื่อบิกกลับสู่แนวเมริเดียน กำหนดให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอนเป็น 0.2 เกาส์ (ตอบ 20 คาญ—เซนติเมตร)
- เข็มทิศหนึ่งยาว 10 เซนติเมตร มีกำลังหัว 10 หน่วยหัว ถ้าจั๊ให้เบนจากแนวเมริเดียนเป็นมุม 30° จงหาโมเมนต์ของแรงคู่ควบของแม่เหล็ก เพื่ทำให้เข็มทิศบิกกลับเข้าสู่แนวเมริเดียน
ถ้าจั๊เข็มทิศให้เบนตั้งฉากกับแนวเมริเดียน จะมีโมเมนต์ของแรงคู่ควบเท่าใด.
ถ้าเข็มทิศอยู่ในแนวเมริเดียน แม่เหล็กจะมีโมเมนต์ของแรงคู่ควบของแม่เหล็กเท่าใด (กำหนดให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอนเป็น 0.2 เกาส์) (ตอบ 10, 20, 0 คาญ—เซนติเมตร)
- แม่เหล็กแท่งหนึ่งห้อยแขวนไว้ในแนวนอน จั๊ให้เบนจากแนวเมริเดียนเป็นมุม 45° และ 60° ตามลำดับ จงเปรียบเทียบโมเมนต์ของแรงคู่ควบของแม่เหล็กทั้งสอง เพื่อบิกกลับสู่แนวเมริเดียน (ตอบ $\sqrt{2} : \sqrt{3}$)
- แม่เหล็กแท่งหนึ่งห้อยแขวนไว้ในแนวนอน ถ้าจั๊ให้เบนจากแนวเมริเดียนเป็นมุม 30° จะเกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบ เพื่อบิกกลับเข้าสู่แนวเมริเดียน

50 คาบ — เซนติเมตร ถ้าบีบให้แบนออกเป็นมุม 60° จากแนวเมริเดียน
จะเกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบของแม่เหล็กเท่าใด. (ตอบ 86.6 คาบ —
เซนติเมตร)

5. แม่เหล็กขนาดเท่ากันสองแท่ง และมีโมเมนต์แม่เหล็กเท่ากัน เขาผูกติดกัน
ให้จุดกึ่งกลางอยู่ด้วยกัน และแนวแกนของแม่เหล็กทั้งสองตั้งได้ฉากซึ่งกัน
และกันแล้วเอาเชือกผูกตรงจุดกึ่งกลางห้อยแขวนไว้ ให้สามารถหมุนไต่รอบๆ
แกนในแนวตั้ง จงหาว่าแม่เหล็กทั้งสองจะวางตัวอยู่ในตำแหน่งไหน. (ตอบ
45° กับแนวเมริเดียน)

แบบฝึกหัดชุดที่ 4 (ความเข้มของสนามเนื่องจากแท่งแม่เหล็ก)

1. แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 20 เซนติเมตร มีกำลังขั้วๆ ละ 40 หน่วยขั้ว จงหา
ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่จุดบนแนวแกน ห่างจากจุดกึ่งกลางแท่ง
แม่เหล็กเป็นระยะ 30 เซนติเมตร (ตอบ 0.075 เกาส์)
2. แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 10 เซนติเมตร มีโมเมนต์แม่เหล็ก 200 หน่วย จงหา
ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่จุดบนแนวแกน ห่างจากปลายแท่งแม่เหล็ก
เป็นระยะ 10 เซนติเมตร. (ตอบ 0.15 เกาส์)
3. แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 10 เซนติเมตร มีกำลังขั้วๆ ละ 25 หน่วยขั้ว จง
หาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่จุดบนแนวเส้นเอ็กวอเตอร์ของแท่งแม่เหล็ก
ห่างจากจุดกึ่งกลางแม่เหล็กเป็นระยะ 10 เซนติเมตร (ตอบ 0.18 เกาส์)
4. แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 20 เซนติเมตร มีโมเมนต์แม่เหล็ก 250 หน่วย
จงหาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่จุดบนแนวเส้นเอ็กวอเตอร์แท่งแม่เหล็ก ห่าง
จากจุดกึ่งกลางแท่งแม่เหล็กเป็นระยะ 20 เซนติเมตร (ตอบ 0.022 เกาส์)

5. แม่เหล็กแท่งสั้นแท่งหนึ่งมีโมเมนต์แม่เหล็ก 100 หน่วย หมายความว่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ทุกในแนวแกนแท่งแม่เหล็ก ห่างจากแท่งแม่เหล็กเป็นระยะ 10 เซนติเมตร (ตอบ 0.2 เกาส์)
6. แม่เหล็กแท่งสั้นแท่งหนึ่งมีโมเมนต์แม่เหล็ก 128 หน่วย หมายความว่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ทุกบนแนวเส้นเอ็กวอเตอร์ของแท่งแม่เหล็ก ห่างจากแท่งแม่เหล็กเป็นระยะ 8 เซนติเมตร. (ตอบ 0.25 เกาส์)
7. แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 10 เซนติเมตร วางไว้ในแนวเมริเดียนแม่เหล็ก ให้ขั้วเหนือชี้ทางทิศใต้ ส่งแรงออกไปสัมผัสกับขั้วแม่เหล็กโลกที่ทุกห่างจากกึ่งกลางแท่งแม่เหล็กเป็นระยะ 15 เซนติเมตร หมายความว่าโมเมนต์ของแม่เหล็กแท่งนั้น (กำหนดให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอนเป็น 0.18 เกาส์) (ตอบ 240 หน่วย)
8. แม่เหล็กแท่งสั้นแท่งหนึ่ง วางไว้ในแนวเมริเดียนแม่เหล็ก ให้ขั้วเหนือชี้ทางทิศเหนือ ส่งแรงออกไปสัมผัสกับขั้วแม่เหล็กโลกที่ทุกห่างจากกึ่งกลางแม่เหล็กเป็นระยะ 6 เซนติเมตร หมายความว่าโมเมนต์ของแม่เหล็กแท่งนั้น (กำหนดให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอนเป็น 0.18 เกาส์) (ตอบ 38.88 หน่วย)
9. แม่เหล็กแท่งสั้นแท่งหนึ่งมีโมเมนต์แม่เหล็ก 46.08 หน่วย วางไว้ในแนวเมริเดียนแม่เหล็ก ให้ขั้วเหนือชี้ทางทิศใต้ ส่งแรงออกไปสัมผัสกับขั้วแม่เหล็กโลกที่ทุกห่างจากกึ่งกลางแม่เหล็กเป็นระยะ 8 เซนติเมตร หมายความว่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอน ณ ที่แห่งนั้น (ตอบ 0.18 เกาส์)

10. เชื่อมท่อให้เป็นแม่เหล็กแล้วชนหนึ่งยาว 10 เซนติเมตร มีกำลังขั้ว ๆ ละ 15 หน่วยขั้ว ถ้านำขั้วแม่เหล็กชนหนึ่งมีกำลังขั้ว 50 หน่วยขั้ว มาวางไว้ที่ รุกบนแนวแกนของเข็มอื่นนั้น ห่างจากจุดกึ่งกลางของเข็มแม่เหล็กเป็นระยะ 15 เซนติเมตร จะเกิดแรงชนขั้วแม่เหล็กที่นำมาวางนั้นเท่าใด (ตอบ 5.625 กาญจน์)
11. แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 10 เซนติเมตร มีโมเมนต์แม่เหล็ก 200 หน่วย ถ้านำขั้วแม่เหล็กชนหนึ่งมีกำลังขั้ว 30 หน่วยขั้ว มาวางไว้ที่ รุกบนแนวเส้น ขั้วเคอร์ของแท่งแม่เหล็ก ห่างจากกึ่งกลางแท่งแม่เหล็กเป็นระยะ 10 เซนติเมตร จะเกิดแรงชนขั้วแม่เหล็กที่นำมาวางนั้นเท่าใด (ตอบ 4.29 กาญจน์)
12. แม่เหล็กแท่งสั้น 2 แท่ง วางไว้ให้แนวแกนแม่เหล็กทั้งสองอยู่เป็นเส้นตรง เกียวกัน และให้ขั้วเหมือนกันชิดเข้าหากัน ห่างกันเป็นระยะ 10 เซนติเมตร จงหาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่จุดกึ่งกลางระหว่างแม่เหล็กทั้งสองนั้น ถ้าแม่เหล็กทั้งสองมีโมเมนต์แม่เหล็กเป็น 100 และ 80 หน่วย (ตอบ 0.32 เกาส์)

แบบฝึกหัดชุดที่ 5 (แมกนีโตมิเตอร์)

- แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 10 เซนติเมตร วางอยู่ทางทิศตะวันตกของแมกนีโตมิเตอร์ ให้จุดกึ่งกลางของแท่งแม่เหล็กอยู่ห่างจากเข็มแมกนีโตมิเตอร์ 15 เซนติเมตร ทำให้เข็มเบนจากแนวเมรีเดียนเป็นมุม 30° จงหาโมเมนต์ของแม่เหล็กแท่งนั้น (กำหนดให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอนเป็น 0.18 เกาส์) (ตอบ 138.56 หน่วย)
- แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 20 เซนติเมตร วางอยู่ทางทิศตะวันตกของแมกนีโตมิเตอร์ ให้ปลายแท่งแม่เหล็กอยู่ห่างจากเข็มแมกนีโตมิเตอร์ 10 เซนติเมตร ทำให้เข็มเบนจากแนวเมรีเดียนเป็นมุม 45° จงหาโมเมนต์ของแม่เหล็ก

ดังนั้น (กำหนดให้ความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอนเป็น 0.18 เกาส์) (ตอบ 405 หน่วย)

3. แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 10 เซนติเมตร วางอยู่ทางทิศเหนือของแกนนิโคมิเตอร์ รุกกากลางของแม่เหล็กห่างจากเข็มแกนนิโคมิเตอร์ 10 เซนติเมตร ทำให้เข็มเบนจากแนวเมริเดียนเป็นมุม 45° จงหากำลังขั้วของแม่เหล็กแท่งนั้น (กำหนดความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอนเป็น 0.2 เกาส์) (ตอบ 27.95 หน่วยขั้ว)
4. แม่เหล็กแท่งสั้นแท่งหนึ่งมีโมเมนต์ 51.96 หน่วย วางเอียงปลายชี้เข้าหาแกนนิโคมิเตอร์ ห่างจากเข็มแกนนิโคมิเตอร์ 10 เซนติเมตร ทำให้เข็มเบนจากแนวเมริเดียนเป็นมุม 30° จงหาความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอน ณ ที่นั้น (ตอบ 0.18 เกาส์)
5. แม่เหล็ก ก. แท่งหนึ่งยาว 10 เซนติเมตร วางเอียงปลายชี้เข้าหาแกนนิโคมิเตอร์ รุกกากลางของแม่เหล็ก ก. อยู่ห่างจากเข็มแกนนิโคมิเตอร์ 15 เซนติเมตร ทำให้เข็มเบนเป็นมุม 30° เมื่อนำแม่เหล็ก ข. ซึ่งมีขนาดเท่ากับแม่เหล็ก ก. ไปวางแทนที่แม่เหล็ก ก. ในลักษณะเดียวกัน จะทำให้เข็มเบนเป็นมุม 60° จงเปรียบเทียบโมเมนต์แม่เหล็กทั้งสอง (ตอบ 1:3)
6. แม่เหล็กแท่งสั้นแท่งหนึ่ง วางเอียงปลายชี้เข้าหาแกนนิโคมิเตอร์ที่ค่าบลแท่งหนึ่ง ให้รูกกากลางแท่งแม่เหล็กอยู่ห่างจากเข็มแกนนิโคมิเตอร์ 20 เซนติเมตร เข็มเบนเป็นมุม 30° เมื่อนำแม่เหล็กแท่งนี้ไปวางบนแขนของแกนนิโคมิเตอร์ ให้ปลายชี้เข้าหาแกนนิโคมิเตอร์เช่นเดิม ที่ค่าบลอีกแท่งหนึ่ง ให้รูกกากลางแท่งแม่เหล็กอยู่ห่างจากเข็มแกนนิโคมิเตอร์ 10 เซนติเมตร เข็มคงเบน

เป็นมุมเท่าเดิม จงเปรียบเทียบความเข้มของสนามแม่เหล็กของค้ำยทั้งสอง
(ตอบ 1:8)

7. แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 10 เซนติเมตร วางเอาปลายชี้เข้าหาแมกนีโตมิเตอร์
ให้ศูนย์กลาง แท่งเหล็ก อยู่ห่างจากเข็ม แมกนีโตมิเตอร์ 15 เซนติเมตร เข็ม
แมกนีโตมิเตอร์เบนเป็นมุม 45° จงหาโมเมนต์ของแม่เหล็กแท่งนั้น

ก) เมื่อค้ำยส่วนยาวของแม่เหล็ก

ข) เมื่อไม่ค้ำยส่วนยาวของแม่เหล็ก—และจงหาว่า ผลลัพธ์ที่ได้ ผิดไปจาก
ความจริงเท่าใด

(กำหนดให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอนเป็น 0.2 เกาส์)

(ตอบ 266.67, 337.5, 70.83 หน่วย)

8. แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 20 เซนติเมตร วางเอาปลายชี้เข้าหาแมกนีโตมิเตอร์
ให้ศูนย์กลาง แท่งแม่เหล็กอยู่ห่าง จากเข็มแมกนีโตมิเตอร์ 30 เซนติเมตร
เข็มแมกนีโตมิเตอร์เบนเป็นมุม 20° จงหาโมเมนต์ของแม่เหล็กแท่งนั้นถ้า
ความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอนเป็น 0.18 เกาส์

กำหนดให้ $\tan 20^\circ = 0.3640$ (ตอบ 698.88 หน่วย)

9. แม่เหล็ก 2 แท่ง ก. และ ข. ยาวแต่ละ 10 เซนติเมตร วางไว้บนแกนของ
แมกนีโตมิเตอร์คนละข้าง เอาปลายชี้เข้าหาเข็มแมกนีโตมิเตอร์ให้ชี้เหมือนกัน
กันชี้เข้าหากัน ห่างจากเข็มแมกนีโตมิเตอร์จากศูนย์กลางของแท่งแม่เหล็ก
เป็น 10 และ 15 เซนติเมตร ตามลำดับ จะทำให้เข็มอยู่นิ่งเหมือนอยู่ใน
สนามแม่เหล็กโลกตามปกติ จงเปรียบเทียบโมเมนต์แม่เหล็กของแม่เหล็ก
ทั้งสอง

- ถ้าแม่เหล็ก ก. มีโมเมนต์แม่เหล็ก 54 หน่วย วิชาโมเมนต์ของแม่เหล็กแท่ง ข. (ตอบ 27:128,256 หน่วย)
10. แม่เหล็กแท่งหนึ่งมีโมเมนต์แม่เหล็ก 200 หน่วย วางเฉยปลายชี้เข้าหาแมกนีโตมิเตอร์ ห่างจากแมกนีโตมิเตอร์พอสมควร เข็มแมกนีโตมิเตอร์เบนเป็นมุม 60° จะต้องใช้แม่เหล็กอีกแท่งหนึ่งมีโมเมนต์แม่เหล็กเท่าใด มาวางแทนที่แม่เหล็กแท่งแรก จึงจะทำให้เข็มเบนเป็นมุม 30° (ตอบ 66.67 หน่วย)
11. วางแม่เหล็ก ก. และ ข. ขนแขนของแมกนีโตมิเตอร์คนละข้าง ให้ชี้เข้าหากัน ห่างจากแมกนีโตมิเตอร์เป็นระยะ 10 เซนติเมตรเท่าๆ กัน ถ้าเข็มเบนทางแม่เหล็ก ข. เป็นมุม 45° วิชาโมเมนต์ของแม่เหล็ก ก. ถ้าแม่เหล็ก ข. มีโมเมนต์ 200 หน่วย กำหนดให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอนเป็น 0.18 เกาส์ (ตอบ 110 หน่วย)
12. วางแม่เหล็ก ก. และ ข. ไขว้ขนแขนของแมกนีโตมิเตอร์คนละข้าง ให้ชี้เข้าหากัน และห่างจากเข็มแมกนีโตมิเตอร์เป็น 10 และ 15 เซนติเมตรตามลำดับ เข็มเบนไปทางแม่เหล็ก ข. เป็นมุม 45° ถ้าแม่เหล็ก ก. มีโมเมนต์แม่เหล็ก 200 หน่วย วิชาโมเมนต์ของแม่เหล็ก ข. กำหนดให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอนเป็น 0.2 เกาส์ (ตอบ 337.5 หน่วย)
13. แม่เหล็กแท่งสั้นแท่งหนึ่ง วางทางทิศเหนือของแมกนีโตมิเตอร์ ห่างจากแมกนีโตมิเตอร์ 20 เซนติเมตร เข็มแมกนีโตมิเตอร์เบนเป็นมุม 30° ถ้าต้องการให้เข็มแมกนีโตมิเตอร์เบนเพิ่มเป็นมุม 60° จะต้องเลื่อนแท่งแม่เหล็กเข้าไปหาแมกนีโตมิเตอร์เป็นระยะห่างอีกเท่าใด. กำหนดให้ $\sqrt{3} = 1.442$ (ตอบ 6.13 เซนติเมตร)

14. แม่เหล็กสองแท่ง แท่งหนึ่งมีโมเมนต์แม่เหล็ก 300 หน่วย วางอยู่ทางทิศเหนือของแมกนีโตมิเตอร์ ห่างจากแมกนีโตมิเตอร์ 20 เซนติเมตร อีกแท่งหนึ่งมีโมเมนต์แม่เหล็ก 100 หน่วย วางอยู่ทางทิศใต้ของแมกนีโตมิเตอร์ ทำให้เข็มแมกนีโตมิเตอร์ อยู่ในแนวเมริเดียนแม่เหล็กตามเดิม ถ้าว่า แม่เหล็กแท่งหลังห่างจากแมกนีโตมิเตอร์เป็นระยะเท่าใด กำหนดให้ $\sqrt{3} = 1.442$ (ตอบ 13.87 เซนติเมตร)

แบบฝึกหัดชุดที่ 6 (แมกนีโตมิเตอร์ ชนิดแกว่ง)

- แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 10 เซนติเมตร กว้าง 2 เซนติเมตรหนา 1 เซนติเมตร มีน้ำหนัก 150 กรัม เมื่อนำไปแกว่งในสนามแม่เหล็กโลก ณ ที่แห่งหนึ่งพบว่าแกว่งได้ $1\frac{10}{11}$ ครั้งต่อวินาที จงหาโมเมนต์ของแม่เหล็กแท่งนั้น ถ้าความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวอนาไลน์ 0.2 เกาส์ (ตอบ 260 หน่วย)
- แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 5 เซนติเมตร กว้าง 1 เซนติเมตรหนา 0.5 เซนติเมตร มีน้ำหนัก 37.5 กรัม มีโมเมนต์ 93.75 หน่วย เมื่อนำไปแกว่งในสนามแม่เหล็กโลก ณ ที่แห่งหนึ่งแกว่งได้ $4\frac{17}{22}$ ครั้งต่อวินาที จงหาความเข้มของสนามแม่เหล็กโลก ณ ที่แห่งนั้น (ตอบ 0.23 เกาส์)
- แม่เหล็ก ก. แกว่งในสนามแม่เหล็กโลก ณ ที่แห่งหนึ่ง แกว่งได้ 15 ครั้งต่อวินาที แต่เมื่อนำแม่เหล็ก ข. ซึ่งมีขนาดเท่าแม่เหล็ก ก. ไปแกว่ง ณ ที่แห่งนั้นบ้าง แกว่งได้ 20 ครั้งต่อวินาที จงเปรียบเทียบโมเมนต์ของแม่เหล็กทั้งสอง (ตอบ 9:16)
- แม่เหล็กแท่งหนึ่งแกว่งในสนามแม่เหล็กโลกที่ตำบล ก. ซึ่งมีความเข้มของสนามแม่เหล็กเป็น 0.2 เกาส์ แกว่งได้ 5 ครั้งต่อวินาที เมื่อนำแม่เหล็ก

แท่งนี้ไปแกว่งในสนามแม่เหล็กโลกที่ค่าข. ซึ่งมีความเข้มของสนามแม่เหล็กเป็น 0.45 เกาส์ จะแกว่งไถ่กี่ครั้ง (ตอบ 7.5 ครั้งต่อนาที)

5. เมื่อนำแม่เหล็ก ก. ซึ่งมีโมเมนต์ 100 หน่วย ไปแกว่งในสนามแม่เหล็กโลก ณ ที่แห่งหนึ่ง จะแกว่งไถ่ 8 ครั้งต่อนาที เมื่อนำแม่เหล็ก ข. ซึ่งมีขนาดเท่ากับแม่เหล็ก ก. ไปแกว่ง ณ ที่นั้น จะแกว่งไถ่ 12 ครั้งต่อนาที จงหาโมเมนต์ของแม่เหล็ก ข. (ตอบ 225 หน่วย)

6. แม่เหล็กแท่งหนึ่งแกว่งในสนามแม่เหล็กโลก ณ ที่แห่งหนึ่ง แกว่งไถ่ 6 ครั้งต่อนาที เมื่อนำแม่เหล็กแท่งนี้ไปแกว่ง ณ ที่อีกแห่งหนึ่ง จะแกว่งไถ่ 15 ครั้งต่อนาที จงเปรียบเทียบความเข้มของสนามแม่เหล็กของทั้งสองแห่งนั้น (ตอบ 4:25)

7. แม่เหล็กสองแท่ง เมื่อนำไปแกว่งในสนามแม่เหล็กโลก ณ ที่แห่งหนึ่ง แกว่งไถ่ 15 และ 25 ครั้งต่อนาที ตามลำดับ จงเปรียบเทียบโมเมนต์ของแม่เหล็กทั้งสองนั้น

ถ้าแม่เหล็กทั้งสองนั้นมีขนาดเท่ากัน และแท่งแรกมีโมเมนต์ 90 หน่วย จงหาโมเมนต์ของแม่เหล็กแท่งหลัง (ตอบ $9I_1 : 25I_2$; 250 หน่วย)

8. แม่เหล็กสองแท่งขนาดเดียวกันผูกติดกันไว้ แล้วให้แกว่งตามแนวนอน ขั้วเหมือนกันอยู่ด้วยกัน แกว่งครบรอบในเวลา 5 วินาที เมื่อขั้วต่างกันอยู่ด้วยกันแกว่งครบรอบในเวลา 10 วินาที จงเปรียบเทียบโมเมนต์ของแม่เหล็กทั้งสองนั้น

ถ้าแม่เหล็กแท่งที่มีกำลังมากมีโมเมนต์ 100 หน่วย จงหาโมเมนต์ของอีกแท่งหนึ่ง (ตอบ 5:3, 60 หน่วย)

9. เชื่อมทิศอื่นหนึ่งวางอยู่บนโต๊ะ ถ้าเขาแม่เหล็กแท่งหนึ่งวางไว้ใต้โต๊ะให้อยู่ในแนวเมริเดียนให้ขั้วเหนือชี้ทางทิศใต้ และให้จุดกึ่งกลางของแท่งแม่เหล็กอยู่ตรงเชื่อมทิศพอๆ เชื่อมทิศจะแกว่ง 10 ครั้งต่อนาที ถ้ากลับแท่งแม่เหล็กโดยให้ขั้วเหนือชี้ทางทิศเหนือ เชื่อมทิศจะหมุนกลับ และแกว่ง $5\sqrt{3}$ ครั้งต่อนาที ถ้าเขาเชื่อมทิศที่แกว่งในสนามแม่เหล็กโลกตามลำพัง ณ ที่นั้น จะแกว่งได้นาทีละกี่ครั้ง (ตอบ 5 ครั้งต่อนาที)
10. เชื่อมทิศอื่นหนึ่งแกว่งในสนามแม่เหล็กโลกตามลำพัง แกว่งได้ 8 ครั้งต่อนาที เมื่อนำแม่เหล็กแท่งหนึ่งไปวางทางทิศเหนือของเชื่อมทิศ ให้ขั้วใต้ของเขาหาเชื่อมทิศ เชื่อมทิศจะแกว่งได้ 12 ครั้งต่อนาที ถ้ากลับขั้วของแม่เหล็กแท่งนั้น โดยเอาขั้วเหนือของเขาหาเชื่อมทิศ เชื่อมทิศจะแกว่งนาทีละกี่ครั้ง (ตอบ 4 ครั้งต่อนาที)
11. เชื่อมทิศอื่นหนึ่งแกว่งในสนามแม่เหล็กโลกตามลำพัง แกว่งได้นาทีละ 10 ครั้ง เมื่อนำแม่เหล็กแท่งหนึ่งไปวางทางทิศใต้ของเชื่อมทิศ เชื่อมทิศจะแกว่งได้นาทีละ $2\sqrt{86}$ ครั้ง ครนกลับขั้วของแท่งแม่เหล็กโดยให้ขั้วใต้ของเขาหาเชื่อมทิศ เชื่อมทิศจะหมุนกลับและแกว่งนาทีละกี่ครั้ง (ตอบ 12 ครั้งต่อนาที)
12. เชื่อมทิศอื่นหนึ่งแขวนไว้ใต้แกว่งในสนามแม่เหล็กโลก ณ ที่แห่งหนึ่ง เมื่อนำแม่เหล็กแท่งหนึ่งไปวางไว้แนวเมริเดียนทางทิศตะวันออกของเชื่อมทิศ และให้ขั้วใต้ชี้ทางทิศเหนือ พบว่าเชื่อมทิศแกว่งครบรอบในเวลา 5 วินาที เมื่อกลับแท่งแม่เหล็กโดยให้ขั้วเหนือชี้ทางทิศเหนือ เชื่อมทิศ คงอยู่ตามแนวเดิมไม่หมุนกลับและแกว่งได้ครบรอบในเวลา $5\sqrt{3}$ วินาที ถ้าให้เชื่อมทิศแกว่งในสนามแม่เหล็กโลกตามลำพัง จะแกว่งครบรอบในเวลาเท่าใด (ตอบ $\frac{10\sqrt{3}}{3}$ วินาที)

แบบฝึกหัดชุดที่ 7 (ความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวต่าง ๆ)

1. ที่แห่งหนึ่งมีมุมเท 30° มีความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอนเป็น 0.18 เกาส์ จงหาความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวตั้ง (Vertical Intensity) และแนวแท้ (Total Intensity) ของที่แห่งนั้น (ตอบ 0.10, 0.21 เกาส์)
2. ที่แห่งหนึ่งมีมุมเท 58° มีความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอนเป็น 0.183 เกาส์ จงหาความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวแท้ของที่แห่งนั้น กำหนดให้ $\cos 58^\circ = 0.5299$ (ตอบ 0.345 เกาส์)
3. ที่แห่งหนึ่งมีมุมเท 17° มีความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอนเป็น 0.22 เกาส์

ถ้านำขั้วแม่เหล็กมากลางขั้ว 40 หน่วยขั้วไปวางไว้ ณ ที่นั้น จงหา

- ก. แรงบนขั้วแม่เหล็กนั้นตามแนวนอน
- ข. ความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวตั้ง และแรงที่เกิดขึ้นบนขั้วแม่เหล็กนั้นตามแนวตั้ง
- ค. ความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวแท้ และแรงที่เกิดขึ้นบนขั้วแม่เหล็กนั้นตามแนวแท้

กำหนด $\cos 17^\circ = 0.9563$ และ $\tan 17^\circ = 0.3057$

(ตอบ 8.8 คาบ; 0.067 เกาส์, 2.68 คาบ; 0.23 เกาส์, 9.2 คาบ)

4. ที่ตำบล ก. มีมุมเท 60° และมีความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวแท้เป็น 0.4 เกาส์ ที่ตำบล ข. มีมุมเท 30° และมีความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวแท้เป็น 0.3 เกาส์ ถ้าแม่เหล็กแท่งหนึ่งแกว่งที่ตำบล ก. ได้ 10 ครั้งต่อวินาที เมื่อนำมาแกว่งที่ตำบล ข. จะแกว่งได้กี่ครั้ง (ตอบ 9.3 ครั้งต่อวินาที)

5. เข็มทิศชี้หนึ่งแฉ่งในสนามแม่เหล็กในทิศมุมเท 30° แฉ่งไถ่หน้าทีละ 12 ครั้ง
เมื่อนำไปแฉ่งในทิศมุมเท 45° แฉ่งไถ่หน้าทีละ 15 ครั้ง จงเปรียบเทียบ
ก. อัตราส่วนระหว่างความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอน
ของทั้งสองแห่งนั้น

ข. อัตราส่วนระหว่างความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวแท่ง
ของทั้งสองแห่งนั้น (ตอบ $16:25; 16\sqrt{6:75}$)

6. ทิศายลหนึ่งมุมเท 14° มีความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอนเป็น
0.18 เกาส์ นำแม่เหล็กแท่งหนึ่งไปแฉ่งระแฉ่งไถ่ 15 ครั้งต่อหน้าที เมื่อ
นำแม่เหล็กแท่งนี้ไปแฉ่งในทิศอีกแห่งหนึ่งมุมเท 10° และมีความเข้มของ
สนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอน 0.28 เกาส์ ระแฉ่งไถ่หน้าทีละกี่ครั้ง?
และจงเปรียบเทียบความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวแท่งของทั้งสอง
นั้นมาด้วย กำหนดให้ $\cos 14^\circ = 0.97$ และ $\cos 10^\circ = 0.98$
(ตอบ $5\sqrt{14}$ ครั้งต่อหน้าที; 1:1.54)

โจทย์ระคนแม่เหล็ก

1. เข็มทิศชี้หนึ่ง เมื่อแฉ่งโดยลำพังในสนามแม่เหล็กโลกแฉ่งไถ่ 100 ครั้ง
ในเวลา 8 นาที ครั้นเอาแม่เหล็ก ก. เข้าช่วยสนามแม่เหล็กโลก เข็มทิศ
แฉ่งไถ่ 100 ครั้งในเวลา 5 นาที แต่เมื่อเอาแม่เหล็ก ข. ซึ่งยาวเท่ากันแม่เหล็ก
ก. วางแทนที่แม่เหล็ก ก. และให้ช่วยสนามแม่เหล็กโลกเช่นกัน เข็มทิศนั้น
แฉ่งไถ่ 100 ครั้งในเวลา 4 นาที ให้เปรียบเทียบโมเมนต์ของแม่เหล็ก ก.
และ ข. (ตอบ 13:25)

2. แม่เหล็ก 2 แท่ง มีโมเมนต์แม่เหล็กเป็นอัตราส่วน 8:27 และเอาราวไว้ เพื่อให้ศูนย์กลางห่างกัน 3 ฟุต ให้เส้นแกนแม่เหล็กอยู่ในเส้นแกนเดียวกัน และให้ตั้งฉากกับแนวแม่เหล็กโลกเมื่อก่อน ให้ชี้เห็นของแม่เหล็กชี้เข้าหากัน หมายความว่า จะชี้เข้าเข็มทิศวางที่ตรงไหนระหว่างขั้วทั้งสอง จึงจะทำให้เข็มทิศชี้ในแนวเห็นได้แม่เหล็กเหมือนกันไม่มีแม่เหล็กอยู่ใกล้ (ตอบ 1:2 ฟุต จากแท่งมีโมเมนต์น้อย)
3. แม่เหล็ก 2 แท่งมีขนาดเท่ากัน ถ้าเอาแม่เหล็กทั้งสองไปแขวนให้แกว่งในสนามแม่เหล็กโลก แท่งแรกจะแกว่งได้ 10 ครั้งใน 1 นาที แท่งที่สอง 15 ครั้งใน 1 นาที ถ้าเอาแม่เหล็กสองแท่งนี้ผูกติดกัน จะแกว่งได้กี่ครั้ง (ตอบ $5\sqrt{13}$ ครั้งต่อนาที)
4. มุมเท และมุมข่ายเบน มีความหมายต่างกันอย่างไร ให้อธิบายให้ละเอียด
 ก่อไปนอนไหนเป็นไปไม่ได้ นอนไหนเป็นไปไม่ได้ ให้อธิบายและเขียนรูปประกอบโดยประมาณเอา (สมมติว่า พัดถึงครึ่งเหนือของโลกเท่านั้น)
 ก) ทิศแห่งทรงมุมมเทเป็น 15° และมุมข่ายเบนเป็น 15°
 ข) ทิศแห่งทรงมุมมเทเป็น 0° และมุมข่ายเบนเป็น 15°
 ค) ทิศแห่งทรงมุมมเทเป็น 90° และมุมข่ายเบนเป็น 90°
 ง) ทิศแห่งทรงมุมมเทเป็น 0° และมุมข่ายเบนเป็น 180°
5. แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 10 เซนติเมตร เมื่อเอามาวางทางทิศใต้ของแม่เหล็กโลกเพื่อให้ศูนย์กลางของแม่เหล็ก ห่างจากศูนย์กลางของเข็มแม่เหล็กของแม่เหล็กโลก 5.50 เซนติเมตร ทำให้เข็มชี้ไปเป็นมุม 45° ถ้าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอนเท่ากับ 0.18 หมายความว่าของแม่เหล็กและโมเมนต์ของแม่เหล็กแท่งนั้น (ตอบ 7.394 หน่วยขั้ว, 73.94 หน่วย)

6. แม่เหล็กแท่งหนึ่งมีกำลังขั้ว 40 หน่วยขั้ว และยาว 5 เซนติเมตร แม่เหล็กอีกแท่งหนึ่งมีกำลังขั้ว 96 หน่วยขั้ว และยาว 10 เซนติเมตร ถ้าวางให้แนวแกนของแม่เหล็กทั้งสองอยู่ในเส้นตรงเดียวกัน และให้ปลายที่ใกล้กันที่สุดคือ ขั้วเหนือของแท่งแรก และขั้วใต้ของแท่งที่สองอยู่ห่างกัน 5 เซนติเมตร จงหาแรงคดระหว่างแม่เหล็กทั้งสอง (ตอบ 107.73 คาบ)
7. จงจำกัดความ "โมเมนต์" ของแม่เหล็ก
แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 10 เซนติเมตร มีกำลังขั้ว 100 หน่วย จงหาความเข้มของสนามแม่เหล็ก เนื่องจากแท่งแม่เหล็ก ณ จุดที่อยู่ห่างเป็นระยะทางจากปลายแท่งแม่เหล็ก 20 เซนติเมตร ถ้าคำนวณอย่างวิธีใช้สูตรอย่างขยายจะได้ความเข้มเป็นเท่าใด และค่าคดขยี้ไปเท่าใด (ตอบ 0.139; 0.128; 0.011 เกาส์)
8. แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 10 เซนติเมตร เราวางทางทิศตะวันออกของแอมป์โทมิเตอร์ จุดกึ่งกลางของแม่เหล็กอยู่ห่างจากเข็มแม่เหล็ก 15 เซนติเมตรทำให้เข็มเบนจากแนวเมริเดียนไป 30° สนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอนมีความเข้ม 0.3 เกาส์ แม่เหล็กมีกำลังขั้วเท่าใด (ตอบ 23.09 หน่วยขั้ว)
9. แม่เหล็กแท่งสั้นวางไว้ตามแนวเมริเดียนแม่เหล็ก แต่เอาขั้วใต้ไปทางทิศเหนือทุกๆ หนึ่งบนแนวแกนห่างจากแม่เหล็ก 50 เซนติเมตร วัดความเข้มได้เป็นศูนย์ ถ้าความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกที่บริเวณนั้นเป็น 0.2 เกาส์ จงหาโมเมนต์ของแม่เหล็กแท่งนั้น (ตอบ 12500 หน่วย)
10. ความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอน (Vertical Intensity) ณ ที่แห่งหนึ่งซึ่งมุมที่เบน 60° เท่ากับ 0.48 เกาส์ และ ณ ที่นั้นแม่เหล็กแท่งหนึ่ง

แกว่งตามแนวนอนได้ 10 ครั้งในเวลา 1 นาที ที่ศาลากลางแห่งหนึ่ง ความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวแท่ง (Total Intensity) เป็น 1.8 เกาส์ และมุมเทเป็น 30° ณ ที่นั้นแม่เหล็กแท่งเดิมจะแกว่งตามแนวนอนได้กี่ครั้งต่อ นาที (ตอบ $5\sqrt{10}$ ครั้งต่อ นาที)

11. มีขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้ว เมื่อวางห่างกัน 3 เซนติเมตร สิ่งแรงผลักดันด้วยแรง ๆ หนึ่ง จะต้องเลื่อนให้กันออกไปอีกเท่าใด จึงจะลดแรงเหลือเพียง $\frac{1}{4}$ ของแรงเดิม และจะต้องเลื่อนเข้าชิดกันอีกเท่าใด จึงจะเกิดแรงเป็น 3 เท่าของแรงเดิม (ตอบ 3 เซนติเมตร, 1.268 เซนติเมตร)

12. แม่เหล็กขั้วหนึ่งกำลังขั้ว 40 หน่วยขั้ว ถึงขั้วแม่เหล็กขั้วหนึ่ง ซึ่งอยู่ห่างออกไปเป็นระยะทาง 5 เซนติเมตร ด้วยแรง 32 คาบวัน แม่เหล็กขั้วที่สองมีกำลังขั้วเท่าใด

ถ้าเราเพิ่มกำลังขั้วของขั้วทั้งสองนี้เป็น 2 เท่าของเดิม และทำให้ระยะทางระหว่างขั้วทั้งสองเพิ่มเป็น 2 เท่าของเดิม คราวนี้แรงดึงดูดระหว่างขั้วแม่เหล็กทั้งสองจะเป็นเท่าใด (ตอบ 20 หน่วยขั้ว, 32 คาบวัน)

13. แม่เหล็กแท่งหนึ่ง เมื่อนำเข้ามาแกว่งในสนามแม่เหล็กของโลกปรากฏว่าแกว่งไกวได้ 5 ครั้ง ครั้นเอาแม่เหล็กนั้นไปเผาไฟ และเมื่อปล่อยให้เย็นแล้วนำมาแกว่งใหม่ในสนามแม่เหล็กโลก ณ ที่เดิม ปรากฏว่า แกว่งได้ 1 ครั้ง ในเวลา 2 นาที ให้เปรียบเทียบโมเมนต์ของแม่เหล็กก่อนเผาและเมื่อเผาไฟแล้ว (ตอบ 100:1)

14. เข็มทิศหนึ่งแกว่งในสนามแม่เหล็กแห่งหนึ่งมีความถี่ n_1 และแกว่งในสนามแม่เหล็กอีกแห่งหนึ่งมีความถี่ n_2 ถ้ารวมสนามทั้งสองนี้โดยให้ทิศของสนามทั้งสองตั้งฉากต่อกัน จะแสดงให้เห็นว่า $x^4 = n_1^4 + n_2^4$ เมื่อ x เป็นความถี่ของการแกว่งของแม่เหล็กในสนามรวมของสนามแม่เหล็กทั้งสองนั้น.

15. แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 10 เซนติเมตร กว้าง 2 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร มีน้ำหนัก 150 กรัม เมื่อนำไปวางไว้บนแขนของแมกนีโตมิเตอร์ให้ปลายชี้เข้าหา และให้จุดกึ่งกลางของแท่งแม่เหล็กห่างจากเข็มแมกนีโตมิเตอร์ 15 เซนติเมตร ทำให้เข็มแมกนีโตมิเตอร์เบนจากแนวเมริเดียน θ° เมื่อเอาแม่เหล็กแท่งนั้น ผูกเชือกแกว่งในสนามแม่เหล็กโลก ณ ที่นั้น พบว่าแกว่งได้ $\frac{21\sqrt{130}}{143}$ ครั้ง ต่อนาที จงหาโมเมนต์ของแม่เหล็กแท่งนั้น และความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอน ณ ที่นั้น กำหนดว่า $\tan \theta$ มีค่าเป็น $\frac{3}{4}$ และ $\pi = \frac{22}{7}$ (ตอบ 200 หน่วย, 0.2 เกาส์)
16. แม่เหล็กแท่งหนึ่งยาว 20 เซนติเมตร กว้าง 4 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร มีน้ำหนัก 600 กรัม เมื่อนำไปวางทางทิศตะวันออกของแมกนีโตมิเตอร์ ให้จุดกึ่งกลางของแท่งแม่เหล็กอยู่ห่างจากเข็มแมกนีโตมิเตอร์ 30 เซนติเมตร จะทำให้เข็มของแมกนีโตมิเตอร์เบนเป็นมุม θ° เมื่อเอาแม่เหล็กผูกเชือกแกว่งในสนามแม่เหล็กโลก ณ ที่นั้น พบว่าแกว่งได้ $\frac{105\sqrt{26}}{572}$ ครั้งต่อนาที จงหาโมเมนต์ของแม่เหล็กแท่งนั้น และความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวนอน ณ ที่นั้น กำหนด $\tan \theta$ มีค่าเท่ากับ $\frac{15}{32}$ และ $\pi = \frac{22}{7}$ (ตอบ 1000 หน่วย, 0.2 เกาส์)
17. แม่เหล็ก 2 แท่ง ผูกรวมกันไว้ และแขวนไว้เพื่อให้แกว่งได้ตามแนวนอน เวลาที่ใช้เพื่อแกว่งครบรอบเป็น 12 วินาที เมื่อขึงเหน็บติดต่อกัน และจะแกว่งครบรอบในเวลา 16 วินาที เมื่อขึงไม่เหน็บติดต่อกัน จงเปรียบเทียบโมเมนต์ของแม่เหล็กทั้งสองนั้น (ตอบ 25:7)

18. แม่เหล็กเล็ก ๆ แท่งหนึ่งแกว่งตามแนวนอนในสนามแม่เหล็กโลกครบรอบในเวลา 4 วินาที เมื่อเอาแท่งแม่เหล็กอีกแท่งหนึ่งนำมาวางไว้ในบริเวณนั้น แม่เหล็กเล็กนั้นจะแกว่ง 50 ครั้งในเวลา 160 วินาที สมมติสนามแม่เหล็กทั้งสองอยู่ในแนวเดียวกัน จงเปรียบเทียบความเข้มของสนามแม่เหล็กเนื่องจากแท่งแม่เหล็กแท่งหนึ่งนำมาวางกับความเข้มสนามแม่เหล็กโลก

ก) เมื่อสนามช่วยกัน ข) เมื่อสนามต้านกัน (ตอบ 9:16, 41:16)

19. แม่เหล็กแท่งยาวมากแท่งหนึ่ง วางบนโต๊ะเพื่อให้อยู่ในแนวเส้นของแรงแม่เหล็กของโลก ขั้วใต้ไปทางเหนือ จุกตะเก็นปรากฏว่า อยู่ห่างจากขั้วใต้ไปทางเหนือ 15 ซม. ถ้าแรงความเข้มตามแนวนอนของโลกเป็น 0.20 ให้หาค่าลงทศของแม่เหล็ก

ถ้าสมมติว่า แม่เหล็กที่ใช้เป็นแท่งยาวแต่เพียง 10 ซม. แต่ระยะของจุกตะเก็นเหมือนดังข้างบน ให้หาโมเมนต์ของแม่เหล็ก (ตอบ 45; 703)

20. แม่เหล็กแท่งหนึ่งมีกำลังทวิ 80 หน่วยขั้ว และยาว 10 ซม. จงหาความเข้มแม่เหล็ก ณ จุดที่ห่างจากศูนย์กลางของแท่ง 15 ซม. เมื่อจุดนั้น

ก. อยู่บนแนวแกน

ข. อยู่บนเส้นเอควาเตอร์ (ตอบ 0.6 เกาส์; 0.2 เกาส์)

21. เอาแม่เหล็กที่ยาวมากแท่งหนึ่งมีกำลังทวิ 200 หน่วย ห้อยจากเครื่องซึ่งเพื่อให้อยู่ในแนวนอน ขั้วใต้ห้อยลงล่าง แล้วถ่วงน้ำหนักเพื่อให้เครื่องซึ่งเขาระดับ เอาแม่เหล็กที่ยาวมากอีกแท่งหนึ่งวางไว้ใต้ขั้วล่างของแม่เหล็กแรก และเพื่อให้ขั้วบนอยู่ห่างออกมา 4 ซม. และครวณปรากฏว่าต้องเติมน้ำหนักถ่วงเพิ่มขึ้นอีก 3.18 กรัม จงทำให้เครื่องซึ่งเขาระดับ จงหาค่าลงทศของแม่เหล็กแท่งหลัง (เป็นจำนวนเต็ม) (ตอบ 250)

22. เชื้อมทิศอันหนึ่ง แกว่งไต้ 20 ครั้งก่อนนํ้า ในสนาม แม่เหล็กโลกแต่อย่างกับขว
ครันเอาแม่เหล็ก ก. ช่วยแรงของโลก เชื้อมทิศแกว่งไต้ 24 ครั้งก่อนนํ้า
ถ้าเอาแม่เหล็ก ข. ซึ่งยาวเท่ากันกับ ก. วางแทน ก. เชื้อมทิศแกว่ง 28 ครั้ง
ก่อนนํ้า ให้เปรียบเทียบกับโมเมนต์ของแม่เหล็กแท่ง ก. และ ข. (ตอบ 11; 24)
23. ในข้อ 22 ถ้าเอาแม่เหล็ก ก. และ ข. กลับข้างเพื่อให้ชักกับแรงของโลก
ทั้ง 2 คราวเชื้อมทิศจะแกว่งกี่ครั้งก่อนนํ้า (ตอบ 4 ครั้ง; 15 ครั้ง)
24. แม่เหล็กแท่งหนึ่งแกว่งไต้ 25 ครั้งก่อนนํ้าที่กรุงเทพฯ แกว่งไต้ 19 ครั้งใน 45
วินาที ที่จังหวัดอยุธยา และแกว่งไต้ 20 ครั้งก่อนนํ้าที่เชียงใหม่ จงเปรียบ
เทียบแรงความเข้มของแม่เหล็กโลกตามแนวนอน ณ ที่ทั้งสองแห่งนั้น (ตอบ
1.56:1.44:1)





ตอนที่ 2

ไฟฟ้าสถิต

บทที่ 6

การทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้า

47. การทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้า

ถ้าเราเอาผ้าขนสัตว์ (Flannel) ที่แห้งมาถูแท่งอำพันที่แห้งแล้วเอาแท่งอำพันมาถือไว้ใกล้ขนกระต่ายเล็ก ๆ จะสังเกตเห็นว่าขนกระต่ายจะเกาะติดแท่งอำพัน

ถ้าเราเอาแท่งแก้ว แท่งกรง หรือวัตถุอื่น ๆ ที่แห้งอีกหลายชนิดถูด้วยผ้าขนสัตว์หรือแพร เราจะได้ผลเช่นเดียวกัน คือ วัตถุที่เบา เช่น เศษกระดาษ สลัด ขนอ่อนของนก และ Pith จะมาเกาะติดกับแท่งนั้น

รวมความแล้วเราสังเกตได้ว่า ถ้าเราวัตถุเช่น ผ้ามาถูวัตถุอย่างชนิดเช่นแท่งอำพัน จะทำให้เกิดอำนาจอย่างหนึ่งขึ้นในแท่งอำพันและอำนาจนั้นสามารถดึงดูดเบา ๆ เช่น ขนกระต่ายให้มาเกาะติดกับแท่งได้ อำนาจนั้นเรียกว่าอำนาจไฟฟ้า (Electricity) และการกระทำเช่นการกระทำข้างบน คือการถูวัตถุสองอย่างเพื่อให้เกิดอำนาจไฟฟ้าเรียกว่าการทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้า (Electrification)

วัตถุทุกชนิดจะทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าได้หรือไม่แน่ ขอเชิญพิจารณาในตอนหลัง ในตอนนั้นขอให้สังเกตถึงเฉพาะแท่งเช่นแท่งอำพันก่อน

ในตอนต้นที่คนคิดว่าความจริงอันชนได้ เขาได้ใช้แท่งอำพัน (Amber) และ
โดยเหตุที่อำพันในภาษากรีกมีชื่อวาอิเล็กตรอน (electron) อำนาจที่เกิดขึ้นจึงให้ชื่อ
เรียกว่า electric เรืองการเกิดอำนาจไฟฟ้าจากแท่งอำพัน Thales of Miletus
เป็นผลพบความจริงเป็นครั้งแรกเมื่อ 600 B.C. และในตอนหลังคอกเคอร์ —
กิลเบิร์ต (Dr. Gilbert) ผู้ซึ่งเป็นนายแพทย์ประจำพระองค์ของพระนางอลิซาเบท
แห่งประเทศอังกฤษ ได้รื้อฟื้นขึ้นมาอีกและขยายความรู้ให้กว้างขวางออกไป
หมายเหตุ ถ้าจะให้เกิดผลดีในการทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้า วัตถุที่ใช้ทั้งหมดควรเป็น
วัตถุที่แห้ง ฉะนั้นในตอนต่อไปเวลากล่าวถึงวัตถุหรือเครื่องมือใด จะ
ถือว่าแห้งแล้วโดยไม่ต้องกล่าวซ้ำอีก การทำให้แห้งนั้นใช้ตากแดดเสีย
ก่อนก็พอ และโดยเฉพาะในเมืองเรา การทดลองเกี่ยวกับไฟฟ้าตอน
นี้ทำในหน้าฝนไม่ได้ผลดีเท่ากับในหน้าแล้ง

48. แรงต่างๆ เป็นแรงต่างร่วม

เรื่องแรงดึงดูดระหว่างแท่งที่มีอำนาจไฟฟ้าแล้ว และเคเบิลกระดาษนั้นไม่ใช่เป็น
แรงที่แท่งคดแต่ฝ่ายเดียว แต่เป็นแรงต่างร่วม (Mutual Action) เช่นเดียวกับแรง
ดึงดูดระหว่างแท่งแม่เหล็กและชิ้นเหล็ก ถ้าเอาแท่งอำพันมาวางใกล้เศษไม้กอก ไม้กอก
จะกระโดดไปเกาะแท่งอำพันได้ ครั้นเราเอาไปถือไว้ใกล้ไม้กอกชิ้นใหญ่หน่อย ไม้กอก
ไม่แสดงว่าถูกคดเลย ความจริงไม้กอกก็ถูกคดเหมือนกัน แต่โดยเหตุที่น้ำหนัก
มากไป น้ำหนักจึงดวงไว้ไม่ให้กระโดดไปหาแท่งได้ คราวนี้ถ้าเราเอาแท่งอำพัน
ที่มีอำนาจไฟฟ้าแล้ว แขนงไว้เพื่อให้แกว่งไกวใกล้ของโดยรอบตัว และเขาไม่ออกไปวาง
ใกล้ แท่งอำพันจะบีบเข้าหาไม้กอก คด้ายก็เข้าหาไม้กอกคดก็เข้ามา นี่เป็นแรงแสดง
ให้เห็นว่าแรงคดไม้กอกเกิดขึ้นแต่ฝ่ายเดียว แต่เป็นแรงที่เกดขึ้นทั้งสองฝ่ายพร้อมๆ
กันเรียกว่า แรงต่างร่วม

ต่อไปเราจะเห็นว่า อำนาจไฟฟ้าทำให้เกิดแรงผลักรได้ แรงผลักรก็เป็นแรง
ต่างร่วมเหมือนกัน

49. อำนาจไฟฟ้า

เหตุใดเมื่อคนแท่งอำพันด้วยขนสัตว์จึงเกิดอำนาจไฟฟ้าขึ้นเป็นแรงผลักของอิทธิ
กัณในภายหลัง ในชั้นนี้จะขอรวบรวมคำจำกัดความที่สำคัญบางประการไว้ก่อนเพราะ
จะต้องใช้กันบ่อย ๆ ต่อไป

เมื่อเราชนสัตว์แก่วัตถุบางชนิด เกิดอำนาจอย่างหนึ่งขึ้นในแท่งซึ่งมีคุณสมบัติ
บางอย่าง เช่น สามารถดึงดูดกระดาษชิ้นเล็ก ๆ ได้ อำนาจอันนี้เราให้ชื่อว่า ไฟฟ้า
(Electricity) และวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้านี้เรียกว่า Electrified body หรือวัตถุที่มี
ประจุ charge หรือ charged body

วัตถุที่ยังไม่ประจุ เรียกว่าอยู่ในฐานะเป็น (neutral)

วัตถุที่มีประจุ จะดึงดูดวัตถุที่เป็นกลางได้แต่สิ่งใดข้างบน

ข้อสำคัญที่จะช่วยให้เข้าใจในทันทีคือ การทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้านั้น เรา
ไม่ได้ทำไฟฟ้า เราจะเห็นในข้อต่อ ๆ ไปว่า ไฟฟ้ามีอยู่แล้วในวัตถุทุกชนิด
การที่เราทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้านั้น เป็นแต่เพียงการกระทำของเราเปลี่ยนฐานะของ
ไฟฟ้าที่มีอยู่ เลยเป็นเหตุให้แสดงคุณสมบัติปรากฏออกมาเท่านั้น

โดยเหตุที่อำนาจไฟฟ้าที่มีอยู่ในวัตถุต่าง ๆ ที่เรากำลังเรียนในตอนนี้เป็น
อำนาจไฟฟ้าชนิดที่อยู่กับที่ในวัตถุชิ้นนั้นเอง และไม่เคลื่อนที่ไปไหน (นอกจากใน
บางตอนที่เรายกมาให้เคลื่อนที่ชั่วขณะ แต่แล้วก็กลับหยุดที่เช่นเดิม) เราจึงเรียกว่
ไฟฟ้าชนิดนี้ว่า ไฟฟ้าสถิต (Static Electricity หรือ Electrostatics) เพื่อให้เป็น
วิชาต่างหากจากในตอนที่ 3 ซึ่งเป็นตอนที่เกี่ยวกับเรื่องของไฟฟ้ากระแส (Current
Electricity หรือ Electrodynamics)

50. ชนิดของอำนาจไฟฟ้า

ถ้าเราทำการทดลองที่ได้อธิบายไว้ในข้อ 47 และทดลองของเรายังแรงดึงดูดหรือผลกฏแยกชนระหว่างแท่งต่าง ๆ จะได้อะไรดังนี้

ถ้าเอาแท่งแก้วถูด้วยผ้าแพรมาแท่งหนึ่งเรียกชื่อว่าแท่ง A และเอามาแขวนไว้เพื่อให้ขดไครอยตัว แล้วเอาแท่งแก้วอีกอันหนึ่งถูด้วยผ้าแพร เรียกว่าแท่ง B มาถือไว้ในระยะใกล้ จะเห็นได้ว่าแท่ง B ผลักแท่ง A

ครั้นเอาแท่ง ebonite ถูด้วยขนสัตว์ เรียกว่าแท่ง C มาแขวนไว้แล้วเอาแท่ง ebonite อีกแท่งหนึ่งถูด้วยขนสัตว์อีก เรียกว่าแท่ง D มาถือไว้ในระยะใกล้ จะเห็นว่าแท่ง D ผลักแท่ง C

แต่แท่ง D มาถือใกล้แท่ง A วัตถุแท่ง A และแท่ง B มาถือใกล้แท่ง C ก็ระคายแท่ง C

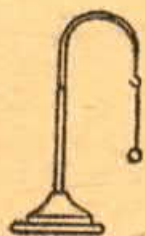
ความจริงที่ได้อธิบายการทดลองนั้น ทำให้ต้องนึกว่าอำนาจไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปเป็น 2 อย่าง และเราจะพบได้ว่าเกิดไฟฟ้า 2 ชนิด คืออำนาจไฟฟ้าชนิดที่แยกชนแท่งแก้ว เมื่อถูด้วยผ้าแพรชนิดหนึ่ง และอำนาจไฟฟ้าที่แยกชนแท่ง ebonite เมื่อถูด้วยขนสัตว์อีกชนิดหนึ่ง และเพื่อความสะดวกจะเรียกชื่อว่า ไฟฟ้าบวก positive electricity หรือ positive charge และไฟฟ้าลบ negative electricity หรือ negative charge และ

ไฟฟ้าชนิดเดียวกันผลักรัน ไฟฟ้าคนละชนิดดูดกัน

ถ้าเอาวัตถุต่างชนิดกัน จะเกิดอำนาจไฟฟ้าต่างชนิดกันไปแล้วอะไรถูกขึงอะไรเกิดไฟฟ้าชนิดไหนนั้นจะมีสัญลักษณ์แสดงไว้ภายหลัง ในตอนนี้จะขอไว้แต่เพียงว่าแท่งแก้วถูด้วยผ้าแพรจะมีอำนาจไฟฟ้าชนิดบวก และแท่ง ebonite ถูด้วยขนสัตว์จะมีอำนาจไฟฟ้าชนิดลบ

51. เครื่องแสดงอำนาจไฟฟ้าแบบ Pith-ball

ในการแสดงว่า วัตถุมีอำนาจไฟฟ้าหรือไม่นั้น เราจะทดลองโดยให้ลองยก
เศษกระดาษที่ได้นำมาแขวนไว้ที่ปลายของมือขึ้นหนึ่งท่อนทำให้ง่าย และสะดวกในการใช้เรียกว่า
เครื่องอิเล็กทรอนิกส์โคปแบบ Pith-ball (Pith-ball Electroscope) เครื่องนี้ประกอบ
ด้วยหลอดทรงกลมเล็ก ๆ ที่ทำด้วยไม้ชนิดหนึ่ง เรียกว่า Elder Pith-ball และเขาหลอด



รูปที่ 65

ทรงกลมนี้ห้อยด้วยเส้นไหม เมื่อเราเอาวัตถุที่มีประจุเข้ามาใกล้ วัตถุนี้จะ
ถูก Pith-ball เข้ามาหาทันที แต่ก่อนจะทดลองควรระวังเสียก่อน
ว่า Pith-ball อยู่ในฐานะสะเทิน ถ้า Pith-ball มีอำนาจไฟฟ้าอยู่ใน
ตัว และเอาแท่งที่สะเทินมาเข้าใกล้ก็จะเกิดแรงดูดต่างร่วมขึ้น และ
pith-ball จะวิ่งเข้าหาเหมือนกัน ถ้าเราเอามือจับ pith-ball จะทำให้
pith-ball สะเทินได้

การกระทำทำให้วัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าสะเทิน เราเรียกว่าการปลดปล่อยประจุ
(discharge) โดยทั่วไปหมายถึงการที่ตัวนำหรือวัตถุซึ่งมีไฟฟ้าทำการปลดปล่อยประจุ
แต่การท้าววัตถุหรือตัวนำที่มีไฟฟ้าเพื่อให้มีฐานะเป็นสะเทิน ไม่จำเป็นจะต้องปลดปล่อยประจุ
แต่จะไดรับประจุก็ได้ เช่น วัตถุที่เคยมีประจุเป็นบวก เมื่อจะทำให้เป็นสะเทินตาม
Electron theory มันก็จะได้รับประจุลบจากที่อื่นเป็นจำนวนเท่ากันบวก ที่มีอยู่เดิม
จึงจะเป็นสะเทินได้ และวิธีปลดปล่อยประจุทางที่สะดวกที่สุดก็คือ การแตะด้วยมือ แต่ถ้า
อำนาจไฟฟ้าแรงเกินไป ควรใช้วัตถุอื่นเป็นทางคั่นลงดิน เพราะถ้าใช้มือแล้วอำนาจ
ไฟฟ้าที่ผ่านตัวเราจะทำให้เกิดเป็นอันตรายแก่ร่างกายได้ การแตะวัตถุด้วยมือ หรือ
ต่อวัตถุให้มันทางให้กระแสไฟฟ้าไหลลงดินเพื่อใหวัตถุสะเทิน เรียกว่า earth วัตถุนี้

52. คุณสมบัติของวัตถุต่าง ๆ เกี่ยวกับอำนาจไฟฟ้า

ถ้าเราบีบแท่งแก้วไว้ในมือและมาถูด้วยแพร จะปรากฏว่าแท่งแก้วมีอำนาจไฟฟ้าขึ้น แต่ถ้าวางแท่งทองแดงลงในมือและเขามาถูด้วยแพรหรือขนสัตว์ และทดลองดูจะไม่แสดงคุณสมบัติในเรื่องไฟฟ้าเกิดขึ้นเลย ถ้าเราใช้โลหะอื่น ๆ แทนแท่งทองแดงและทำเช่นเดียวกันก็จะไม่แสดงว่ามีอำนาจไฟฟ้าเกิดขึ้น ครั้นเราทำใหม่โดยใช้แท่งทองแดงหรือโลหะอื่น ๆ แต่ใช้แท่งที่มีติดอยู่เป็นวัตถุเช่น ebonite และถ่วงส่วนที่เป็นทองแดงด้วยแพรหรือขนสัตว์ ปรากฏว่าแท่งทองแดงจะแสดงคุณสมบัติว่ามีอำนาจไฟฟ้าอยู่ในแท่งทันที คือ สามารถถูก pith-ball ได้

เมื่อเขียนเช่นนี้เราจึงถือว่า วัตถุต่าง ๆ มีคุณสมบัติต่ออำนาจไฟฟ้าอย่างหนึ่ง คือ วัตถุบางชนิด เช่น ทองแดงและโลหะอื่น ๆ เป็นพวกที่ให้อำนาจไฟฟ้าได้อย่างดี ฉะนั้นไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจึงเคลื่อนที่ไปทั้งหมด เช่น เคลื่อนที่จากแท่งทองแดงเข้าตัวเรา เมื่อเราถือแท่งทองแดงด้วยมือเปล่า โดยไม่มี ebonite ติด แท่งวัตถุอีกชนิดหนึ่ง เช่น แท่งอำพัน, ebonite แก้วเป็นพวกที่ไม่ยอมให้ไฟฟ้าเคลื่อนที่ไป ฉะนั้นไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ณ ที่ใดจึงค้างอยู่ ณ ที่นั้นเอง และโดยเหตุนี้เมื่อทำคามของแท่งทองแดงด้วยวัตถุ เช่น ebonite อำนาจไฟฟ้าจะมาจากแท่งทองแดงผ่านตอน ebonite มาถึงมือไม่ได้ อำนาจไฟฟ้าจึงคงค้างอยู่ในแท่งทองแดง ปรากฏคุณสมบัติออกมาให้เห็นได้

วัตถุที่นำไฟฟ้าได้อย่างดี คือ ยอมให้ไฟฟ้าไหลผ่าน เราเรียกว่า พวกตัวนำ (Conductors) และวัตถุที่นำไฟฟ้าไม่ได้ เราเรียกว่า ฉนวน (Insulators) ยังมีวัตถุอีกพวกหนึ่ง ซึ่งอยู่ในระหว่างกลาง คือเป็นตัวนำที่ไม่ค่อยดีนัก แต่ก็ไม่ใช่ฉนวนทีเดียว ได้แก่ ฝ้าย ไม้ กระดาษ ฯลฯ

ฉะนั้นเราจึงต้องถือว่า วัตถุทุกชนิดอาจทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าได้ และถ้าเป็นวัตถุต่างชนิดกันสองอย่างติดกันแล้ว จะเกิดอำนาจไฟฟ้าขึ้น แต่โดยเฉพาะวัตถุที่เป็นตัวนำที่ดี เราจะต้องระวังพิเศษสักหน่อยไม่ให้อำนาจไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้นไปเสียโดยให้แท่งนั้นมีคามที่ทำความฉนวนอย่างดี นอกจากนั้นอำนาจไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เกิดขึ้นในวัตถุทั้งสองพร้อม ๆ กัน และเป็นไฟฟ้าต่างชนิดกัน แท่ง ebonite ที่ถูด้วยขนสัตว์มีอำนาจไฟฟ้าชนิดลบ และขนสัตว์เองมีอำนาจไฟฟ้าชนิดบวก เรืองนี้จะกล่าวอีกในตอนหลัง

ถ้าเราฉนวนกันระหว่างตัวนำและดิน เราเรียกว่าได้จากการฉนวน (insulated) ตัวนำนั้นแล้ว ถ้ามีทางนำจากตัวนำไปถึงดิน เราเรียกว่าได้ earthed ตัวนำสำหรับไฟฟ้าจำนวนน้อย ๆ ตัวของเราเองถือว่าเป็น earth ได้ และการเอาฉนวนแต่ละเรียกว่า earthed ได้แล้ว

ฉะนั้นเราจะทำให้ตัวนำที่ฉนวนแล้ว มีอำนาจไฟฟ้าเกิดขึ้นได้ และถ้าเรา earth ตัวนำที่มีอำนาจไฟฟ้าอยู่แล้ว จะทำให้อำนาจไฟฟ้าหมดไปทันทีเรียกว่าปลดปล่อยประจุ ส่วนฉนวนที่มีอำนาจไฟฟ้านั้นเราจะเอามือแตะเพื่อปลดปล่อยประจุไม่พอ เพราะไฟฟ้าหนีไปไม่หมดทุกตอน คงหนีไปได้แต่เฉพาะตอนที่เราเอานิ้วแตะเท่านั้น เช่น สมมติว่า ไม่ขรรคที่มีอำนาจไฟฟ้าตลอดก่อน และเอานิ้วแตะตอนปลายไฟฟ้าตอนปลายนั้นจะหนีเข้ามา แต่ไฟฟ้าตามตอนอื่น ๆ จะยังคงแสดงอำนาจต่อไป เพราะไฟฟ้าไม่สามารถจะไหลทะลุมาที่ปลายได้

53. ตัวนำและฉนวน

ในที่นี้จะรวบรวมชนิดของวัตถุที่เป็นตัวนำ ฉนวนและพวกกลาง ๆ ไว้เพื่อให้ได้เป็นหลักจำไว้ใช้ต่อไป

ตัวนำ โลหะทุกชนิด ฉนวน กระจกและเกล็ดทางเคมีบางชนิด น้ำ ควัน

โลก ฯลฯ

ฉนวน กระเบื้องเคลือบ ชนแกะ แพร่ กำมะถัน ยาง ครึ่ง ชีพ แก้ว

อากาศ อำพัน ebonite แอสเบสท์ ฯลฯ

พวกกลาง ผ้า ไม้ หิน กระจก หินอ่อน ฯลฯ

จะสังเกตได้จากบัญชีข้างบนว่า น้ำเป็นพวกตัวนำ ฉะนั้นวัตถุต่าง ๆ ที่จะใช้
ในการทดลองเรื่องไฟฟ้าคอนเนกต์วาทัง มีฉนวนอำนาจไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะซึมหาย
ไปหมด คือ ความชื้นจะนำไปเสีย นอกจากนั้นอากาศเป็นฉนวน แต่ถ้าอากาศชื้น
เลยกลายเป็นตัวนำได้ ฉะนั้นจึงได้บอกไว้ว่าการทดลองในเรื่องไฟฟ้าสถิตจึงควรทำ
ในฤกษ์แล้ง ไม่ใช่ในฤกษ์ฝน

ในการทำเครื่องประกอบเกี่ยวกับไฟฟ้าสถิต ในบางครั้งเราต้องการใช้โลหะ
ฉนวนเราจึงเอาโลหะทั้งบนแท่นฉนวนเป็นฐาน ถ้าใช้ ebonite เป็นฉนวนจะโคผลัด
ถ้าใช้แท่งแก้วเป็นฉนวนจะโคผลัดไม่ทัน เพราะความชื้นชอบเกาะตามผิวของแท่งแก้ว
ทำให้คุณสมบัติในการเป็นฉนวนของแท่งแก้วลดลง แต่ถ้าใช้แท่งแก้วและเอาแอส-
เบสท์หุ้มเสียจะโคผลัดขึ้นใหม่เป็นฉนวนที่ดี จึงใช้ห้อยวัตถุที่ต้องการให้ฉนวน
(insulated) เช่นใช้ห้อย pith-ball

54. การกระจายของอำนาจไฟฟ้า

ถ้าเราเอาแท่งอำพันมาแท่งหนึ่ง และโดยเฉพาะตอนปลายแท่ง ตอนที่ถูกถูจะ
แสดงอำนาจไฟฟ้าขึ้น คือ สามารถดึงดูด pith-ball ได้ ตอนอื่นที่ไม่ถูกถูจะไม่
แสดงอำนาจไฟฟ้า แต่ถ้าเราเอาแท่งทองแดงทั้งแท่งแล้ว ถูด้วยวัตถุ เช่น
ขนสัตว์ เพราะแต่ตอนปลาย ตอนที่เป็นทองแดงจะแสดงอำนาจไฟฟ้าทั่วทุกตอน
เรองนี้ก็เป็นเรื่องที่จะขยายได้จากคุณสมบัติการเป็นตัวนำและฉนวน ฉนวนไม่นำไฟฟ้า

ฉะนั้นเกิดอำนาจไฟฟ้าแต่ตอนที่ติดถ และถ้าเราเอานิ้วแตะ อำนาจไฟฟ้าจะหมด
แต่ในตอนทวนแตรเท่านั้น ตอนอื่นๆ ยังคงมีอำนาจไฟฟ้าอยู่ต่อไป และถ้าต้องการ
ปลุกปลื้มประจุทั้งแท่ง เราจะต้องพยายามให้มือเราแตะทุกๆ ตอนของแท่งนั้น ตัวนำ
นำไฟฟ้าได้ ฉะนั้นอำนาจไฟฟ้าจะเกิดที่ตอนไหนก็ตาม อำนาจไฟฟ้าจะกระจายไปทั่ว
ทั้งผิวของแท่ง และเมื่อเรานิ้วแตะอำนาจไฟฟ้าก็จะหนีไปหมดทั่วทั้งแท่ง ไม่มีอำนาจ
ไฟฟ้าเหลืออยู่เลย

ในตอนนี้อธิบายไว้ว่า เราพูดถึงอำนาจไฟฟ้ากระจายไปทั่วทั้งผิวของแท่ง คือไป
หมดเรื่องพิเศษเกี่ยวกับการกระจายของอำนาจไฟฟ้าในอีก และเราจะเห็นว่าอำนาจไฟฟ้า
อยู่บนแต่ละผิวของแท่งนั้น ส่วนเนื้อในจะไม่มีความอำนาจไฟฟ้า และไฟฟ้าจะไม่กระจาย
เพื่อเฉลี่ยให้ทุก ๆ ตอนมีไฟฟ้าเท่า ๆ กัน

โดยเหตุผลอันเกี่ยวเนื่องมาจากเรื่องนี้อีก ถ้าเรามีตัวนำอันหนึ่งที่มีอำนาจไฟฟ้า
และเราเอาตัวนำนั้นไปแตะตัวนำอีกอันหนึ่งที่สะเทิน ตัวนำอันหลังนี้จะได้รับอำนาจ
ไฟฟ้าแบ่งมาจากตัวนำอันแรก และตัวนำอันหลังนี้ เรียกว่าได้รับอำนาจไฟฟ้าโดย
การประจุโดยการสัมผัส charge by contact เราไม่สามารถทำให้ฉนวนได้รับอำนาจ
ไฟฟ้าตามวิธีนี้ ถ้าต้องการให้ฉนวนได้รับอำนาจไฟฟ้าจะต้องทำโดยตรง คือการถ
การประจุโดยการสัมผัสจะทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าขึ้นก็เกี่ยวกับตัวนำอันแรก เพราะเป็น
การแบ่งไฟฟ้ากัน

ถ้าเราเอาแท่งฉนวนที่มีอำนาจไฟฟ้ามาแตะตัวนำที่สะเทิน ตัวนำจะได้รับแบ่ง
อำนาจไฟฟ้าบ้างก็จริง วิทยจากตอนที่แตะกันเท่านั้น ส่วนตอนอื่นๆ ของแท่งฉนวนจะไม่
สามารถส่งอำนาจไฟฟ้ามาได้

การเกิดประจุโดยการสัมผัสนี้เอง จึงเป็นประโยชน์สำหรับทดลองว่าวัตถุอัน
หนึ่งซึ่งไม่สะดวกที่จะเอามาเข้าใกล้ อิเล็กโตรสโคป มีอำนาจไฟฟ้าหรือไม่ โดยเอา

proof plane ไปแตะกับวัตถุนั้น แล้วเอา proof plane มาทดสอบกับ อิเล็กโตรสโคป
อีกต่อหนึ่ง proof plane เป็นแผ่นโลหะกลมแบน วัดมีประมาณเช่นที่เมตรเศษๆ
และมีความถี่ทำด้วยฉนวน

ถ้าจะทำการแสดงอำนาจไฟฟ้าโดยใช้ อิเล็กโตรสโคป เอาวัตถุที่มีอำนาจ
ไฟฟ้าเข้ามาใกล้ๆ ก็พอ pith-ball จะถูกดึงดูดเข้ามาหา ถ้าเราปล่อยให้ pith-ball
แตะกับวัตถุนั้นแล้ว pith-ball จะผลักรับกลับไปในที่ และควรวางไว้ห่างจากวัตถุ
ที่มีอำนาจไฟฟ้า ที่เป็นเช่นนั้นก็เพราะ pith-ball ได้รับความประจุโดยการสัมผัส ซึ่งเป็น
อำนาจไฟฟ้าชนิดเดียวกัน จึงเกิดการผลักรับกันขึ้นดังที่อธิบายไว้ในข้อ 50 ถ้าเรา
ปลดปล่อยประจุ pith-ball โดยเอามือคลึง อำนาจไฟฟ้าของ pith-ball จะหมด
และเกิดการดูดเช่นเดิมจนกระทั่งแตะใหม่ จึงจะเกิดการผลักรับอีก

55. การเกิดอำนาจไฟฟ้าทั้งสองชนิด

ในข้อ 50 ได้บอกไว้แล้วว่าถ้าเอาแท่งแก้วถูด้วยแพร แท่งแก้วจะเกิดอำนาจ
ไฟฟ้าชนิดบวก และถ้าเอาแท่ง ebonite ถูด้วยขนสัตว์ แท่ง ebonite จะเกิดอำนาจ
ไฟฟ้าชนิดลบ และถ้าเอาวัตถุสองชนิดด้วยกันจะเกิดอำนาจไฟฟ้าเสมอ ถ้าชนิดหนึ่งเกิด
อำนาจไฟฟ้าชนิดใด อีกชนิดหนึ่งจะเกิดอำนาจไฟฟ้าชนิดตรงกันข้าม

เรามาจะแสดงให้เห็นได้โดยการทดลองต่อไปนี้ เอาแท่งแก้วที่มีอำนาจไฟฟ้า
บวกแขวนให้แกว่งได้ เรียกว่าแท่ง A เอาแท่ง ebonite ที่มีอำนาจไฟฟ้าลบแขวน
ไว้ เรียกว่าแท่ง B ครั้นเอาขนสัตว์ถูแท่ง ebonite และเอาแท่ง ebonite นั้นเข้า
ใกล้แท่ง B จะเกิดการผลักรับ ถ้าเอาเข้าใกล้แท่ง A จะเกิดการดูดกัน แต่ขนสัตว์
เอาเข้าใกล้แท่ง A จะเกิดการผลักรับ แต่เอาเข้าใกล้แท่ง B จะเกิดการดูดกัน ซึ่ง
แสดงว่า ขนสัตว์เกิดอำนาจไฟฟ้าชนิดบวกเมื่อถูกับแท่ง ebonite ซึ่งมีอำนาจไฟฟ้า
ชนิดลบ

นอกจากนั้น อํานาจไฟฟ้าสองชนิดที่เกกชนพร้อม ๆ กันจะมีจำนวนเท่ากัน และถ้าเอามาใกล้กันจะนำฤทธิกันจนหมด คือ เกิดการสะท้อนอย่างเต็ม แต่เรื่อนนี้จะทดลองให้เห็นชัดไ้ในตอนหลังเมื่อไ้เรียนถึงข้อ ๑๗ แล้ว

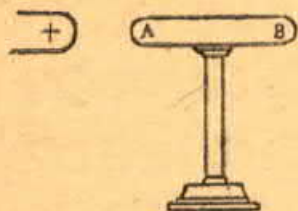
เพื่อเป็นหลักให้ทราบว่า ถ้าเราวัดฤทธิสองชนิดกัน จะเกิดอํานาจไฟฟ้าชนิดใด ชนิดใด เราจึงไ้ทำขั้ววัตถุสำคัญบางอย่างไว้ข้างล่างนี้ ถ้าเราให้วัตถุสองชนิดกัน วัตถุชนิดที่อยู๋ตอนต้นของขั้วจะมีอํานาจไฟฟ้าชนิดบวก วัตถุที่อยู๋ไ้ไปจะมีอํานาจไฟฟ้าชนิดลบ ขั้วเช่นนี้เรียกว่า Frictional order ของวัตถุ

- | | |
|----------------------------|----------------------|
| 1. ขนสัตว์ | 11. แก้ว (ขรุขระ) |
| 2. ขนแกะ (ผ้าสักหลาด, ผ้า) | 12. มีธ |
| 3. ไม้ | 13. โลหะทั่วไป |
| 4. แอสแต็ค | 14. ยางอินเดย |
| 5. ยางสน (Resin) | 15. อําพัน |
| 6. ครั่ง | 16. กำมะถัน |
| 7. แก้ว (เรียบ) | 17. Ebonite |
| 8. ผ้าฝ้าย | 18. ยาง Gutta percha |
| 9. กระดาษ | 19. แพร Amalgamated |
| 10. แพร (เลี่ยน) | |

สำหรับห้องทดลอง เรามักใช้เฉพาะ แก้ว, อําพัน, ebonite, แพร, และขน-สัตว์เท่านั้น

56. การเหนี่ยวนำไฟฟ้า

ถ้าเราเอาโลหะที่เป็นกลาง เช่น แท่งทองเหลือง AB และให้มันเป็นฉนวน



รูปที่ 66

มาวางไว้ใกล้วัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าบวก แท่ง AB นี้จะแสดงตัวเหมือนกันว่ามีอำนาจไฟฟ้าเกิดขึ้น และถ้าทดลองกับสาย A จะแสดงตัวเหมือนกันว่ามีอำนาจไฟฟ้าชนิดลบ สาย B เหมือนกันว่ามีอำนาจไฟฟ้าชนิดบวก และถ้าเราเอาวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าออกไปเสียให้ไกลอำนาจ

ไฟฟ้าบนแท่ง AB จะหมดทุกต้นที่ AB กลายเป็นอิสระเช่นเดิม แต่พอเอาวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้ามาเข้าใกล้แท่ง AB จะแสดงตัวว่ามีอำนาจไฟฟ้าชนิดลบมากขึ้น ถ้าเอาวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าชนิดลบมาใช้แทน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเหมือนกันทุกประการ แต่สาย A จะแสดงว่ามีอำนาจไฟฟ้าชนิดบวกเกิดขึ้น สาย B จะแสดงว่ามีอำนาจไฟฟ้าชนิดลบ

การเกิดอำนาจไฟฟ้าขึ้นในทันที เมื่อมีอำนาจไฟฟ้าจากที่อื่นมาอยู่ในระยะใกล้ เคียงนี้ เรียกว่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Electrical Induction) และเมื่อมีการเหนี่ยวนำไฟฟ้าสายที่อยู่ใกล้กับอำนาจไฟฟ้าต้นเหตุ จะมีอำนาจไฟฟ้าชนิดตรงกันข้ามกับอำนาจไฟฟ้าต้นเหตุ ส่วนสายที่อยู่ไกลออกไป จะมีอำนาจไฟฟ้าชนิดเดียวกับไฟฟ้าต้นเหตุ อำนาจไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ เรียกว่า ประจุเหนี่ยวนำ (Induced charge)

ว่ากันตามจริง ในวัตถุเป็นฉนวนก็อาจเกิดการเหนี่ยวนำได้ แต่โดยเหตุที่ฉนวนนำไฟฟ้าไม่ได้ การเหนี่ยวนำจึงเกิดขึ้นเฉพาะวัตถุ และอำนาจจึงแสดงออกมาให้เห็นไม่ได้ และการที่วัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าถูกวัตถุที่สะเทือนนั้น ความจริง อำนาจไฟฟ้า

เหนยวนำให้เกิดประจุเหนยวนำขึ้นก่อน

แล้วจึงเกิดการกักระหว่างอำนาจไฟฟ้าใน

วัตถุหนึ่งกับประจุเหนยวนำ

โดยเหตุที่เกิดประจุเหนยวนำขึ้นได้ เมื่อวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้ามาอยู่ ในระยะใกล้ อิเล็กโตรสโคปแบบ Pith-ball จึงเกิดผลคือ

ถ้าเราใช้ pith-ball วางแตะกันที่หนึ่งครั้งในรูป ถ้า pith-ball สองใบจะอยู่แตะกันได้ ครั้นเราเอาวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าเข้าใกล้ จะเกิดประจุเหนยวนำขึ้นที่ติดกัน



ทั้งสอง ฉะนั้น

วัตถุทั้งสองจะผลักให้แยกห่างออกจากกัน และเราสามารถทราบ

ได้ทันทีว่า วัตถุที่เอาเข้ามาใกล้มีอำนาจไฟฟ้าหรือไม่ เมื่อเอาวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าออกห่าง pith-ball จะกลับมากแตะกันเช่นเดิม ถ้าเราเอา

วัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าแตะ pith-ball เสียเลยโดยตรง จะเกิดประจุโดยการสัมผัสใน pith-ball และคราวนี้ pith-ball จะแยกออกจากกันตลอดเวลา ถึงแม้ว่าวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าจะไม่มีอยู่ในระยะใกล้

การใช้อิเล็กโตรสโคปแบบ Pith-ball ชนิดที่มี pith-ball 2 ลูกนี้ได้ผลคืออีกอย่างหนึ่ง คือ ไม่ต้องเกรงว่าในขณะเริ่มใช้ pith-ball จะมีประจุอยู่แล้วแต่เดิม เพราะถ้ามีประจุอยู่แล้วแต่เดิม pith-ball ทั้งสองจะผลักให้ห่างออกจากกัน จะอยู่แตะกันไม่ได้ ฉะนั้นถ้า pith-ball ทั้งสองอยู่แตะกัน เราจึงทราบว่า อิเล็กโตรสโคปนี้อยู่ในสถานะที่

๕๗. การทำให้มีประจุไฟฟ้าในตัวนำ

ถ้าตัวนำอันหนึ่งมีประจุไฟฟ้า (charge) อยู่ในตัว เราเรียกว่า มีประจุอิสระ (free charge หรือ charge) แต่ถ้ามีประจุขึ้นที่ทุกส่วนของตัวมัน คือ มีอยู่เฉพาะ

เมื่อมีอำนาจไฟฟ้าอื่นมาเหนยวนำอยู่ใกล้ ๆ เราเรียกว่า มีประจุเหนยวนำ (Induced charge)

การทำให้ควนน้ำเกิดประจุอิสระมีวิธีที่ง่ายมาก ๑ วิธี

ก. ทำให้มีประจุ โดยการสัมผัส (Charge by contact)

เรืองนโกลถาวไวคฺรงทงแล้ว เป็นวธิเภาวคฤทฺธมาอำนาจไฟฟ้ามาแตะกับตัว
 นำโดยทวง เพอแบ่งอำนาจไฟฟ้าให้ เมื่อแบ่งได้แล้วตัวนำจะไครับอำนาจไฟฟ้าชนิด
 เดียวกันกับตัวคฤทฺธมาแบ่งให้ และอำนาจไฟฟ้าในวัตถุเกิดมีระลอกจำนวนลง เพราะไค
 แบ่งไปให้ข้างแล้ว

๕. การทำให้อำนาจเหนี่ยวนำ (Charge by Induction)

วิชาโทโทกัน สมมติว่าตัวนำ AB สะเทินอยู่ และเราต้องการอะไรใหม่ประ
อิสระโดยการเหนี่ยวนำ เราเอาตัวคดกมอำนาจไฟฟ้าชนิดหนึ่ง เช่น อำนาจไฟฟ้า
ขงกมาวางใกล้ๆ และขณะที่อยู่ใกล้เราเอาตัวแปรปลาย B ชั่วขณะ เมื่อปลี่ยน
และเอาตัวคดกมอำนาจไฟฟ้าออกไปเสีย ทั่วนำ AB จะแสดงว่าประจุอิสระเป็น
อำนาจไฟฟ้าชนิดขบ กรป 66 หรือ 68 ประกอบ

การทำให้เกิดประจุโดยการเหนี่ยวนำ จะใช้ประจุนีติตรงกันข้ามกับอำนาจ
 ดันเหตุเสมอ แต่มันก็อยู่ในข้อ ก. กัดข อำนวนักันเหตุไม่ไ้ล้ลจำนวนไฟฟ้าลงไป
 เนื่องจากการเหนี่ยวนำเลย และถ้าอำนาจไฟฟ้าในคว้านักันเหตุไม่มีการรวไหลไปใน
 ทางอื่นแล้ว เราจะทำให้เกิดประจุอิสระในคว้านอนเช่น AB ออกล็กกลยกรข เอันักไ้
 ทำไม่งงเขนเขนน จะต้องรอธิบายในข้อต่อไป

๕๘. ทฤษฎีอเลกตรอน

การอธิบายว่า อํานาไฟฟ้าเกิดขึ้นได้อย่างไร และอธิบายเหตุผลประกอบเรอ
รวทางๆ ของเรอไฟฟ้าสถิตัน ไคเคยมีผู้คิดทฤษฎีไว้ ๓ ทฤษฎี แต่ที่ใช่อธิบาย
ไคผลกทศกในขณะ กคท ทฤษฎีอิเล็กตรอน (Electron Theory) ซึ่งจะเป็น
ทฤษฎีที่เรอธิบายต่อไปอย่างละเอียด ส่วนทฤษฎีอื่น ๆ เรอธิบายแต่พอเป็นเค้าเท่านั้น

ทฤษฎีเหล่านี้นักวิทยาศาสตร์มักขึ้นเพื่ออธิบายเหตุผลประจักษ์เรื่อง แต่ความจริงจะเป็น
 อย่างทฤษฎี หรือไม่ เราทราบไม่ได้ ต่อไปภายหน้าอาจจะมีนักวิทยาศาสตร์ใหม่
 ชี้แจงเหตุผลว่า ทฤษฎีที่ให้นั้นใช้ไม่ได้ (เคยเป็นมาแล้วสำหรับสองอันแรก)
 และคงทฤษฎีขึ้นใหม่ก็ได้

ทฤษฎีของไหลชนิดเดียว (One-fluid Theory)

ทฤษฎีนี้กล่าวว่า มีตัวไฟฟ้า (Electricity) อยู่ในวัตถุ และโดยเหตุที่
 ไฟฟ้าไหลได้ จึงเรียกว่าเป็นของไหล (Fluid) การที่มันนำไฟฟ้าเป็นขบวนนั้นเป็น
 เพราะวัตถุมีไฟฟ้ามากกว่าปกติ การที่มันนำไฟฟ้าลบก็เช่นเพราะวัตถุ ขาด ไฟฟ้า
 โดยเหตุฉะนั้น เมื่อเอาประจุบวกและประจุลบมาต่อกัน ไฟฟ้าจึงเคลื่อนจากประจุบวก
 ซึ่งมีไฟฟ้ามากกว่าปกติไปให้ประจุลบ ซึ่งขาดไฟฟ้าทำให้กลายเป็นปกติ นอกจากนั้น
 ถ้าเอาประจุบวกต่อกับโลก ไฟฟ้าจะไหลเข้าโลกหมด ถ้าเอาประจุลบต่อกับโลก
 ไฟฟ้าจะไหลจากโลกมาเติมให้ประจุลบ โดยถือว่าโลกเหมือนกันทะเลใหญ่สำหรับ
 เรื่องไฟฟ้า และไฟฟ้าจะไหลเข้าหรือออกเท่าใดก็ไม่ทำให้ศักดาไฟฟ้าของโลกเปลี่ยนแปลง
 ถ้าเราคิดถึงเรื่องอื่นๆ เราจะอธิบายโดยใช้ทฤษฎีนี้ได้ดีเสมอ นอกจากเรื่อง
 การเห็นขบวนนำไฟฟ้าซึ่งอธิบายไม่ได้ล้มเหลว

ทฤษฎีของไหลสองชนิด (Two-fluid Theory)

ทฤษฎีนี้สมมุติเสียว่ามีตัวไฟฟ้าอยู่ ๒ ชนิด ชนิดบวกและชนิดลบ แต่ทฤษฎีนี้
 ใช้อธิบายไม่ได้มากนัก โดยเฉพาะในเรื่องเหตุที่ไฟฟ้า ๒ ชนิดมารวมกันเข้า
 แล้วจึงนำสู่ที่กันหมด และหมดอำนาจไปเลยๆ ทฤษฎีนี้จึงเลิกกันไปเร็ว

ทฤษฎีอิเล็กตรอน

ทฤษฎีนี้กำหนดไว้ว่า เนื้อของธาตุทุกชนิดประกอบด้วยอะตอม (atom) และ
 อะตอมรวมตัวกันเป็นโมเลกุล โมเลกุลเป็นหน่วยเล็กที่สุดของธาตุหรือสารประกอบ

ที่อยู่ใกล้โดยลำพัง อะตอมประกอบด้วยโปรตอน (Proton) และอิเล็กตรอน (electron) เป็นจำนวนเท่ากัน โปรตอนมีอำนาจไฟฟ้าบวกอยู่ในตัว อิเล็กตรอนมีอำนาจไฟฟ้าลบจำนวนเท่ากันอยู่ในตัว ฉะนั้นตามปรกติวัตถุต่างๆ จึงมีอำนาจไฟฟ้าสะเทิน อะตอมของไฮโดรเจน (Hydrogen) มีโปรตอน 1 อิเล็กตรอน 1 อะตอมของคาร์บอนมีโปรตอน 14 อิเล็กตรอน 14 และอะตอมของวัตถุอื่น ๆ จะมีโปรตอนเท่าใดก็มีจำนวนอิเล็กตรอนเท่าๆ กันเสมอ รายละเอียดในเรื่องนี้จะต้องเรียนจากวิชาเคมี เพราะเป็นเรื่องของวิชาเคมีโดยเฉพาะ

นอกจากนั้น อิเล็กตรอนเกือบจะไม่มีน้ำหนัก เมื่อเทียบกับโปรตอน เพราะหนักเพียงประมาณ $\frac{1}{2000}$ เท่าของโปรตอน และอิเล็กตรอนเคลื่อนที่หรือไหลได้จากวัตถุหนึ่งไปวัตถุอีกอันหนึ่งอย่างรวดเร็วยิ่งกว่า ถ้าวัตถุเป็นฉนวน อิเล็กตรอนย้ายที่ได้อาจะเคลื่อนอย่างใกล้ชิด แต่จะไหลผ่านฉนวนไม่ได้ เราเรียกได้ว่าอิเล็กตรอนเป็นละอองไฟฟ้า เพราะเป็นชนที่เล็กที่สุดที่จะมีได้ นอกจากนั้นอิเล็กตรอนสำหรับธาตุทุกธาตุเหมือนกันทุกประการ และเข้าแทนที่กันได้เสมอ

ถ้าจากวัตถุใด อิเล็กตรอนขาดไปจากจำนวนที่ควรจะมี วัตถุนั้นก็แสดงอำนาจไฟฟ้าเป็นบวก และถ้าอิเล็กตรอนมีเกินจำนวนที่ควรจะมีในวัตถุใด วัตถุนั้นก็แสดงอำนาจไฟฟ้าเป็นลบ ทฤษฎีนี้พ้องคลากับทฤษฎีของไหลสองชนิด ซึ่งถอยเสียวามตัวไฟฟ้าบวกและลบเป็นพิษแยกออกจากกัน และเข้าไปแอบแฝงอยู่ในเนื้อวัตถุ ส่วนทฤษฎีนี้ถอยเสียวาม เนยขาดเองเป็นตัวที่มีอำนาจไฟฟ้า และอำนาจไฟฟ้าชนิดหนึ่งคือ โปรตอนเคลื่อนที่จากวัตถุใดไม่ได้ อยู่ตายตัวเท่านั้น คงมีแต่อิเล็กตรอนเท่านั้นที่เคลื่อนที่ได้

อำนาจไฟฟ้าลบคืออิเล็กตรอนจะยกอำนาจไฟฟ้าบวกคือโปรตอนเสมอ ถ้ามีไฮโดรเจน และจะผลักดันออกจากอิเล็กตรอนด้วยกัน

๕๙. การอธิบายเรื่องต่างๆ โดยใช้ทฤษฎีอิเล็กทรอนิกส์

ต่อไปนี้จะอธิบายถึงเรื่องราวต่างๆ ที่ได้อ่านมาแล้ว โดยใช้ทฤษฎีอิเล็กทรอนิกส์

ก. การเกิดอำนาจไฟฟ้าโดยการถู

เมื่อเราชนสัตว์มาดแท่ง ebonite ชนสัตว์ละแท่ง ebonite ในตอนแรก
ต่างก็เสียดสีกันด้วยกันทั้งคู่ และการเขามาถูกันทำให้อิเล็กตรอนจากชนสัตว์บางส่วน
ย้ายไปที่เกาะอยู่บนแท่ง ebonite จึงทำให้แท่ง ebonite มีอิเล็กตรอนมากกว่าปกติ
แสดงอำนาจไฟฟ้าเป็นลบขึ้น และชนสัตว์ที่ขาดอิเล็กตรอนไป จึงแสดงอำนาจ
ไฟฟ้าเป็นบวก และอิเล็กตรอนขาดไปจากชนสัตว์เท่าใดก็จะไปแสดงตัวอยู่บนแท่ง
ebonite เท่านั้น อำนาจไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทั้ง ๒ ชนก็จะมีจำนวนเท่ากันเสมอ

ถ้าเราถูแท่ง ebonite แต่ตอนปลาย อำนาจไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนแท่งจะปรากฏ
อำนาจแต่ตอนปลายเท่านั้น เพราะอิเล็กตรอนกระจายไปทั่วแท่งไม่ได้ เพราะไหลไม่
ได้ แต่ถ่าเราถูแท่งทองแดงที่มีฉนวนแล้วเฉพาะแต่ตอนปลาย อำนาจไฟฟ้าจะกระจาย
ไปทั่วแท่ง เพราะอิเล็กตรอนไหลกระจายไปตามส่วนต่างๆ ของแท่งทองแดง
ซึ่งเป็นตัวนำที่ทั่ว

ตามทฤษฎีอิเล็กทรอนิกส์ ความแตกต่างระหว่างตัวนำกับฉนวนก็คือ ตัวนำยอม
ให้อิเล็กตรอนของตัวเคลื่อนที่ไปไหนก็ได้โดยสะดวก ส่วนฉนวนไม่ยอมพรากจาก
อิเล็กตรอนของตัวเองนัก

ข. การนำวัตถุกันและถ่ายเทอำนาจไฟฟ้าให้แก่กัน

ถ้าเรามีตัวนำชิ้นหนึ่ง A มีอำนาจไฟฟ้าบวกเป็นจำนวนหนึ่ง และมีตัวนำอีก
ชิ้นหนึ่ง B มีอำนาจไฟฟ้าเป็นลบเป็นจำนวนเท่ากัน และเราต่อทางระหว่าง A กับ B
ตัวนำ A ขาดอิเล็กตรอนไปเท่ากับที่ตัวนำ B มีเกินมา ฉะนั้น เมื่อมีทางไหลถึง
กันได้ อิเล็กตรอนก็เคลื่อนไปไหนทั้งสองจนกลายเป็นตัวนำเสียดสีด้วยกันทั้งคู่ คือตัว
นำทุกชิ้นหมด

ถ้าตัวนำทั้งสองมีจำนวนไฟฟ้าไม่เท่ากัน เช่น B มีอำนาจไฟฟ้าล้นมากกว่า A แล้ว ตัวนำทั้งสองก็จะมีอำนาจไฟฟ้าเป็นลบด้วยกันทั้งคู่ เพราะต่างก็จะมีอิเล็กตรอนเกินมากด้วยกันทั้งคู่ เวลานั้นเป็นความจริงที่แสดงได้โดยการทดลอง โดยทั่วไปคอนไดมอิเล็กตรอนเหลือเพื่อให้เกิดผลไปให้แก่คอนทมิอิเล็กตรอนน้อยกว่า ถ้ามีทางส่งคืนกันได้ และคอนไดมอิเล็กตรอนไป คือ มีอำนาจไฟฟ้าเป็นบวก แต่ยังมีอิเล็กตรอนน้อยกว่าคอนทมิ คือ คอนทมิอำนาจไฟฟ้าล้นมากกว่า อิเล็กตรอนก็จะยังคงเหลือไปให้ เพื่อให้อยู่ในระดับความขาดอย่างเดียวกัน

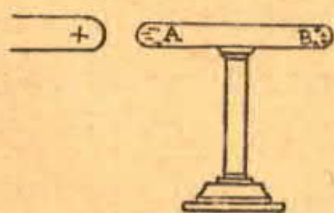
การ earth ตัวนำคือ การเฉลี่ยอิเล็กตรอนให้แก่โลก หรือทั้งอิเล็กตรอนจากโลกแล้วแต่กรณี โลกเป็นที่ ๆ คล้ายเป็นทะเลใหญ่ของอิเล็กตรอน และจะถ่ายเทกันอย่างไรก็ตาม ไม่ทำให้มีอำนาจไฟฟ้าอย่างใดอย่างหนึ่งปรากฏขึ้น คือโลกจะอยู่ในฐานะสะเทินเสมอ สำหรับไฟฟ้าจำนวนน้อย ๆ ตัวเราเป็นตัว earth ได้

ค. การเกิดการเหนี่ยวนำ

สมมติว่า มีตัวนำเช่น AB ซึ่งเดิมสะเทิน และเราเอาวัตถุซึ่งมีอำนาจไฟฟ้าบวกมาเข้าใกล้ อิเล็กตรอนบน AB จะไหลมาอยู่แถบปลาย A เพราะแรงดึงดูดระหว่างโปรตอนและอิเล็กตรอน ปลาย B จึงขาดอิเล็กตรอนไป ปลาย A จึงแสดงอำนาจไฟฟ้าเป็นลบ B แสดงอำนาจเป็นบวก

รูปที่ 68 ครั้นเราเอาวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าออกไปเสียให้ห่าง ไม่มีอะไรดึงดูดอิเล็กตรอนให้อยู่ทางปลาย A อีกต่อไป จึงเฉลี่ยกลับเข้าที่ AB จึงกลับสะเทินอย่างเดิม

ถ้าแท่ง AB เป็นฉนวน ไม่เกิดการเหนี่ยวนำขึ้น เพราะอิเล็กตรอนไม่สามารถไหลถ่ายเทในแท่งฉนวนได้สะดวก



คราวนี้ถ้าเราเอาวัตถุที่มีประจุมาเข้าใกล้อย่างเดิม เกิดการเหนี่ยวนำขึ้น อิเล็กตรอนในแท่ง AB มาชดกันอยู่แถบปลาย A อย่างเดิม ถ้าเราเอาฉนวนแตะปลาย B จะทำให้อิเล็กตรอนจากมือเข้าไปเติมให้แก่ปลาย B จนปลาย B สะเทิน ส่วนอิเล็กตรอนที่ถูกตรึงอยู่ที่ปลาย A ด้วยแรงดึงดูดจากวัตถุคงอยู่เช่นเดิม เมื่อเรานำออก และเอาวัตถุออกห่างอิเล็กตรอนจากปลาย A ก็จะกลับมามาเฉลี่ยให้แก่ปลาย B แต่ปลาย B ใกล้เคียงใหม่จนเต็มแล้ว อิเล็กตรอนจึงมีเกินมาและเฉลี่ยกันทั่วทั้งแท่งเกิดเป็นประจุอิสระเป็นลบ ถ้าอำนาจไฟฟ้าในวัตถุเดิมที่มีประจุแต่แรกเป็นลบ เราจะคิดตามหลักแนวเดียวกันได้ และประจุอิสระที่เกิดขึ้นเป็นชนิดบวก

ถ้าอำนาจเหนี่ยวนำอยู่ใกล้เพียง อิเล็กตรอนที่มาชดกันอยู่ทางปลายหนึ่งถูกตรึงไว้ด้วยอำนาจเหนี่ยวนำ ส่วนอีกปลายหนึ่งเกิดการขาดอิเล็กตรอน เกิดเป็นประจุเหนี่ยวนำด้วยกันทั้ง 2 ฝ่าย การที่อำนาจไฟฟ้าดึงดูดไว้ด้วยอำนาจเหนี่ยวนำนี้อาจจะเรียกว่าเป็น bound charge ได้ อิเล็กตรอนทางปลาย A ขณะที่เราฉนวนแตะ B อยู่เป็น bound charge จึงไม่สามารถหนีเข้ามาได้

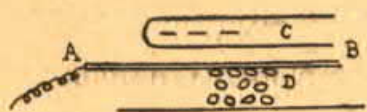
ง. การเกิดประกายไฟฟ้า

ในตอนหลัง ๆ เราจะเรียนถึงการเกิดประกายไฟฟ้า (spark) ระหว่างตัวนำที่มีอำนาจไฟฟ้า ประกายไฟฟ้านี้จะกระโดดจากตัวนำอันหนึ่งไปยังอีกอันหนึ่งผ่านอากาศ ในเรื่องนี้อธิบายว่าเป็นการกระโดดของอิเล็กตรอนผ่านอากาศมาโดยตรง

ในตอนต่าง ๆ ช่างขนไม้กวาดึงอิเล็กตรอนไหลไปทางหนึ่ง และอีกทางหนึ่งขาดอิเล็กตรอนไป ขอย้ำไว้เสียไว้ว่า อิเล็กตรอนไหลไปจนหมด และตอนที่ขาดก็ขาดจนหมด อิเล็กตรอนไหลไปแต่เพียงบางส่วนและเป็นส่วนน้อยเท่านั้น และตอนที่ขาดก็ยังมีอิเล็กตรอน แต่มีน้อยกว่าตอนอื่น

60. สนามไฟฟ้าและไดอิเล็กตริก (di-electric)

อาณาเขตที่อำนาจไฟฟ้าจากวัตถุสามารถส่งอำนาจไปได้ เราเรียกว่า สนามไฟฟ้า (Electric field) และโดยปรกติอำนาจไฟฟ้าก็แผ่อำนาจเขตออกไปได้ในอากาศรอบๆ วัตถุนั้น อำนาจไฟฟ้าไม่เพียงแต่ส่งอำนาจไปในอากาศ ยังคงส่งอำนาจผ่านวัตถุบางอย่างได้ แต่ไม่สามารถส่งอำนาจผ่านวัตถุอื่นๆ บางอย่าง



รูปที่ ๖๕

ถ้าเรามีวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าเช่น C และมี
เคหะกายอยู่บนโต๊ะเช่น D วัตถุจะสามารถถูก
เคหะกายได้ ก็คือ ส่งอำนาจผ่านอากาศได้ ครั้นเรา

เอาวัตถุ เช่น ขั้วฟัน แก้ว ebonite คือพวกฉนวนต่าง ๆ เป็นแผ่นวางคั่นอยู่ เช่นที่ AB C ก็ยังคงส่งอำนาจผ่านสิ่งคั่นอยู่และคงถูกเคหะกายได้ แต่ถ้าเราเอาพวกตัวนำ เช่น ทองแดง ฯลฯ และ earth เสีย คราวนี้วัตถุ C จะไม่สามารถถูกเคหะกายได้ คือ ไม่สามารถส่งอำนาจผ่านตัวนำที่ earthed ไว้ได้

วัตถุที่ยอมให้อำนาจไฟฟ้าส่งอำนาจผ่านตัวใด ก็ชื่อว่า ไดอิเล็กตริก (di-electric) ฉะนั้น อากาศและฉนวนต่าง ๆ เป็น ไดอิเล็กตริก (di-electric) ส่วนตัวนำที่ earthed ไว้แล้วไม่ใช่ไดอิเล็กตริก

วัตถุที่เป็นฉนวนก็เป็นไดอิเล็กตริกด้วย แต่คำสองคำนี้มีความหมายต่างกัน คำว่า ฉนวนหมายความว่า วัตถุนั้นไม่ยอมให้ไฟฟ้า หรืออิเล็กตรอนนั้นเองไหลผ่าน ส่วนไดอิเล็กตริก หมายความว่า วัตถุนั้นยอมให้อำนาจไฟฟ้าส่งอำนาจผ่านไป

ตัวนำที่ earthed ไว้เช่นในรูปที่ 68 ทำหน้าที่เป็นฉากไฟฟ้า (Electrostatic Screen) และอาณาเขตระหว่าง AB และ โต๊ะ คือคั่นที่เคหะกายอยู่ จะไม่เป็นสนามไฟฟ้า

บทที่ ๗

ประจุและการกระจายของประจุบนตัวนำ

61. การวัดจำนวนประจุ

ถ้าเรามีวัตถุสองชิ้นที่มีประจุไฟฟ้า และวางห่างจากกันเป็นระยะหนึ่ง จะมีแรงดึงดูดหรือแรงผลักระหว่างกันในเรือนคูลอมบ์ (Coulomb) ได้ทดลองอย่างละเอียดและได้รวบรวมผลไว้ดังนี้

ก. ถ้าระยะระหว่างวัตถุทั้งสองเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าระยะเดิม แรงจะลดลงไปเป็น $\frac{1}{4}$ หรือ $\frac{1}{2^2}$ ของเดิม ถ้าระยะเพิ่มขึ้นเป็นสามเท่าของเดิม แรงจะลดลงเป็น $\frac{1}{9}$ หรือ $\frac{1}{3^2}$ ของเดิม โดยทั่วไปแรงจะลดลงตามส่วนเพิ่มของระยะทางกำลังสอง คือถ้าระยะเพิ่มขึ้นเป็น r เท่าของเดิม แรงจะลดลงเป็น $\frac{1}{r^2}$ ของเดิม (ดูข้อ 25)

ข. ถ้าประจุบนวัตถุชิ้นหนึ่งลดลงเป็นครึ่งของเดิม แรงจะลดลงเป็นครึ่ง ถ้าประจุเพิ่มเป็นอีกเท่าของเดิม แรงจะเพิ่มเป็นอีกเท่าของเดิม ถ้าประจุบนวัตถุทั้งสองชิ้นต่างลดลงเป็นครึ่งของเดิม แรงจะลดเป็น $\frac{1}{4}$ ของเดิม โดยทั่วไปแรงจะเปลี่ยนแปลงตามผลคูณของกำลังไฟฟ้าในวัตถุทั้งสอง (ดูข้อ 25)

เมื่อเป็นเช่นนั้น เขาจึงได้รวบรวมไว้ว่า ถ้าจำนวนประจุในชิ้นวัตถุทั้งสองเป็น Q_1 และ Q_2 ตามลำดับ และวางให้ระยะห่างจากกัน r เซนติเมตร

$$\text{แรงดึงดูด } F \propto \frac{Q_1 \times Q_2}{r^2}$$

แต่ถ้ากำหนดค่าจากทัศนคติของหน่วยประจุไว้ว่า “เมื่อมีประจุชนิด 1 หน่วย

ขยู่ ๒ ประจุ วางห่างกัน 1 เซนติเมตร ในอากาศจะเกิดแรง 1 คาบั้น เราจะเปลี่ยนส่วนสัมพันธ์ข้างบนไปไดดังนี้

$$F = \frac{1}{k} \frac{Q_1 \times Q_2}{r^2} \quad \text{เมื่อ } k \text{ เป็นจำนวนค่าคงตัวจำนวนหนึ่ง}$$

สำหรับในอากาศ เมื่อ $Q_1 = 1$ หน่วย $Q_2 = 1$ หน่วย $r = 1$ ซม. $F = 1$ คาบั้น

$$\therefore \frac{1}{k} = 1 \text{ และ } k = 1$$

ฉะนั้นถ้าอากาศเป็นโคอีเล็กทริกเกอร์โคสตร

$$F = \frac{Q_1 \times Q_2}{r^2}$$

เมื่อแรง F คิดเป็นคาบั้น

ประจุ Q_1, Q_2 คิดเป็นหน่วยประจุทั้งข้างบน

ระยะ r คิดเป็นเซนติเมตร

สูตรข้างบนจะใช้ได้ต่อเมื่อประจุอยู่เป็นเส้นที่ไม่มีความหนา คือ เป็นจุดประจุ (point charge) ซึ่งตามความจริงเป็นไปไม่ได้ แต่ถ้าขนาดของตัวนำที่ประจุไม่ใหญ่เกินไป และระยะ r มีค่ามากสูตรนี้จะใช้ได้ก็

หน่วยเช่นหน่วยของประจุที่ใช้ข้างบน เราเรียกว่า Electrostatic unit มีอีกชื่อย่อว่า e.s.u.

ตัวอย่าง มีจุดประจุขนาด 10 และ 5 หน่วย e.s.u. วางในอากาศห่างกันเป็นระยะ

5 ซม. จงหาแรงที่เกิดขึ้นระหว่างประจุทั้งสอง

$$\begin{aligned} \text{แรง } F &= \frac{Q_1 \times Q_2}{r^2} \\ &= \frac{10 \times 5}{5^2} \text{ คาบั้น} \\ &= 2 \text{ คาบั้น} \end{aligned}$$

62. ความหนาแน่นของประจุ

เมื่อมีประจุอยู่บนตัวนำอันหนึ่ง

ความหนาแน่นของประจุไฟฟ้าในท่อนต่าง ๆ

ของตัวนำนั้นเรียกว่า ความหนาแน่นของประจุ (Charge density) ในตอนต่างๆ ความหนาแน่นก็จะเป็นจำนวนประจุต่อเนื้อที่ ตารางเซนติเมตรของพื้นที่ของตัวนำ ตามธรรมชาติกำหนดให้เครื่องหมาย d เป็นความหนาแน่นประจุ

ต่อไปจะเห็นว่าความหนาแน่นของประจุในส่วนต่างๆ ของตัวนำไม่จำเป็นจะต้องเหมือนกันเสมอทุกตอน โดยเฉพาะตัวนำที่เป็นรูปทรงกลมเท่านั้นที่ความหนาแน่นเหมือนกันตลอดทุกส่วน

ตัวอย่าง โลหะเป็นรูปทรงกลมรัศมี 2 ซม. มีประจุอยู่ 50 หน่วย e.s.u. จงหาความหนาแน่นประจุของตัวนำ

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่ของรูปทรงกลม} &= 4\pi r^2 \\ &= 4 \times \frac{22}{7} \times 2^2 \end{aligned}$$

$$\therefore \text{ความหนาแน่นประจุ } d = \frac{50}{4 \times \frac{22}{7} \times 4}$$

$$= 1 \text{ หน่วย e.s.u. ต่อตาราง ซม. (ประมาณ)}$$

63. แรงที่เกิดขึ้นเมื่อมี ไดอิเล็กทริก อื่นๆ ขึ้น

ถ้าแรงระหว่างประจุสองชิ้นส่งผ่าน ไดอิเล็กทริก อื่นนอกจากอากาศ แรงที่เกิดขึ้นจะมีค่าเป็นจำนวนอน และโดยทั่วไป

ถ้า Q_1, Q_2 เป็นจำนวนประจุทั้งสอง คิดเป็นหน่วย e.s.u.

r เป็นระยะห่างระหว่างประจุทั้งสอง คิดเป็นเซนติเมตร

k เป็น dielectric constant สำหรับ ไดอิเล็กทริก ที่คนอยุ่

F เป็นแรงที่เกิดขึ้น คิดเป็นไดนา

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{kr^2} \text{ ไดนา}$$

ในการคำนวณในข้อที่ 61 เราเห็นว่า k สำหรับอากาศเท่ากับ 1 ส่วน k สำหรับ ไขมันเล็กน้อยที่ค่าคงที่

สูญญากาศ	0.94
ไฮโดรเจน	0.9997
คาร์บอนไดออกไซด์	1.0008
แก้ว	6—10
Ebonite	2.6—3.48
Turpentine	2.1—2.3

ตัวอย่าง 1. วัตถุสองชิ้นประจุ 10 และ 20 หน่วย e.s.u. ความลึกลับ วางให้จมอยู่ในน้ำมันก๊าซซึ่งมี di-electric constant 2 และวางให้ห่างกันเป็นระยะ 10 ซม. แรงระหว่างประจุทั้งสอง

$$\begin{aligned}\text{แรง} &= \frac{Q_1 \times Q_2}{kr^2} \\ &= \frac{10 \times 20}{2 \times 10^2} \text{ คายน์} \\ &= 1 \text{ คายน์}\end{aligned}$$

ตัวอย่าง 2. วัตถุทึบประจุสองชิ้น เกิดแรงระหว่างกัน 10 คายน์ เมื่อวางห่างจากกันเป็นระยะหนึ่งในอากาศ ครั้นเอาวัตถุทั้งสองไปจมในน้ำมัน แล้ววางให้ห่างจากกันเป็นระยะเท่าเดิม แรงจะเป็นเท่าใด?

Dielectric constant ของน้ำมันที่ใช้นี้ค่าเท่ากับ 2.2

$$\begin{aligned}\text{แรงในน้ำมัน} &= \frac{Q_1 \times Q_2}{kr^2} \\ &= \frac{1}{2.2} \times \frac{Q_1 \times Q_2}{r^2} \\ \text{แรงในอากาศ } 10 &= \frac{Q_1 \times Q_2}{r^2}\end{aligned}$$

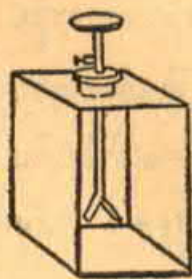
$$\therefore \text{แรงในน้ำมัน} = \frac{1}{2.2} \times 10$$

$$= 4.54 \text{ คาบ}$$

หมายเหตุ ถ้าเราเอาวัตถุที่มีประจุมาสองชิ้นวางในอากาศ แล้วเอาวัตถุเล็กทึบ
เช่นแผ่น ebonite มาวางคั่น เราจะคำนวณแรงโดยใช้สูตรข้างบนไม่
ได้ เพราะวัตถุเล็กทึบในตอนนี้มีสองตอน อากาศตอนหนึ่ง ebonite
อีกตอนหนึ่งแรงจะลดลงจริง แต่จะลดลงเท่าไรนั้นจะคำนวณโดยใช้สูตร
ข้างบนไม่ได้ สูตรข้างบนจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อมี วัตถุเล็กทึบชิ้นเดียวกัน
คั่นระหว่างประจุทั้งสองโดยตลอด เช่น ใมน้ำมัน

65. อิเล็กโตรสโคปแผ่นทองเปลว

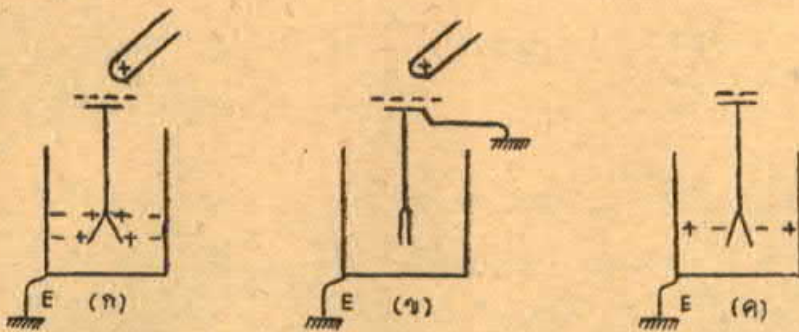
อิเล็กโตรสโคปแผ่นทองเปลว (Gold leaf Electroscope) เป็นเครื่องมือสำหรับ
ตรวจอำนาจไฟฟ้าเช่นเดียวกับ อิเล็กโตรสโคปแบบ pith ball แต่ได้ผลละเอียด
ยิ่งขึ้นไปอีก เพราะสามารถทราบชนิดของอำนาจไฟฟ้าที่นำมาทดสอบด้วย



เครื่องมือประกอบด้วยภาชนะทึบ เช่น หีบไม้เคลือบงาทำด้วย
โลหะที่ด้านหน้าและด้านหลังเป็นแก้วเพื่อให้มองเห็นได้ ตอนบน
มีแท่งทองเหลืองซึ่ง insulated จากหีบยึดด้วยขดลวดทำด้วย
ebonite แท่งทองเหลืองนี้แยกเป็น 2 ตอน ตอนที่อยู่ภายในหีบ
มีแผ่นทองคำเปลว 2 แผ่นติดอยู่ที่ปลาย เพื่อให้มันชนออกไปได้

รูปที่ 70

ตอนนอกหีบมักทำให้เป็นแผ่นกลม หรือรูปทรงกลมอยู่ตอนบนเพื่อเป็นที่ใส่ประจุ ส่วน
โลหะที่ประกอบหีบนั้นต้องมีทางต่อไปถึง earth



รูปที่ 71

การประจุอิเล็กโตรสโคป

วิธีประจุอิเล็กโตรสโคป มี ๒ วิธี

ก. โดยการสัมผัส ข้อ ๕๗

ข. โดยการเหนี่ยวนำ ข้อ ๕๗

สำหรับการประจุอิเล็กโตรสโคป โดยการเหนี่ยวนำนั้น หลักที่ใช้ก็เช่นเดียวกับที่ได้อธิบายในข้อ ๕๗ ถ้าเราเอาประจุบวกเข้าใกล้แผ่นบน อิเล็กตรอนจากแผ่นทองของเปลวจะมาออกกันอยู่ที่แผ่นบนเป็น bound charge แผ่นทองของเปลวจะขาดอิเล็กตรอนเกิดอำนาจไฟฟ้าสถิตบวกด้วยกันทั้ง ๒ แผ่น ผลลัพท์จากกันจึงทำให้แผ่นล่างออก (รูป 71 ก.) ครั้นเราเอานิ้วแตะแผ่นบน อิเล็กตรอนจากมือจะไหลเข้าไปเติมให้แก่แผ่นทองของเปลวเพื่อให้สะเทิน แผ่นเลยหุบลงเช่นเดิม (รูป 71 ข.) ครั้นเราเอาประจุบวกที่เอามาล้อออกก็เสีย อิเล็กตรอนที่เคยเป็น bound charge เลยไหลลงไปเฉลี่ยให้แก่แผ่นทองของเปลวใหม่ แผ่นทองของเปลวกางออกใหม่ (รูป 71 ค.) คราวนี้อิเล็กโตรสโคปมีประจุอิสระสถิตย ถ้าต้องการประจุอิสระสถิตย ก็เอาวัตถุที่มีอำนาจไฟฟ้าลบมาล้อแทน

การใช้อิเล็กทรอนิกส์

ถ้าต้องการทราบว่า วัตถุหนึ่งมีประจุหรือไม่ และถ้ามี จะเป็นประจุชนิดใด เราจะทำได้อย่างไร

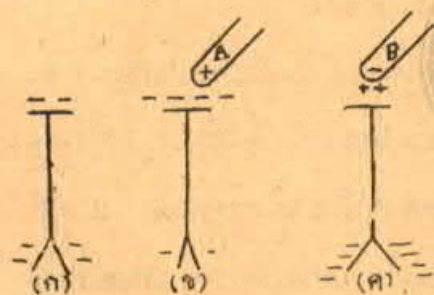
ก่อนอื่น discharge อิเล็กทรอนิกส์เสียก่อน แล้วเอาวัตถุเข้ามาใกล้ ถ้าแผ่นทองเปลวของอิเล็กทรอนิกส์ชี้ ออก ก็แปลว่าวัตถุนั้นมีประจุ แต่ยังไม่ทราบว่า เป็นประจุชนิดใด

คราวนี้ ทำให้อิเล็กทรอนิกส์มีประจุอิสระที่เราทราบชนิด เช่น มีประจุเป็นชนิดลบ แล้วเอาวัตถุที่มีประจุเข้ามาใกล้อีก ถ้า A มีประจุเป็นชนิดบวก แผ่นทองเปลวของอิเล็กทรอนิกส์จะ หุบเข้า ถ้า B มีประจุชนิดลบ แผ่นทองเปลวจะ อ้ากว้าง ออกอีก เรืองนี้จะเข้าใจโดยพิจารณาจากรูป

ในรูปที่ 72 ก. อิเล็กทรอนิกส์มีประจุลบ ครั้นเอา A ซึ่งมีอำนาจไฟฟ้าบวก

เข้ามาใกล้ A จะดึงดูดให้อิเล็กตรอนมาจากแผ่นทองเปลวมากขึ้น แผ่นทองเปลวมีอิเล็กตรอนน้อยลง เมื่อแรงผลักระหว่างจึงหุบเข้า

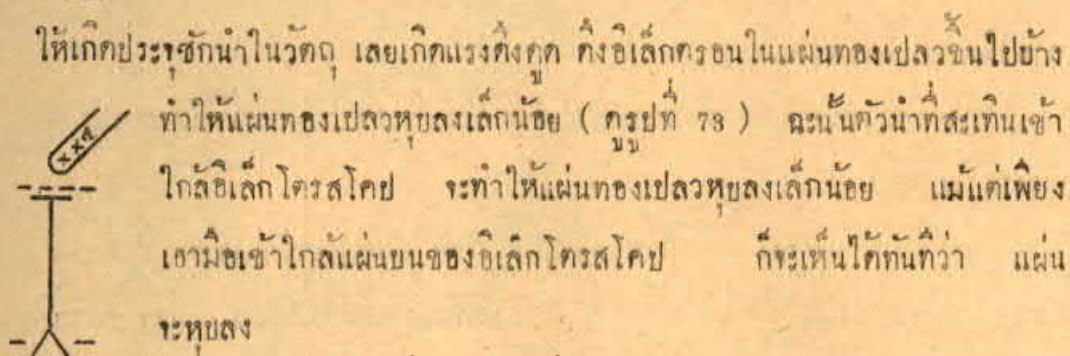
ในรูปที่ 72 ข. ถ้าวัตถุ B มีอำนาจไฟฟ้าลบ อำนาจไฟฟ้าจาก B จะดันอิเล็กตรอนจากแผ่นบน



รูปที่ 72

ลงไปออกกันที่แผ่นทองเปลวมากขึ้น เกิดแรงผลักระหว่างมากขึ้น แผ่นทองเปลวจึงอ้าออกมากขึ้นอย่างในรูปที่ 72 ค.

ข้อที่ควรระวังในการทดลองก็คือ ต้องทดลองเสียก่อนว่าวัตถุนั้น มีประจุหรือไม่ เพราะถ้าวัตถุไม่มีประจุแต่แรก และเรานำมาเข้าใกล้อิเล็กทรอนิกส์ที่มีประจุอยู่แล้ว แผ่นทองเปลวจะหุบเข้าเล็กน้อย เพราะอิเล็กตรอนในแผ่นบนจะชักรั้

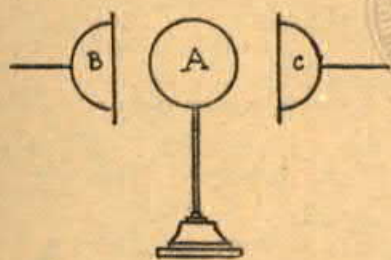


รูปที่ 78

ถ้าไม่สะดวกที่จะเอาวัตถุที่มีประจุมาเข้าใกล้ฉีกเล็กโทรสโคปโดยตรง เราใช้ proof plane แทน

65. การกระจายของประจุบนตัวนำ

เมื่อตัวนำหนึ่งที่มีประจุ ไฟฟ้าจะเฉลี่ยอยู่แต่เฉพาะที่ผิวนอกของตัวนำเท่านั้น ส่วนผิวในจะไม่มีความไฟฟ้าเลย ไม่ว่าตัวนำจะกลมหรือคัน หลักข้อนี้เรียกว่า ทฤษฎีบทของบิโอ (Biot's Theorem.) และแสดงให้เห็นจริงได้ดังนี้



รูปที่ 7

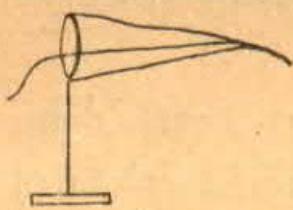
ก. A ในรูปที่ 74 เป็นตัวนำรูปทรงกลม ซึ่งมีฐานเป็นฉนวน B และ C เป็นตัวนำรูปครึ่งทรงกลม 2 ชิ้น จงครอบ A ไว้แน่นสนิทพอดี และ B และ C ก็มีค่าเป็นฉนวนเช่นกัน ถ้าเราเอาประจุ

จำนวนหนึ่งใส่ใน A แต่ไม่ให้ B และ C มีประจุ เอา B และ C ครอบ A ไว้ได้แน่นสนิท แล้วเราออกมาทดลองดู จะปรากฏว่า ความหนาแน่นของประจุที่ B และ C มีประจุ แต่ประจุใน A หายไปหมด ประจุที่เคยอยู่ที่ A ได้ย้ายที่มายู่ที่ผิวนอกของ B และ C โดยสิ้นเชิง การทดลองอันนี้เป็นที่ทดลองของบิโอ และคาเวนดิช (Cavendish) ซึ่งได้สังเกตว่าไม่ใช่เป็นการประจุ B และ C โดยการสัมผัส เพราะถ้าเช่นนั้น A ควรมีประจุเหลืออยู่บ้าง

ข. ถ้าเราเอาตัวนำรูปทรงกระบอกกลวงวางลงบนแท่นฉนวน เอาประจุใส่ แล้วทดลองด้วย proof plane กับส่วนต่างๆ ภายนอกและภายในกระบอก จะปรากฏว่าไม่มีประจุภายในกระบอกเลย ทั้งๆ ที่กระบอกก็ทำด้วยตัวนำ และอิเล็กตรอนย่อมไหลลงกันไว้ตลอด.

หมายเหตุ แท่นฉนวน (Insulating stand) เป็นแท่นอันหนึ่งทำด้วยฉนวนสำหรับวางตัวนำไว้เพื่อให้เกิด insulation โดยที่ แท่นชนิดนี้มักใช้ทำด้วย ebonite

ค. รูปที่ 75 แสดงเครื่องมืออันหนึ่ง เรียกว่า กระจับปี่ของ ฟาราเดย์ (Faraday's Butterfly Net) กระจับปี่นี้ประกอบด้วยผ้าฝ้าย หรือ ฝาดิน ขอบปาก



รูปที่ 75

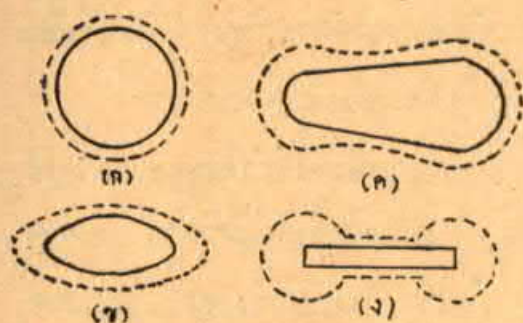
กระจับปี่อยู่กับ insulated Stand ทั้งด้านนอกและด้านใน ที่ตอนปลายแหลมมีเส้นไหมผูกไว้ เพื่อสะดวกในการกลี่ย ด้านนอกให้เป็นด้านใน และด้านในให้เป็นด้านนอก ถ้าเราเอาประจุใส่ให้แก่กระจับปี่ และทดลองดูภายในจะไม่มีประจุ คงมีแต่ตอนนอก ครั้นเราดึงเส้นไหมเพื่อยกด้านนอกเป็นใน คราวใหม่ ประจุจะมีอยู่ตอนนอกอีก ตอนในไม่มี แสดงว่าในการดึงกระจับปี่ให้กลับนอกเป็นใน ในเป็นนอก ประจุก็ย้ายที่มาอยู่ทางด้านนอกอีก

66. การกระจายของประจุบนตัวนำที่มีรูปต่างๆ

เมื่อมีประจุบนตัวนำ ประจุจะกระจายอยู่ตามส่วนต่างๆ ไม่เท่ากันทุกตอน ต่อความหนาแน่นประจุในตอนต่างๆ จะไม่เท่ากัน แล้วแต่ลักษณะของตัวนำนั้น

ก. ถ้าตัวนำเป็นรูปทรงกลม (Sphere) ประจุจะกระจายเฉลี่ยเท่ากันหมดทุกตอน ดังในรูปที่ 76 ก. ระยะห่างของเส้น ทศฉากเส้นเดิมแสดงความหนาแน่นของประจุในตอนต่างๆ โดยประมาณ

ข. ถ้าตัวนำเป็นรูปไข่ ประจุจะกระจายอยู่มากตามแถบที่โค้งมาก และน้อยลงตามแถบที่โค้งน้อย อย่างในรูป 76 ข.



รูปที่ 76

เต็มหมด ประจุจะมาอยู่แถบปลายแหลมเกือบทั้งหมด และจะไม่อยู่เป็นสมมาตร เพราะฉะนั้นหายไปบ้าง เรืองนเรศวรกล่าวถึงอีก.

สรุปแล้วณ ตอนใดตัวนำโค้งมาก ประจุจะอยู่ไ้มาก ตอนใดโค้งน้อย ประจุจะออกกันอยู่ไ้น้อย ตอนใดราบ เกือบจะไม่ประจุเลย ฉะนั้น ในอิเล็กทรอนิกส์โคป แผ่นทองเปลว ประจุส่วนใหญ่จะออกกันอยู่แถบขอบของแผ่นทองเปลว.

สำหรับตัวนำที่เป็นรูปทรงกลม เราได้รู้เสียแล้วว่าประจุออกแรงจากทุกศูนย์กลางของทรงกลม เพราะประจุอยู่เฉลี่ยกันโดยสม่ำเสมอโดยรอบของผิวของรูปทรงกลม

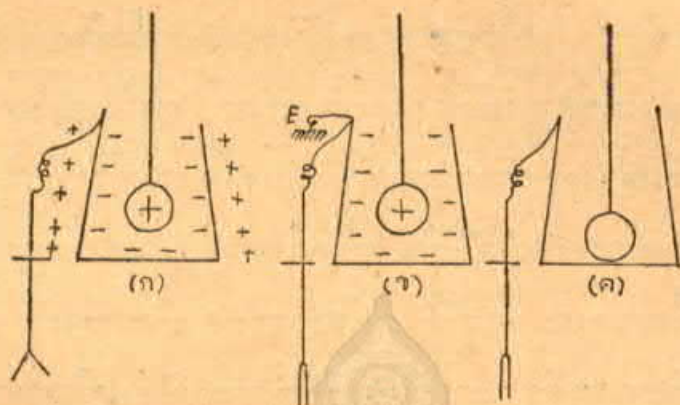
67. ประจุเหนี่ยวนำ

ประจุเหนี่ยวนำจะมีจำนวนประจุเท่ากับประจุต้นเหตุที่ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำ นั้น ถ้าตัวนำทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นห้อมล้อมประจุที่มาล่ออยู่โดยรอบ เรืองนเรศวรแสดงให้เห็นจริงได้โดยการทดลอง เรียกว่า การทดลองกระป๋องน้ำแข็งของฟาราเดย์ (Faraday's Ice-pail Experiment)

เขากระป๋องมาชนหนึ่งตั้งบนแท่นฉนวน และเขาลงคตอากาศกระป๋องไปยังอิเล็กทรอนิกส์โคปแผ่นทองเปลว.

ค. ถ้าตัวนำเป็น อย่างใน รูปที่ 76 ค. และ รูปที่ 76 ง. ซึ่งเป็นตัวนำรูปทรงกระบอกแบนๆ เช่น เงินบาท การกระจายของประจุจะเป็นดังแสดงในรูป ง. ถ้าตัวนำมีปลายแหลม เช่น

เอาตัวนำทรงกลม A ห้อยด้วยเส้นไหม แล้วทำให้มีประจุจำนวนหนึ่ง สมมุติ
ว่า เป็นประจุบวก เอา A หย่อนลงในกระป๋อง แต่ไม่ให้แตะกันหรือแตะกับข้าง



รูปที่ 77

กระป๋อง แผ่นทองเปลวจะอัดออกเนื่องด้วยการเหนี่ยวนำที่เกิดแก่กระป๋อง ในตอน
แรกจะอัดออกเล็กน้อย แล้วค่อยกว้างมากทุกที เมื่อหย่อนลงไปลึกถึงก้น หนึ่ง
เกิดการเหนี่ยวนำเต็มที่ คราวนี้จะหย่อนให้ลึกลงไปอีก หรือนำไปห้อยในส่วนต่าง ๆ
ภายในกระป๋องก็จะไม่ทำให้แผ่นทองเปลวอัดกว้างออกอีก เพราะเกิดการเหนี่ยวนำ
เต็มที่แล้ว เช่นที่ในรูป 77 ก. คราวนี้เอานิ้วแตะภายนอกกระป๋อง อิเล็กตรอน
จากมือเข้าไปเติมให้แก่ด้านนอกของกระป๋อง และแก้แผ่นทองเปลวจนสะเทิน แผ่น
ทองเปลวจะหุบเช่นในรูปที่ 77 ข. แต่ประจุลบที่กระป๋องที่เกิดจากการเหนี่ยวนำจาก
วัตถุ A จะยังคงมีอยู่เป็น bound charge คราวนี้ถ้าเราเอา A แตะที่ก้นกระป๋อง แผ่น
ทองเปลวจะคงหุบอยู่เช่นเดิมเช่นในรูปที่ 77 ค. นี้แสดงให้เห็นว่า ประจุเหนี่ยวนำ
ที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับประจุที่มาล่อ เพราะถ้าไม่เท่ากัน และอันใดอันหนึ่งมากกว่า
กันแล้วประจุที่มากกว่านั้นจะวิ่งออกมาภายนอกกระป๋อง และจะทำให้แผ่นทองเปลว
อัดออก.

คราวนี้เขา A ออกจากกระป๋องและประจุเสียใหม่ แล้วหย่อนลงไปบนแผ่นทอง
 อ้าออกจนเต็มที แล้วให้ A แตะกับกระป๋อง แผ่นทองเปลวระอาอยู่เต็มทีเช่นเดิมไม่
 เพิ่มและไม่หุบเข้า การที่แผ่นทองเปลวระอาในตอนแรกนั้นเกิดจากประจุเหนี่ยวนำที่
 เกิดขึ้นภายนอกกระป๋อง แต่เมื่อ A แตะกับกระป๋อง ประจุที่ภายนอกกระป๋องต้องเป็น
 ประจุของ A นั่นเอง เพราะเมื่อแตะภายใน ประจุทั้งหมดจะต้องย้ายที่มายู่ภายนอก
 กระป๋อง เมื่อแผ่นทองเปลวไม่ไ้ไ้อามากจนหรือหุบเข้า ก็แปลว่าประจุเหนี่ยวนำภายใน
 นอกกระป๋องเมื่อก่อนแตะ เท่ากับประจุจริงๆ ของ A เมื่อแตะแล้ว แต่ไ้ไ้อายที่
 มาอยู่นอกกระป๋องแทน คือ ประจุเหนี่ยวนำมีจำนวนเท่ากับประจุที่เขามาต่อ

ถ้าเราต้องการถ่ายประจุจากตัวนำ A ไปยังตัวนำ B โดยการสัมผัสจำนวน
 ประจุเช่นกัน และเราไม่ถ่ายให้ทั้งหมด แต่ถ้า B มีลักษณะเช่นดังอย่างข้างบน และ
 เขา A ไปแตะภายใน A จะถ่ายประจุให้ B จนสิ้นเชิง ถ้า A เป็นฉนวน และเขา A ไล่
 ใน B จะเกิดประจุเหนี่ยวนำภายนอกกระป๋องเท่ากับจำนวนประจุของ A และประจุ
 เหนี่ยวนำภายนอกกระป๋องจะเป็นประจุชนิดเดียวกับ A (สรุปที่ 77 ก.)

โดยเหตุนี้ เราจึงใช้กระป๋องของฟาราเดย์เพื่อพิสูจน์ว่า เมื่อเขาชนสั้ตัว
 แท่งทองแดง ไฟฟ้าก็เกิดที่แท่งทองแดง และที่ชนสั้ตัวเป็นไฟฟ้าคนละชนิดกัน
 จำนวนเท่ากัน เขาแท่งทองแดงหลุดแล้วไปแตะที่ก้นกระป๋อง ประจุลบจากแท่งทองแดง
 จะถ่ายไปให้กระป๋องจนหมด ทำให้แผ่นทองเปลวอ้าออก ครั้นแล้วเขาชนสั้ตัว
 ไล่ลงไปในกระป๋องจะปรากฏว่า แผ่นทองเปลวหุบหมด ถ้าแผ่นทองเปลวหุบหมด
 ก็หมายความว่าประจุเหนี่ยวนำชนิดบวกที่เกิดจากประจุบวกในชนสั้ตัว มีจำนวน
 เท่ากับประจุลบของแท่งทองแดงพอดี จึงมาถูกกันหมด.

ถ้าเอาทั้งแท่งทองแดงและชนส์ตัวใส่ลงในกระป๋องพร้อมๆ ให้ลึก แต่ไม่ให้
แตะกันหรือข้างกระป๋อง แผ่นทองเปลวจะไม่เข้าออกเลย ประจุเห็นยวนำมาถูติดกัน
ได้พอดีในตัว

ในการทดลองของฟาราเดย์ ถ้าโคอิเล็กตริกในกระป๋องเป็นอย่างอื่น นอก
จากอากาศ ก็คงได้ผลเหมือนเดิม คือ ประจุเห็นยวนำที่เกิดขึ้นภายนอกกระป๋องจะเท่า
ประจุที่มาต่อในกระป๋อง



บทที่ 8

สนามไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า ความจุไฟฟ้าของตัวนำ

68. สนามไฟฟ้า

เมื่อมีตัวนำที่มีประจุไฟฟ้า

อาณาเขตที่อำนาจไฟฟ้าส่งแรงไปถึงได้เรียกว่า สนามไฟฟ้า (Electric field) แรงที่ส่งออกไปนั้นค่อยลงตามส่วนของระยะทางกำลังสอง นอกจากนั้นเราจะแสดงลักษณะของสนามไฟฟ้าได้ด้วยเส้นของแรงไฟฟ้า (Lines of force) เส้นของแรงไฟฟ้า คือ แนวที่จุดประจุหนึ่งจะเคลื่อนที่ตามทิศของลัทธิในแนว

เรอเนอียร์ไม่มีความสำคัญมากนัก

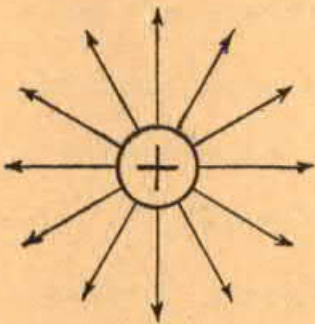
ฉะนั้นเราจึงแสดงแค่เฉพาะเส้นของแรงของสนามอย่างง่าย

ข้างอื่นเท่านั้น รูปที่ 78 แสดงเส้นของแรงที่เกิดจากวัตถุ

ทรงกลมที่มีประจุบวก รูปที่ 79 แสดงเส้นแรงที่เกิดจาก

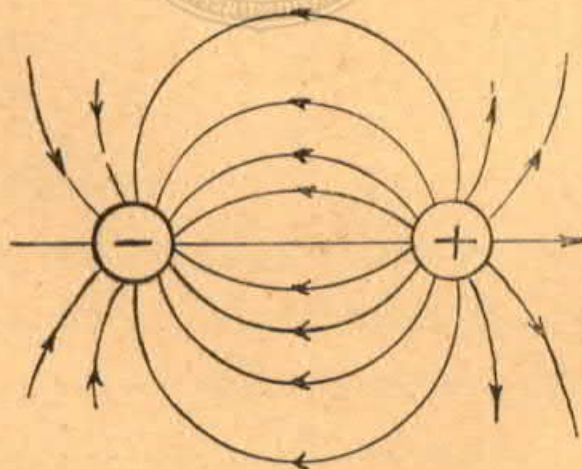
วัตถุทรงกลม 2 อัน มีประจุบวกอันหนึ่ง ลบอันหนึ่ง และ

รูปที่ 80 แสดงเส้นแรงที่เกิดจากวัตถุทรงกลม 2 อัน

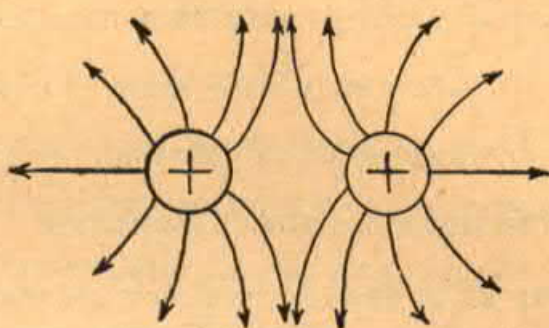


รูปที่ 78

มีประจุบวกทั้งคู่



รูปที่ 79



รูปที่ 80

69. ความเข้มในสนามไฟฟ้า

ความเข้มในสนามไฟฟ้าที่ตอนใด ก็คือแรงที่จะเกิดแก่จุดประจุ 1 หน่วย e.s.u.

ที่วางอยู่ในสนามนั้นโดยตรงนั้น

ถ้าวัตถุหนึ่งมีประจุ Q หน่วย e.s.u.

ทุกแห่ง ๆ อยู่ห่างออกมา r เซนติเมตร

ให้แรงความเข้ม ณ จุดนั้นเป็น F

$$\therefore F = \frac{Q \times 1}{r^2} \text{ ภายนี้ ต่อ 1 หน่วย e.s.u.}$$

$$= \frac{Q}{r^2} \text{ ภายนี้ ต่อ 1 หน่วย e.s.u.}$$

ความเข้มมีทั้งแนวและทิศ แนวและทิศของความเข้มก็คือ แนวและทิศของเส้นของแรงไฟฟ้าในสนามนั้น

ตัวอย่าง วัตถุทรงกลมมีรัศมี 2 ซม. มีประจุ 32 หน่วย e.s.u. ณ จุด ๆ หนึ่ง
ห่างจากวัตถุทรงกลม 6 ซม. จะมีความเข้มไฟฟ้าเท่าใด?

$$\text{ตามสูตร } F = \frac{Q}{r^2}$$

$$\therefore \text{ความเข้ม } F = \frac{32}{(6+2)^2} \text{ คายน์ ต่อ 1 หน่วย e.s.u.}$$

$$= 0.5 \text{ คายน์ ต่อ 1 หน่วย e.s.u.}$$

หมายเหตุ ระยะทางกึ่งกลางศูนย์กลางของรูปทรงกลม (ดูข้อ 66)

70. สนามไฟฟ้าและความเข้มภายในวัตถุทรงกลม

เราทราบจากข้อ 65 ว่า ประจุไฟฟ้าจะอยู่ที่ผิวหน้าของตัวนำเท่านั้น จะไม่มีประจุอยู่ภายในเลย ดังนั้นในตัวนำที่เป็นรูปทรงกลมจะไม่มีสนามไฟฟ้าภายในรูปทรงกลม (ดูรูป 78) และโดยเหตุนี้เอง ความเข้มตามจุดต่างๆ ภายในทรงกลมจึงไม่มี

ตัวอย่าง วัตถุทรงกลมมีรัศมี 5 ซม. มีประจุ 25 หน่วย e.s.u. ณ จุด

ก. ห่างจากศูนย์กลางของรูปทรงกลม 10 ซม.

ข. ห่างจากศูนย์กลางของรูปทรงกลม 4 ซม.

จะมีความเข้มไฟฟ้าเท่าใด ?

$$\text{ตามสูตร } F = \frac{Q}{r^2}$$

$$\therefore \text{ความเข้ม } F = \frac{25}{10^2} \text{ คายน์ ต่อ 1 หน่วย e.s.u.}$$

$$= 0.25 \text{ คายน์ ต่อ 1 หน่วย e.s.u.}$$

ค. ความเข้มเป็นศูนย์ เพราะจุดนี้อยู่ภายในทรงกลม

71. ศักดาไฟฟ้า

ก่อนที่จะอธิบายถึงศักดาไฟฟ้า เราจะต้องพิจารณาแรงการไหลของน้ำเสียก่อน เพราะเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกันเป็นอย่างดี ถ้าให้น้ำถึงหนึ่งอยู่ในระดับสูง และให้น้ำอีกหนึ่งอยู่ในระดับต่ำกว่าและปล่อยให้มันไหลลง น้ำจะไหลจากที่สูงกว่ามายังที่ต่ำกว่า และจะไหลเรื่อยไปจน

กระทั่งระดับทั้งสองเท่ากัน และเมื่อระดับเท่ากันแล้วก็จะไม่ไหลอีกต่อไป น้ำจะไหลจากที่สูงที่มีจำนวนน้ำมากกว่าไปหาที่มีจำนวนน้ำน้อยกว่า แต่จะไหลเนื่องจากความต่างของระดับเท่านั้น และไหลจากระดับสูงมาหาระดับต่ำ ถ้าคือที่จากถึงริมหาลงสู่ทะเล น้ำจะคงไหลจากที่สูงสู่ทะเล เพราะระดับน้ำในถังอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเล ถึงแม้ว่าทะเลจะมีจำนวนน้ำมากกว่าถึงมากมายนัก ถ้าถังนั้นอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเล น้ำจะไหลลงสู่ทะเลจนหมดถึง

ในเรื่องไฟฟ้า ศักยภาพไฟฟ้า (Potential) มีความหมายเช่นเดียวกับระดับในเรื่องน้ำ ประจุทุกอันมีศักภาพเป็นจำนวนหนึ่ง และเมื่อประจุ 2 อันมีทางติดต่อถึงกัน ไฟฟ้าจะไหลลงจากจุดที่มีศักภาพสูงไปหาจุดที่มีศักภาพต่ำ จนศักภาพเท่ากันแล้วก็จะหยุดไหล เรืองนบวซ์ของไควร์รวบรวมความเรียงขึ้นมาและเรียกกันว่า หลักของบวซ์ของ (Poisson's Principle) และกำหนดไว้ดังนี้ เมื่อมีตัวนำตั้งแต่สองอันขึ้นไปที่มีศักภาพไม่เท่ากัน และถูกโยงด้วยลวดตัวนำเหล่านั้นจะถ่ายเทประจุให้แก่กันจนศักภาพของตัวนำเหล่านั้นเท่ากัน"

การไหลของไฟฟ้าจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ไม่ใช่อาศัยจำนวนไฟฟ้าเป็นหลัก คือไม่ไ้ไหลจากจุดที่มีจำนวนประจุมากไปหาจุดที่มีจำนวนประจุน้อย แต่จะไหลจากจุดที่มีศักภาพสูงไปยังจุดที่มีศักภาพต่ำ เพื่อเป็นหลักฐานกลางเราถือว่าโลกมีศักภาพเป็นศูนย์และเป็นจำนวนคงที่ คือการถ่ายเทไฟฟ้าเข้าหรือออกจากโลก ไม่ทำให้ศักภาพไฟฟ้าของโลกเปลี่ยนแปลง เพราะโลกมีขนาดใหญ่มาก ฉะนั้นวัตถุใด earth ไว้จะไม่มีประจุเหลือเลย จะปลดปล่อยประจุเข้าโลกหมด คือ ศักภาพเป็นศูนย์เท่ากับศักภาพของโลก

เมื่อถือศักภาพของโลกเป็นศูนย์แล้ว ถ้าเรากล่าวว่าศักภาพของวัตถุใดเป็น A หน่วย ก็หมายความว่า วัตถุนั้นมีศักภาพไฟฟ้าสูงกว่าโลก A หน่วย

72. ศักดาบวกและศักดาลบ

การถ่ายเทไฟฟ้าตามความเป็นจริงนั้น อิเล็กตรอนเป็นตัวถ่ายเท คืออิเล็กตรอนจะถ่ายเทจากจุดที่มีประจุลบไปหาจุดที่มีประจุบวก (ตามทฤษฎีอิเล็กตรอน) แต่ถ้าพูดเช่นนั้นจะกลายเป็นการไหลของไฟฟ้าจากจุดที่มีศักดาต่ำไปยังจุดที่มีศักดาสูง ฉะนั้นในเรื่องศักดาไฟฟ้าและการไหลของไฟฟ้า เขาจึงถือเสียว่ากระแสไฟฟ้าบวก (ตรงข้ามกับกระแสอิเล็กตรอน) ไหลจากจุดศักดาสูงไปหาจุดศักดาต่ำ กระแสไฟฟ้าบวกนั้นเรียกว่า กระแสไฟฟ้า (Electric current) และเป็นกระแสตรงข้ามกับกระแสอิเล็กตรอน (Electronic current) เช่นถ้า A มีประจุลบ B มีประจุบวก และมีทางเชื่อมถึงกัน อิเล็กตรอนจะไหลจาก A ไปยัง B แต่ตามธรรมเนียมที่ใช้กันในเรื่องการไหลของไฟฟ้า เขาเรียกกันว่ากระแสไฟฟ้าไหลจาก B ไปยัง A

ลองนึกถึงตัวนำที่มีประจุบวกและมีทางต่อจากตัวนำนั้นไปยังโลก กระแสไฟฟ้าจะไหลจากตัวนำไปยังโลก จนกระทั่งประจุบนตัวนำนั้นหมดไป และตัวนำมีศักดาเท่ากับศักดาของโลก คือเป็นศูนย์ เมื่อตัวนำมีทางต่อกับโลกและกระแสไฟฟ้าไหลจากตัวนำไปยังโลกตัวนำนั้นโคซื่อว่ามีศักดาสูงกว่าศักดาของโลก และมี ศักดาบวก

คราวนี้ ลองนึกถึงตัวนำอีกอันหนึ่งมีประจุลบ และมีทางต่อจากตัวนำไปยังโลก กระแสไฟฟ้าจะไหลจากโลกมายังตัวนำ เพื่อมาลบล้างประจุบนตัวนำจนหมดไป และตัวนำมีศักดาเท่ากับศักดาของโลก คือเป็นศูนย์ เมื่อตัวนำมีทางต่อกับโลกและกระแสไฟฟ้าไหลจากโลกมายังตัวนำ ตัวนำนั้นโคซื่อว่า มีศักดาต่ำกว่าศักดาของโลก และมี ศักดาลบ

แต่เมื่อเอาตัวนำที่ไม่มีประจุเลยต่อกับโลก จะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในทางใดเลย ตัวนำนั้นมีศักดาเท่ากับศักดาของโลก คือเป็นศูนย์

หากทดลองมาแล้ว เราอาจจะพูดได้ว่า ศักยภาพของตัวนำเป็นสถานะไฟฟ้าของตัวนำที่ระบุว่า กระแสไฟฟ้าจะไหลไปทางใด เมื่อมีทางต่อจากตัวนำนั้นถึงโลก

73. ศักตานในตัวนำ

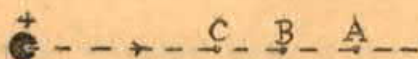
สมมติว่า มีตัวนำสองอัน A และ B และมีลวดตัวนำต่อกัน ถ้าก่อนต่อลวด A มีศักดาสูงกว่า B เมื่อต่อกันเข้า ไฟฟ้าจะไหลจาก A ไป B ทำให้ศักดาของ A ต่ำลง และศักดาของ B สูงขึ้น จนผลสุดท้ายศักดาของ A และ B เท่ากันก็หยุดไหล ไฟฟ้าที่ไหลนี้ เราเรียกว่ากระแสไฟฟ้า ในขณะที่ไฟฟ้าหยุดไหลแล้วในตัวนำ A และ B และลวดที่ใช้ต่อเป็นเสมือนตัวนำอันเดียวกัน ฉะนั้นก็เท่ากับว่า จุดทุกจุดบนตัวนำที่มีประจุจะมีศักดาเท่ากัน ถ้าโดยเหตุใดก็ตามมีความต่างของศักดาเกิดขึ้นระหว่างจุดสองจุดในตัวนำอันเดียวกัน กระแสไฟฟ้าจะไหลจากจุดที่มีศักดาสูงไปยังจุดที่มีศักดาต่ำจนกระทั่งศักดาเท่ากันใหม่ ที่กล่าวไว้ในตอนบนว่า จุดทุกจุดบนตัวนำที่มีประจุจะมีศักดาเท่ากันนั้น ใช้เฉพาะเรื่องที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าสถิต แต่ความจริง (fact) ที่เรากล่าวต่อไปนี้ ใช้ได้สำหรับวิชาไฟฟ้าทั่วไป

“จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำ ถ้ามีความต่างของศักดาระหว่างจุดสองจุดในตัวนำนั้น”

ถ้าวัตถุที่มีประจุมีทางต่อกับโลก กระแสไฟฟ้าจะไหลจากวัตถุไปยังโลก หรือจากโลกมายังวัตถุจนศักดาเท่ากัน ศักดาของโลกเป็นศูนย์เสมอ ฉะนั้นตัวนำใดที่ต่อกับโลกจึงมีศักดาเป็นศูนย์ และถ้าเราจะทำให้ตัวนำใดหมดกประจุ เราจึงมักเรียกว่า earth ตัวนำ สำหรับประจุอื่นๆ ตัวของเราถือเป็น earth ได้ ฉะนั้นในการทำให้เกิดประจุเหนี่ยวนำจึงได้บอกไว้ว่า เหนือและก้นของขั้วตามความจริงควรจะต้องต่อกับโลก

74. การวัดศักดา และ ความต่างศักดา

ตามหลักวิชากลศาสตร์ ถ้าเราต้องการยกของหนัก m ปอนด์ สูง h ฟุต เราต้องทำงาน mh ฟุต—ปอนด์ และเมื่อยกแล้วของนั้น จะมีพลังงานศักดา (Potential energy) mh ฟุต—ปอนด์



รูปที่ 81

ลองนึกถึงรูปสามมุม $A.B.C.$ ในตัวกลางอันหนึ่งซึ่งลึบมรอยตัวอันหนึ่งทึบ
 ประชุม ถ้าเขาประชุมออกอันหนึ่งวางไว้ที่ A ประชุมนี้จะไ้รับแรงผลั และ
 ถ้าจะเลื่อนประชุมจาก A มายัง B เราจะต้องทำงานจำนวนหนึ่งเพื่อสู้กับแรงผลั
 ทึบอยู่กัประชุมนั้น ดังนั้นที่ B จึงไ้ชื่อว่ามีศักดาสูงกว่า A และโดยทั่ว ๆ ไป
 ถ้าต้องทำงาน เพื่อเลื่อนประชุมจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งแล้ว ที่หลังไ้ชื่อ
 ว่ามีศักดาสูงกว่าที่แรก ขอไ้สังเกตความใกล้เคียงของความหมายของศักดาใน
 วิชาไฟฟ้าและระดับความสูงในวิชากลศาสตร์ เราต้องทำ งาน เพื่อยกของจากที่ต่ำ
 ไปยังที่สูง เราต้องทำ งาน เพื่อเลื่อนประชุมจากที่ที่มีศักดาต่ำไปยังที่ที่มีศักดาสูง
 จากที่กล่าวมาแล้วเมื่อ B มีศักดาสูงกว่า A C ก็มีศักดาสูงกว่า B และถ้าจะเลื่อน
 ประชุมจาก A ถึง C จะต้องเปลืองงานมากกว่าเมื่อเลื่อนจาก A ถึง B ฉะนั้น
 งานที่ต้องทำเพื่อเลื่อนประชุมอันหนึ่งจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งจะเพิ่มขึ้น ถ้าความ
 ต่างของศักดาระหว่างที่ทั้งสองนั้นเพิ่มขึ้น และเราอาจจะหาความต่างของศักดา
 ระหว่างที่สองที่ใดก็กัเทียบกังานที่ต้องทำ

หน่วยของศักดาทางไฟฟ้า

ถ้าจำนวนงานที่กระทำเพื่อเลื่อนประจุบวก 1 หน่วย e.s.u. จากจุด A ถึงจุด B เท่ากับ 1 เออร์ก (erg) ความต่างของศักดาที่ระหว่างจุดทั้งสองจะเท่ากับ 1 หน่วย e.s.u. ของศักดา และจุด B มีศักดาสูงกว่า A

หมายเหตุ 1. เออร์กเป็นหน่วยของงานคล้ายฟุต-ปอนด์ “งานที่ต้องทำเพื่อออกแรง 1 ปอนด์ เป็นระยะทาง 1 เซนติเมตร เรียกว่า 1 เออร์ก”

$$1 \text{ ฟุต} = 30.48 \text{ ซม.}; \quad 1 \text{ ปอนด์} = 453.6 \text{ กรัม}$$

$$1 \text{ กรัม} = 981 \text{ คาชน}$$

$$\therefore 1 \text{ ฟุต-ปอนด์} = 30.48 \times 453.6 \times 981 \text{ เออร์ก}$$

$$= 1.356 \times 10^7 \text{ เออร์ก}$$

หน่วยเออร์กมีค่าน้อยมาก ฉะนั้นเราจึงตั้งหน่วยใหญ่ไว้เรียกว่า จูล (Joule)

และ $1 \text{ จูล} = 10^7 \text{ เออร์ก}$

$$\therefore 1 \text{ ฟุต-ปอนด์} = 1.356 \text{ จูล}$$

หมายเหตุ 2. หน่วยของศักดาทางไฟฟ้าขั้วบนนี้ เป็นหน่วยตามหลักวิชาไฟฟ้าสถิต (electrostatic unit) แต่หน่วยความต่างของศักดาที่ใช้กันทั่วไป เรียกว่า โวลต์ (Volt) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{300}$ ของ 1 หน่วย e.s.u. ของศักดา

ตัวอย่าง 1. ในรูปที่ 81 ถ้าต้องใช้งานจำนวน 10 เออร์ก เพื่อเลื่อนประจุบวก จำนวน 5 หน่วย e.s.u. จาก A ถึง B ให้หาความต่างของศักดาที่ระหว่าง B กับ A

งานที่ต้องทำเพื่อเลื่อน $+ 5$ หน่วย e.s.u. จาก A ถึง B $= 10$ เออร์ก

งานที่ต้องทำเพื่อเลื่อน $+ 1$ หน่วย e.s.u. จาก A ถึง B $= 2$ เออร์ก

$\therefore$ ความต่างของศักดาระหว่าง B กับ A เท่ากับ 2 หน่วย e.s.u. ของศักดา

ศักดาของทุก ๆ หนึ่ง คือ ความต่างของศักดาระหว่างจุดนั้นกับโลก และมีค่าเท่ากับจำนวนงาน (คิดเป็นเออร์ก) ที่จะต้องทำเพื่อเลื่อนประจุบวก 1 หน่วย e.s.u. จากโลกมายังจุดนั้น โดยปรกติเราใช้อักษร V แทนศักดา และมักเติมยัติ (Suffix) เพื่อแสดงว่า หมายถึงจุดใด เช่นตามข้อข้างบน

V_A คือ ศักดาที่ A

V_B คือ ศักดาที่ B

$V_B - V_A$ คือ ความต่างของศักดาระหว่าง B กับ A

ถ้าประจุบวกจำนวน Q หน่วย e.s.u. อยู่ในตัวกลางที่มี dielectric constant, k และมีจุด ๆ หนึ่งอยู่ห่างจากประจุนี้เป็นระยะ r เซนติเมตร ศักดาไฟฟ้า ณ จุดนั้น จะแสดงได้ด้วยส่วนเกี่ยวข้อซึ่งเป็น $V = \frac{Q}{kr}$ หน่วย e.s.u. ของศักดา

ถ้าประจุเป็นลบ ศักดา ณ จุดนั้นก็จะกลายเป็นลบด้วย และจะได้ส่วนเกี่ยวข้อซึ่งเป็น $V = -\frac{Q}{kr}$ หน่วย e.s.u. ของศักดา

ถ้าตัวกลางเป็นอากาศ ซึ่งมี dielectric constant เป็น 1 เราจะได้ $V = \frac{Q}{r}$ หรือ $-\frac{Q}{r}$ หน่วย e.s.u. ของศักดา

หมายเหตุ 3. ศักดาเป็นจำนวนสเกลาร์ คือศักดามีขนาด แต่ไม่มีแนวและทิศ (ต่างกับความเข้มของสนาม ซึ่งเป็นจำนวนเวกเตอร์ มีทั้งขนาดแนวและทิศ) ฉะนั้นถ้าจุด ๆ หนึ่งได้รับศักดาจากหลายแห่ง ศักดา รวม ณ จุดนั้นจะเท่ากับผลบวกตามหลักพีชคณิตของศักดาของแต่ละแห่งรวมกัน

หมายเหตุ 4. ศักยภาพของตัวนำทรงกลมที่มีรัศมี r เซนติเมตร ซึ่งมีประจุ Q หน่วย e.s.u. และล้อมรอบด้วยตัวกลางที่มี dielectric constant, k จะแสดงไว้ด้วย $V = + \frac{Q}{kr}$ หน่วย e.s.u. ของศักดา เครื่องหมาย $+$ และ $-$ สำหรับประจุบวกและลบตามลำดับ

หมายเหตุ 5. สำหรับประจุบนตัวนำทรงกลมนี้ เราถือได้ว่า ออกแรงจากศูนย์กลางของทรงกลม

ตัวอย่าง 2. วงหาคักดา ณ จุดที่อยู่ห่างจากประจุบวก 20 หน่วย e.s.u. เป็นระยะ 5 ซม. และ 10 ซม. ในอากาศ

$$\text{ตามสูตร } V = \frac{Q}{r}$$

$$\text{สำหรับจุดที่ห่างออกมา 5 ซม. } V = \frac{20}{5} \text{ หน่วย e.s.u. ของศักดา}$$

$$= 4 \text{ หน่วย e.s.u. ของศักดา}$$

$$\text{สำหรับจุดที่ห่างออกมา 10 ซม. } V = \frac{20}{10} \text{ หน่วย e.s.u. ของศักดา}$$

$$= 2 \text{ หน่วย e.s.u. ของศักดา}$$

ตัวอย่าง 3. วัตถุทรงกลมมีรัศมี 5 ซม. มีประจุ 25 หน่วย e.s.u. ของประจุวงหาคักดา ณ จุดที่ห่างจากศูนย์กลาง 10, 8, 5 และ 4 ซม. ตามลำดับ

$$\text{ตามสูตร } V = \frac{Q}{r}$$

$$\text{ศักดา ณ จุดที่ห่างออกมา 10 ซม. } = \frac{25}{10} \text{ หน่วย e.s.u. ของศักดา}$$

$$= 2.5 \text{ หน่วย e.s.u. ของศักดา}$$

$$\begin{aligned} \text{ศักดาณ รุกที่ห่างออกมา 8 ซม.} &= \frac{25}{8} \text{ หน่วย e.s.u. ของศักดา} \\ &= 3.125 \text{ หน่วย e.s.u. ของศักดา} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ศักดาณ รุกที่ห่างออกมา 5 ซม.} &= \frac{25}{5} \text{ หน่วย e.s.u. ของศักดา} \\ &= 5 \text{ หน่วย e.s.u. ของศักดา} \end{aligned}$$

นั่นคือศักดาตามผิวของวัตถุทรงกลมนั้นเอง เพราะรัศมีของทรงกลมเท่ากับ 5 ซม.

$$\text{ศักดาณ รุกที่ห่างออกมา 4 ซม.} = 5 \text{ หน่วย e.s.u. ของศักดา}$$

รุกที่ห่างออกมาจากศูนย์กลาง 4 ซม. เป็นรุกที่อยู่ภายในวัตถุทรงกลม และระนาบศักดาเท่ากับศักดาที่ผิวของทรงกลมนั้นเอง ภายในทรงกลมไม่มีประจุและไม่มีเส้นของแรง ฉะนั้นเราจะได้เปรียบระหว่างรุกสองรุกภายใน ก็ย่อมไม่ต้องเปลืองงานเลย ฉะนั้นทุกรุกภายในทรงกลมจึงมีศักดาเท่ากัน และเท่ากับศักดาที่ผิวของทรงกลมนั้นเอง

ตัวอย่างที่ 4. รุกประจุ A ซึ่งมีประจุ 30 หน่วย e.s.u. อยู่ห่างจากรุกประจุ B ซึ่งมีประจุ -40 หน่วย e.s.u. เป็นระยะ 10 ซม. จงหาศักดาที่รุก C ห่างจาก A 6 ซม. ห่างจาก B 4 ซม. ที่จุดใดระหว่าง A และ B จึงจะมีศักดาเป็นศูนย์

$$\begin{aligned} \text{ศักดาที่ C ที่เกิดจากประจุ A} &= \frac{30}{6} \text{ หน่วย e.s.u. ของศักดา} \\ &= 5 \text{ หน่วย e.s.u. ของศักดา} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ศักดาที่ C ที่เกิดจากประจุ B} &= \frac{40}{4} \text{ หน่วย e.s.u. ของศักดา} \\ &= -10 \text{ หน่วย e.s.u. ของศักดา} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\therefore \text{ศักดาที่ C ที่เกิดจากประจุทั้งสอง} &= 5 - 10 \text{ หน่วย e.s.u. ของศักดา} \\ &= -5 \text{ หน่วย e.s.u. ของศักดา} \\ &\quad (\text{หมายเหตุ 3})\end{aligned}$$

สำหรับข้อที่สอง เราต้องหว่า ณ ที่ใดระหว่าง A และ B จึงจะมีศักดาบวก และลบ
เป็นจำนวนเท่ากัน

ให้ D เป็นจุดที่ต้องการอยู่ห่างจาก A, X ซม.

$$\therefore \text{ศักดาที่ D ที่เกิดจากประจุ A} = \frac{30}{x} \text{ หน่วย e.s.u. ของศักดา}$$

$$\text{ศักดาที่ D ที่เกิดจากประจุ B} = -\frac{40}{10-x} \text{ หน่วย e.s.u. ของศักดา}$$

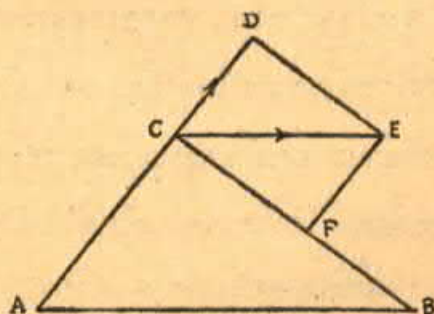
ถ้าศักดาจะรวมกันเป็นศูนย์

$$\frac{30}{x} - \frac{40}{10-x} \text{ ต้องเท่ากับ 0}$$

$$\therefore 300 - 30x = 40x$$

$$X = 4\frac{2}{7} \text{ ซม.}$$

ตัวอย่าง 5. จุดประจุ A ซึ่งมีประจุ + 27 หน่วย e.s.u. อยู่ห่างจากจุดประจุ B
ซึ่งมีประจุ - 64 หน่วย e.s.u. เป็นระยะ 10 ซม. จงหาศักดาและ
ความเข้มของสนามไฟฟ้าที่จุด C ห่างจาก A 6 ซม. และห่างจาก
B 8 ซม.



ศักดาที่ C ที่เกิดจากประจุ A = $+\frac{27}{6}$ หรือ $+4.5$ หน่วย e.s.u. ของศักดา

ศักดาที่ C ที่เกิดจากประจุ B = $-\frac{64}{8}$ หรือ -8 หน่วย e.s.u. ของศักดา

∴ ศักดาที่ C ที่เกิดจากประจุทั้งสอง = -3.5 หน่วย e.s.u. ของศักดา

ความเข้มที่ C ที่เกิดจากประจุ A = $\frac{27}{6^2}$

= 0.75 หน่วย e.s.u. ของความเข้ม

ตามแนว CD

ความเข้มที่ C ที่เกิดจากประจุ B = $\frac{64}{8^2}$

= 1.0 หน่วย e.s.u. ของความเข้ม

ตามแนว CF

ความเข้มที่ C ที่เกิดจากประจุทั้งสอง = $\sqrt{(0.75)^2 + (1)^2}$

= 1.25 หน่วย e.s.u. ของความเข้ม

ตามแนว CE

แนว CE นี้ ถ้าคำนวณตามหลักวิชากลศาสตร์จะปรากฏว่าขนานกับด้าน AB

พอดี

ถ้าเอาตัวนำอันหนึ่งวางในสนามไฟฟ้าที่ล้อมรอบด้วยตัวนำที่ประจุบวก ตัวนำนั้น
จะได้รับศักดาบวกจากการที่ไปอยู่ในสนามไฟฟ้านั้น แต่ถ้าว่านนั้นมีประจุบวกอยู่แล้ว
แต่เดิม ศักดาสุดท้ายของตัวนำนั้น ก็จะเป็นผลรวมระหว่างศักดาของตัวนำนั้นเองจาก
ประจุบวกของตนเอง และศักดาที่ได้รับจากสนามไฟฟ้า ตัวนำที่ประจุบวก ซึ่งไป
อยู่ในสนามที่มีศักดาลบ รวมศักดาสุดท้ายเท่ากับศักดาบวกของตัวเองลบด้วยศักดา
ไฟฟ้าที่ได้รับจากสนามที่มีศักดาลบ เพราะฉะนั้นตัวนำที่ประจุจะได้รับศักดาเพิ่มขึ้น

ถ้าวางอยู่ใกล้กับประจุที่มีอำนาจไฟฟ้าชนิดเดียวกัน และระบุมักกาลกลึง ถ้าวางอยู่
ใกล้กับประจุที่มีอำนาจไฟฟ้าต่างชนิดกัน เรืองระบุมักกาลกลึงเมื่อพิจารณาถึงเครื่อง
ควบแน่น

จากที่กล่าวแล้ว ความเป็นที่ประจุที่อยู่ใกล้โลกจะระบุมักกาลกลึงต่ำกว่าความเป็นที่เดียวกัน
แต่อยู่ห่างจากโลก เพราะที่ผิวโลกใกล้กับความเป็นที่ประจุที่เห็นว่าเป็นไฟฟ้า
ชนิดตรงกันข้ามกับประจุของความเป็นที่ ศักยภาพของความเป็นที่จะเท่ากับศักดาของคว
นั้นเนื่องมาจากประจุของตนเองลบด้วยศักดา ซึ่งเกิดจากประจุที่เห็นว่าเป็น และความเป็นที่
ยังอยู่ใกล้ประจุที่เห็นว่าเป็นของตนเองที่ใด ศักดาของตนเองก็จะลดลงไปมากขึ้น ในข้อที่
๖๔ ตอนท้ายได้บอกไว้ว่า การเอามือเข้าใกล้กับขั้วเล็กโตรสโคปก็จะทำให้แผ่นทอง
เปลวหุบเข้าได้ ที่เป็นเช่นนั้นก็เพราะมือเป็น earth การเอาเข้าใกล้ขั้วเล็กโตรสโคป
ซึ่งเป็นความเป็นที่ก็จะทำให้ศักดาของขั้วเล็กโตรสโคปลดลง แผ่นทองจึงหุบเข้าเล็กน้อย

๗๕. ความจุไฟฟ้าของตัวนำ

ความจุไฟฟ้าของตัวนำ (Electrical capacity of a conductor) มีความหมาย
คล้าย ๆ กับความของภาชนะที่ใช้ใส่น้ำ ถ้าถังน้ำสองถังสูงเท่า ๆ กันแต่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง
ต่าง ๆ กัน และถ้าถังก็มียาน้ำเท่ากัน ระบุมักกาลกลึงของน้ำในถังที่เล็กกว่าก็
ย่อมต้องสูงกว่าระบุมักกาลกลึงของน้ำในถังที่ใหญ่กว่า และถ้าจะให้ระบุมักกาลกลึงสูงเท่า ๆ กัน
ถังที่ใหญ่กว่าก็ต้องกร้าน้ำมากกว่าถังที่เล็กกว่า พูดอีกทางหนึ่งก็คือ ถังที่มีเส้น
ผ่าศูนย์กลางใหญ่มีความจุมาก ถังที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก มีความจุน้อย

ถ้าเรามองดูทรงกลมตัวนำสองอันขนาดต่างกัน และเราประจุไฟฟ้าให้เป็น
จำนวนเท่ากัน ศักดาไฟฟ้าของวัตถุทรงกลมตัวนำอันเล็ก จะสูงกว่าศักดาไฟฟ้าของ
วัตถุทรงกลมตัวนำอันใหญ่และวัตถุทรงกลมตัวนำอันที่เล็กกว่า ก็คือว่าความจุไฟฟ้า
น้อยกว่าความจุไฟฟ้าของวัตถุทรงกลมตัวนำที่ใหญ่กว่า ตัวนำเรียกได้ว่าเป็น "ถัง"

ที่เก็บไฟฟ้า และยังมีจำนวนประจุไฟฟ้ามากจนเท่าใด ศักดาไฟฟ้าของตัวนำนั้นขึ้น
ก็ขึ้นตามลำดับ

ส่วนสัมพันธ์ระหว่างความจุ (ไฟฟ้า) ของตัวนำ จำนวนประจุ (ไฟฟ้า) ที่มีอยู่
และศักดา (ไฟฟ้า) ของตัวนำนั้น มีดังนี้

$$\text{ความจุ} = \frac{\text{ประจุ}}{\text{ศักดา}}$$

หรือถ้าให้ C แทนความจุ, Q แทนประจุ, V แทนศักดา

$$\text{เพราะฉะนั้น } C = \frac{Q}{V} ; Q = VC ; V = \frac{Q}{C}$$

หน่วยของความจุไฟฟ้ากำหนดไว้ดังนี้

“ตัวนำที่มีความจุ 1 หน่วย e.s.u. ของความจุ ถ้าจำนวนประจุ 1 หน่วย e.s.u. ของประจุ ทำให้ศักดาของตัวนำนั้นสูงขึ้น 1 หน่วย e.s.u. ของศักดา”

หน่วยความจุที่กำหนดให้ไว้้น กำหนดตามหลักวิชาไฟฟ้า (electrostatic unit)
แต่หน่วยทั่วไป เขาใช้หน่วย ฟารัด (farad)

$$\text{และ } 1 \text{ farad} = 9 \times 10^{11} \text{ หน่วย e.s.u. ของความจุ}$$

$$1 \text{ micro-farad} = 9 \times 10^5 \text{ หน่วย e.s.u. ของความจุ}$$

$$1 \text{ micro-micro-farad} = 0.9 \text{ หน่วย e.s.u. ของความจุ}$$

ตัวอย่าง 1. ตัวนำอันหนึ่งมีความจุ 100 micro-micro-farads และมีศักดา 1000
หน่วย e.s.u. จะมีประจุเท่าใด

$$\text{ตามสูตร } Q = VC$$

$$= 1000 \times 100 \times .9$$

$$= 90,000 \text{ หน่วย e.s.u. ของประจุ}$$

ตัวอย่าง ๓. ให้นำอันหนึ่ง มีศักดาไฟฟ้า 150 หน่วย e.s.u. และมีประจุ 9450 หน่วย e.s.u. ให้หาความจุไฟฟ้าของตัวนำเป็นหน่วย e.s.u. และเป็น micro-micro-farads

$$\text{ตามสูตร } C = \frac{Q}{V}$$

$$\therefore \text{ความจุของตัวนำ } C = \frac{9450}{150}$$

$$= 63 \text{ หน่วย e.s.u.}$$

$$= \frac{63}{0.9} \text{ micro-micro-farads}$$

$$= 70 \text{ micro-micro-farads}$$

วัตถุตวนาทเป็นทรงกลมทรมรัศมี r เซนติเมตร วางอยู่ในโคชเล็กตรกทมิ di-electric constant, k และมีจำนวนประจุอยู่ Q หน่วย e.s.u. จะมีศักดา $\frac{Q}{Kr}$ หน่วย e.s.u. (ดูข้อ 74)

dielectric constant สำหรับอากาศ เท่ากับ 1 ฉะนั้นฉนวนดฤทรงกลมวางในอากาศ จะมีศักดา $\frac{Q}{r}$ หน่วย e.s.u.

$$\text{จากสูตร } Q = V C$$

$$\text{เพราะได้ } Q = \frac{Q}{r} \times C$$

$$\text{หรือ } C = r \text{ หน่วย e.s.u. ของความจุ}$$

นั่นคือ ความจุไฟฟ้าของตัวนำที่เป็นรูปทรงกลม วางอยู่ในอากาศ จะมีค่าเท่ากับจำนวนรัศมี (คิดเป็นเซนติเมตร) ของทรงกลมนั้น เช่น ทรงกลมตัวนำที่มีรัศมี 5 เซนติเมตร จะมีความจุ 5 หน่วย e.s.u.

ตัวอย่าง ๓. วัตถุตัวนำทรงกลมมีรัศมี 10 ซม. มีประจุอยู่ 1000 หน่วย e.s.u. จะมีศักดาไฟฟ้าเท่าใด

$$\text{จากสูตร } V = \frac{Q}{C}$$

ในต้น $Q = 1000$ หน่วย e.s.u. $C = 10$ หน่วย e.s.u.

$$\therefore V = \frac{1000}{10} \text{ หน่วย e.s.u. ของศักดา}$$

$$= 100 \text{ หน่วย e.s.u. ของศักดา}$$

ตัวอย่าง 4. วัตถุทรงกลมตัวนำ จะต้องมีรัศมีเท่าใด จึงจะมีความจุ 1 ฟารัด

$$1 \text{ ฟารัด} = 9 \times 10^{11} \text{ หน่วย e.s.u. ของความจุ}$$

ฉนั้น ถ้าจะให้มีความจุ 1 ฟารัด วัตถุทรงกลมจะต้องมีรัศมี

$$= 9 \times 10^{11} \text{ เซนติเมตร}$$

$$= 9,000,000 \text{ กิโลเมตร}$$

ถ้าตัวนำตั้งอยู่ในตัวกลางที่ไม่ใช่อากาศ จำนวนประจุ Q จะทำให้ศักดาของตัวนำนั้นเพิ่มขึ้นเพียง $\frac{1}{k}$ ของศักดาที่จะเพิ่มขึ้นถ้าตัวกลางเป็นอากาศ (เมื่อ k เป็น di-electric constant ของตัวกลางนั้น) เรื่อนี้จะเห็นได้จากส่วนเกี่ยวของ

$V = \frac{Q}{kr}$ ฉะนั้นเมื่อจำนวนไฟฟ้าจำนวนเดียวกัน ทำให้ศักดาสูงชันต่างกัน ตัวนำที่มีศักดากว่าก็จะต้องมีความจุมากกว่า ฉะนั้น ความจุของตัวนำ ซึ่งอยู่ในตัวกลางที่มี di-electric constant, k จะเป็น k เท่าของความจุของตัวนำนั้นเอง เมื่อวางในอากาศ

ตัวอย่าง 5. วัตถุทรงกลมตัวนำอันหนึ่งมีรัศมี 10 ซม. เมื่อต่อกับเครื่องทำไฟฟ้า

สถิตยมีศักดา 100 หน่วย e.s.u. จะมีประจุอยู่เท่าใด?

ถ้าเราวัดมันไปจุ่มน้ำมันที่มี di-electric constant 2.5 และ
 ค่อยๆดึงมา 100 หน่วย e.s.u. เช่นเดิม จะมีประจุเท่าใด? ตอน
 หลังนี้วัดความจุเท่าใด?

วัตถุนั้นมีความจุ (ในอากาศ) = 10 หน่วย e.s.u.

$$\therefore \text{ตามสูตร } Q = V C$$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนประจุ } Q &= 100 \times 10 \text{ หน่วย e.s.u.} \\ &= 1000 \text{ หน่วย e.s.u.} \end{aligned}$$

สำหรับตอนสอง เราใช้สูตร $V = \frac{Q}{C}$

$$Q = V.k.r$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{จำนวนประจุ } Q &= 100 \times 2.5 \times 10 \text{ หน่วย e.s.u.} \\ &= 2500 \text{ หน่วย e.s.u.} \end{aligned}$$

$$\therefore \text{ตามสูตรทั่วไป } C = \frac{Q}{V}$$

$$\begin{aligned} \text{ความจุของวัตถุขณะจุ่มในน้ำมัน} &= \frac{2500}{100} \text{ หน่วย e.s.u.} \\ &= 25 \text{ หน่วย e.s.u.} \end{aligned}$$

ซึ่งเป็น k เท่า คือ 2.5 เท่าของ 10 หน่วย e.s.u.

76. การคำนวณจำนวนประจุที่ถ่ายเทระหว่างตัวนำสองอัน

สมมติว่า มีตัวนำสองอัน มีความจุ C_1 และ C_2 หน่วย e.s.u. ตามลำดับ
 เราเอาประจุ Q_1 และ Q_2 หน่วย e.s.u. ใส่ให้แก่ตัวนำทั้งสองนั้น

$$\therefore \text{ศักดาของตัวนำอันที่หนึ่ง} = \frac{Q_1}{C_1} \text{ หน่วย e.s.u.}$$

$$\text{ศักดาของตัวนำอันที่สอง} = \frac{Q_2}{C_2} \text{ หน่วย e.s.u.}$$

เราสมมุติว่า $\frac{Q_1}{C_1} > \frac{Q_2}{C_2}$ ฉะนั้นกระแสไฟฟ้าจะไหลจากตัวนำอันดับหนึ่งมา
ยังตัวนำอันดับสอง จนกระทั่งศักย์ของตัวนำทั้งสองเท่ากัน (หลักของขั้วของ)

สมมุติว่า ศักย์ที่เท่ากันนั้นเป็น V หน่วย e.s.u. เมื่อถ่ายเทไฟฟ้ากันแล้ว
ความจุของตัวนำทั้งสองรวมกันเป็น $C_1 + C_2$ ฉะนั้นเมื่อจำนวนประจุรวมกันเท่ากับ
 $Q_1 + Q_2$ หน่วย e.s.u. ศักย์ที่เท่ากันนี้ คือ ศักย์ที่เท่ากัน เมื่อได้ถ่ายเทไฟฟ้า
กันแล้วเท่ากับ $\frac{Q_1 + Q_2}{C_1 + C_2}$

$$\text{คือ } V = \frac{Q_1 + Q_2}{C_1 + C_2}$$

$\therefore$ ประจุที่เหลืออยู่ในตัวนำอันดับแรก

$$[Q = VC]$$

$$= \frac{Q_1 + Q_2}{C_1 + C_2} \times C_1$$

$$= \frac{C_1}{C_1 + C_2} (Q_1 + Q_2)$$

ประจุที่เหลืออยู่ในตัวนำอันดับสอง

$$= \frac{Q_1 + Q_2}{C_1 + C_2} \times C_2$$

$$= \frac{C_2}{C_1 + C_2} (Q_1 + Q_2)$$

ผลที่ได้เป็นสูตร แต่ไม่จำเป็นต้องจำสูตรนี้ เพราะทำตามหลักอธิบายด้วยตัว
เลขจริง ๆ ง่ายกว่าที่จะใช้สูตร.

ตัวอย่าง 1. วัตถุทรงกลม A มีรัศมี 5 ซม. มีประจุ 50 หน่วย e.s.u.

วัตถุทรงกลม B มีรัศมี 10 ซม. มีประจุ 70 หน่วย e.s.u.

ถ้าต่อสายลวดระหว่าง A และ B อยากทราบว่า เมื่อถ่ายเทไฟฟ้า
กันแล้ว ศักย์จะเป็นเท่าใด? และประจุที่เหลือบน A และ B แต่ละ
เท่าใด?

วัตถุทรงกลม A มีรัศมี 5 ซม. มีความจุ 5 หน่วย e.s.u.

วัตถุทรงกลม B มีรัศมี 10 ซม. มีความจุ 10 หน่วย e.s.u.

สมมติว่า คัดลากลไฟฟ้าเมื่อดำเนินการแล้วเป็น V หน่วย e.s.u.

$$\text{ประจุทั้งสองรวมกัน} = 120 \text{ หน่วย e.s.u.}$$

$$\text{ความจุทั้งสองรวมกัน} = 15 \text{ หน่วย e.s.u.}$$

$$\therefore \text{ศักดาสุดท้าย } V = \frac{120}{15} \text{ หน่วย e.s.u.}$$

$$= 8 \text{ หน่วย e.s.u.}$$

$$\therefore \text{ประจุที่เคลื่อนบน A, } Q_1 = VC$$

$$= 8 \times 5 \text{ หน่วย e.s.u.}$$

$$= 40 \text{ หน่วย e.s.u.}$$

$$\text{ประจุที่เคลื่อนบน B, } Q_2 = VC$$

$$= 8 \times 10 \text{ หน่วย e.s.u.}$$

$$= 80 \text{ หน่วย e.s.u.}$$

คือ A จะถ่ายประจุไฟฟ้าไปให้ B 10 หน่วย e.s.u.

ตัวอย่าง 2. ให้นำอันหนึ่งที่มีความจุ 4 หน่วย e.s.u. มีประจุ + 32 หน่วย e.s.u.

ให้นำอันหนึ่งที่มีความจุ 6 หน่วย e.s.u. มีประจุ - 92 หน่วย e.s.u.

จงหาศักดาสุดท้าย และประจุในอันทั้งสอง เมื่อดำเนินการแล้ว
ให้ศักดาสุดท้ายเป็น V หน่วย e.s.u.

$$\text{ประจุทั้งสองแห่งรวมกัน} = + 32 - 92 \text{ หน่วย e.s.u.}$$

$$= - 60 \text{ หน่วย e.s.u.}$$

$$\text{ความจุของตัวนำทั้งสองรวมกัน} = 4 + 6 \quad \text{หน่วย e.s.u.}$$

$$= 10 \quad \text{หน่วย e.s.u.}$$

$$\therefore \text{ศักย์ไฟฟ้า } V = \frac{Q}{C}$$

$$= -\frac{60}{10} \quad \text{หน่วย e.s.u.}$$

$$= -6 \quad \text{หน่วย e.s.u.}$$

$$\therefore \text{ประจุที่เหลือนบนตัวนำอันแรก} = VC$$

$$= -6 \times 4 \quad \text{หน่วย e.s.u.}$$

$$= -24 \quad \text{หน่วย e.s.u.}$$

$$\text{ประจุที่เหลือนบนตัวนำอันหลัง} = -6 \times 6 \quad \text{หน่วย e.s.u.}$$

$$= -36 \quad \text{หน่วย e.s.u.}$$

ผลสุดท้ายของตัวนำทั้งสองได้รับประจุลบทั้งคู่ จึงมีศักย์ลบทั้งคู่

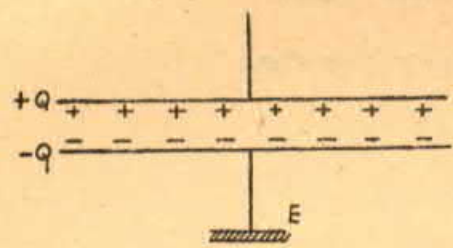
77. เครื่องควบแน่น

ในตัวอย่าง 4 ของข้อ 75 เราได้เห็นอยู่แล้ว ถ้าจะใช้วัตถุทรงกลมเป็นตัวนำวัตถุหนึ่งจะมีความจุไฟฟ้าอันน้อยมาก ถ้าต้องการความจุสูงก็ต้องใช้ตัวนำโตเกินขนาด เช่น จะให้ความจุ 1 ฟารัด ก็ต้องมีตัวนำโตกว่าดวงอาทิตย์ถึงหลายเท่า

นอกจากนั้น เราได้เรียนจากข้อที่ 74 แล้วว่า ตัวนำที่มีประจุมีศักย์ลบลง ถ้าวางอยู่ใกล้กับตัวนำอีกอันหนึ่งที่มีประจุคนละชนิด เพราะฉะนั้นหากำจำกัดความของความจุให้ไว้แล้ว ความจุของตัวนำที่มีประจุลบลง ถ้าตัวนำอยู่ใกล้ประจุชนิดเดียวกัน และจะมีความจุเพิ่มขึ้น ถ้าอยู่ใกล้กับประจุต่างชนิดกัน เรืองนเช่น

เรื่องที่สำคัญ และถ้าโดยวิธีอะไรก็ตาม เราทำให้ความจุของตัวนำอันหนึ่งสูงขึ้น เราเรียกว่าได้ทำเครื่องควบแน่น (Condenser)

เครื่องควบแน่นทั้งายที่สุด คือ โลหะสองแผ่นวางขนานกันโดยมีอากาศหรือ



รูปที่ 83

โคอิเล็กทริกอื่นกัน และมีแผ่นหนึ่งต่อกับโลก อีกแผ่นหนึ่ง ฉนวน (insulated) ไว้เพื่อเป็น ทรย์ประจุ ถ้าเราใส่ประจุอิสระ $+Q$ หน่วย e.s.u. ให้แก่แผ่นที่ฉนวนไว้ จะเกิดประจุ เทนยวนำซึ่งไหลบนพื้นในของแผ่นที่ต่อกับโลก

และประจุเทนยวนำจะมีจำนวน $-Q$ หน่วย e.s.u.

การทรมประจุเทนยวนำ $-Q$ หน่วย e.s.u. อยู่ในระยะที่ใกล้กับประจุ $+Q$ หน่วย e.s.u. บนแผ่นที่ ฉนวน ไว้เอง ทำให้ศักดาของแผ่นที่ ฉนวน ไว้ลดอย่างมาก และโดยเหตุนี้ ความจุของแผ่นที่ฉนวนไว้จึงสูงขึ้น และแผ่นนี้ทำหน้าที่เป็น เครื่องควบแน่น

ความจุของเครื่องควบแน่นวัดได้จากความต่างของศักดาที่มีอยู่ระหว่างแผ่นขนาน ทั้งสอง เมื่อเครื่องควบแน่นนั้นมีประจุจำนวนหนึ่ง ถ้าจำนวนประจุคงที่ ความจุของ เครื่องควบแน่นมีมากเท่าใด ความต่างศักดาจะระหว่างแผ่นทั้งสองก็ระน้อยลงตามส่วน ถ้าเครื่องควบแน่นมีประจุ Q หน่วย e.s.u. และถ้าความต่างของศักดาจะระหว่างแผ่น ทั้งสองเท่ากับ V หน่วย e.s.u. ความจุของเครื่องควบแน่นนั้นเป็น C หน่วย e.s.u.

$$\text{เราจะได้ } C = \frac{Q}{V}$$

ตามหลักวิชาไฟฟ้าสถิต เครื่องควบแน่นจะมีความจุ 1 หน่วย e.s.u. ของ ความจุ ถ้าจำนวนประจุ 1 หน่วย e.s.u. ทำให้เกิดความต่างของศักดา 1 หน่วย e.s.u. ของศักดาจะระหว่างแผ่นทั้งสอง แต่ได้ชักไว้แล้วว่า หน่วยทั่วไปของความจุ

ใช้เป็นฟารัด และเครื่องควมแน่นแรมความ 1 ฟารัด ถ้าจำนวนประจุ 1 คูลอมบี้ (coulomb) ทำให้เกิดความต่างของศักย์ 1 โวลต์ ระหว่างแผ่นทั้งสอง

หมายเหตุ 1 คูลอมบี้ $= 3 \times 10^9$ หน่วย e.s.u. ของประจุ

1 โวลต์ $= \frac{1}{300}$ หน่วย e.s.u. ของศักย์

$$\therefore 1 \text{ ฟารัด} = \frac{1 \text{ คูลอมบี้}}{1 \text{ โวลต์}}$$

(แตกเป็นหน่วย e.s.u.) $= \frac{3 \times 10^9}{\frac{1}{300}}$ หน่วย e.s.u.

$$= 3 \times 10^9 \times 3 \times 10^2$$

$$= 9 \times 10^{11} \text{ หน่วย e.s.u. (ข้อ 75)}$$

ความจุของเครื่องควมแน่นแรมแผ่นขนานจะคำนวณได้จากสูตร

$$C = \frac{k A}{4\pi d} \text{ หน่วย e.s.u. ของความจุ}$$

เมื่อ k เป็น dielectric constant ของไดอิเล็กตริก ระหว่างแผ่นทั้งสอง

A เป็นพื้นที่ของแต่ละแผ่นของแผ่นขนานทั้งสอง คิดเป็นตารางเซนติเมตร

d เป็นระยะห่างระหว่างแผ่นทั้งสอง คิดเป็นเซนติเมตร

จากสูตรข้างบนนี้ เราจะเห็นว่า ความจุของเครื่องควมแน่นแรมแผ่นขนานจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับพื้นที่ของแผ่น และเป็นปฏิกิริยาตรงกันข้ามกับระยะห่างของแผ่นทั้งสอง จะทำให้ความจุของเครื่องควมแน่นสูงขึ้นไปอีก

ตัวอย่าง มีแผ่นขนานสองแผ่นวางในอากาศ แต่ละแผ่นมีพื้นที่ 400 ตาราง ซม.

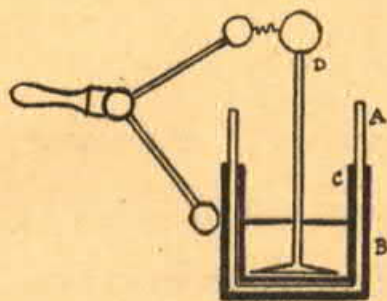
และแผ่นทั้งสองอยู่ห่างกัน 0.5 มม. ถ้าใช้แผ่นขนานนี้เป็นเครื่องควมแน่น

จะมีค่าเท่าใด? ถ้าเอาแผ่นไมคา (mica) ซึ่งมี dielectric constant 6.6 วางคั่นระหว่างแผ่น ควรวีใหม่จะมีค่าเท่าใด?

$$\begin{aligned} \text{ความจุเมื่ออากาศคั่น} &= \frac{\Lambda}{4\pi d} \text{ หน่วย e.s.u. ของความจุ} \\ &= \frac{100}{4\pi \times 0.05} \text{ หน่วย e.s.u. ของความจุ} \\ &= 636 \text{ หน่วย e.s.u. ของความจุ} \\ &\text{หรือ } 707 \text{ micro-micro-farads.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความจุเมื่อมีไมคาคั่น} &= 6.6 \times 636 \text{ หน่วย e.s.u. ของความจุ} \\ &= 4200 \text{ หน่วย e.s.u. ของความจุ} \\ &\text{หรือ } 4666 \text{ micro-micro-farads} \end{aligned}$$

เครื่องควมแน่นที่ใช้กันมากในห้องทดลอง เรียกว่า เลเดนจาร์ (Leyden Jar) มีลักษณะเป็นขวดแก้วปากกว้าง เช่น A ในรูป ด้านในใช้ขี้ผึ้งเคลือบด้วยกาว เช่น C และขี้ผึ้งมาประมาณครึ่งขวด ด้านนอกก็เคลือบด้วยกาว เช่น เคียวกัน และส่งขี้ผึ้งมาประมาณกึ่งกึ่งแผ่นในเช่นที่ B ขี้ผึ้ง D มีไว้เป็นทริบ์ประจุ และจาก D มีทางต่อไปถึงแผ่น C ภายใน



รูปที่ 84

แผ่นนอกต้อง earth ไว้ และการประจุ เลเดนจาร์ ก็คือการเอาประจุใส่เข้าไปทางขี้ผึ้ง D เราจะเห็นว่าหลักของเลเดนจาร์ก็คล้ายกับเครื่องควมแน่นแบบแผ่นขนานนั่นเอง คือ มีแผ่นสองแผ่นวางขนานกัน และมีไดอิเล็กทริกคั่น (ในที่นี้คือแก้ว) และเอาแผ่นหนึ่งต่อกับโลก

ความจุของเลเดนจาร์สูงมาก และถ้าไต่รับประจุจากเครื่องทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต (เช่นตามข้อ 80) ะรับประจุไฟฟ้าไว้ได้เป็นจำนวนมาก และเมื่อเราปลดปล่อยประจุจากเลเดนจาร์ จะเกิดประกายไฟฟ้าอย่างแรง ในการกระทำนี้ต้องระวังให้มาก อย่าเอามือแตะต้องขั้วของเลเดนจาร์ที่มประจุอยู่ เพราะอันตรายมาก ถ้าต้องการปลดปล่อยประจุเครื่องควบแน่น ให้ใช้ discharging tong ซึ่งเป็นโลหะแท่งหนาทำให้อ้าออกโค้งวงหรือแคบ และมีคามเป็นฉนวน เช่นที่แสดงไว้กับรูปที่ 84

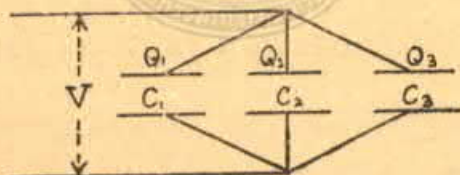
นอกจากเลเดนจาร์ ยังมีเครื่องควบแน่นแบบอื่น ๆ อีกมาก เช่นแบบโลหะแผ่นสับซ้อนกันอย่างแบบที่ใช้กับเครื่องวิทยุ

การต่อเครื่องควบแน่น

การต่อเครื่องควบแน่นมี 2 วิธี

ก. ต่ออย่างขนานกัน (in parallel)

ข. ต่ออย่างอนุกรม (in series)



รูปที่ 85

รูปที่ 85 แสดงเครื่องควบแน่น 3 อัน ต่อกันอย่างขนาน คือเอาควนำต่อระหว่างแผ่นทวนวนไว้ และควนำอีกอันหนึ่งต่อระหว่างแผ่นที่ earth ไว้

ให้จำนวนประจุทั้งหมดเป็น Q หน่วย e.s.u. และความจุทั้งหมดเป็น C หน่วย e.s.u. และความต่างศักย์เป็น V หน่วย e.s.u.

เพราะฉะนั้น

$$Q_1 = VC_1$$

$$Q_2 = VC_2$$

$$Q_3 = VC_3$$

บวกกันทั้ง 2 ข้าง

$$\begin{aligned} Q_1 + Q_2 + Q_3 &= VC_1 + VC_2 + VC_3 \\ &= V(C_1 + C_2 + C_3) \end{aligned}$$

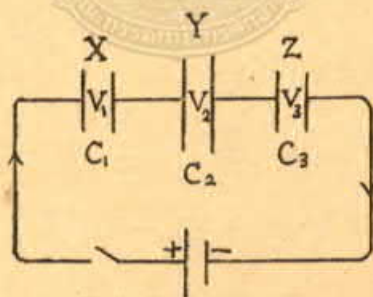
$$\text{แต่ } Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q$$

$$\therefore Q = V(C_1 + C_2 + C_3)$$

$$\text{แต่ } Q = VC$$

$$\therefore C = C_1 + C_2 + C_3$$

นั่นคือ ความจุรวมของเครื่องควบแน่นหลายอัน ต่อกัน อย่างขนานจะเท่ากับ ความจุของเครื่องควบแน่นของแต่ละอันบวกกัน



รูปที่ 86

รูปที่ 86 แสดงเครื่องควบแน่น 3 อันต่อกันอย่างขนาน คือเอาแผ่น earth ของอันแรกต่อกับแผ่นที่ฉนวนไว้ของอันที่สอง แผ่น earth ของอันที่สองต่อกับแผ่นที่ฉนวนไว้ของอันที่สาม แผ่นที่เหลืออกนี้ปลายสมมุติว่าเอาต่อกับขั้วของเซลล์ เมื่อเราให้

มีทางเดินของไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจะไหลจากขั้วบวกของหม้อไฟไปยังแผ่นที่ฉนวนไว้
 ของเครื่องควยแน่น X สมมติให้ประจุเป็น Q หน่วย e.s.u. ดังนั้นจำนวนไฟฟ้า Q
 หน่วย e.s.u. จะไหลจากแผ่น earth ของเครื่องควยแน่น X ไปยังแผ่นที่ฉนวนไว้ของ
 เครื่องควยแน่น Y และจำนวนไฟฟ้า Q หน่วย e.s.u. จะไหลจากแผ่น earth ของ Y
 ไปยังแผ่นที่ฉนวนไว้ของ Z ผลสุดท้ายจำนวนไฟฟ้า Q หน่วย e.s.u. จะไหลจากแผ่น
 earth ของเครื่องควยแน่น Z กลับไปยังเซลล์

ให้ V เป็นความต่างศักย์ระหว่างแผ่นทั้งสอง

C เป็นความรวม

$V_1, V_2, V_3,$ เป็นความต่างศักย์ระหว่างแผ่นของแต่ละเครื่อง
ตามลำดับ

$C_1, C_2, C_3,$ เป็นความจุของแต่ละเครื่องตามลำดับ

เมื่อ Q หน่วย e.s.u. เป็นจำนวนประจุที่อยู่ในแต่ละเครื่อง

$$V_1 = \frac{Q}{C_1}$$

$$V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

$$V_3 = \frac{Q}{C_3}$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$= \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

และ $V = \frac{Q}{C}$

$$\therefore \frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

หรือ $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$

ส่วนเกี่ยวข้องระหว่างความจุรวม และความจุของเครื่องควบแน่นแต่ละอัน
เมื่อต่อกันอย่างอนุกรม.

ตัวอย่าง เครื่องควบแน่นสองอันมีความจุ 1,000 และ 500 หน่วย e.s.u. ต่อกัน
อย่างขนาน และต่อกับเครื่องไฟฟ้าเพื่อให้ความต่างของศักย์ระหว่าง
แผ่น 200 หน่วย e.s.u. ให้หาความจุรวม และจำนวนประจุที่เกิดขึ้น
ถ้าคราวใหม่ ต่อเครื่องควบแน่นทั้งสองอย่างอนุกรม ให้หาความจุรวม ประจุ
ในแต่ละเครื่อง และความต่างของศักย์ระหว่างแผ่นของแต่ละเครื่อง
เครื่องควบแน่นต่อกันอย่างขนาน จึงมีความจุรวม

$$= 1000 + 500 \text{ หน่วย e.s.u. ของความจุ}$$

$$= 1500 \text{ หน่วย e.s.u. ของความจุ}$$

$$\text{และจำนวนประจุ } Q = VC$$

$$= 200 \times 1500 \text{ หน่วย e.s.u. ของประจุ}$$

$$= 300,000 \text{ หน่วย e.s.u. ของประจุ}$$

เมื่อต่อกันอย่างอนุกรม ให้ C หน่วย e.s.u. เป็นความจุรวม

$$\therefore \frac{1}{C} = \frac{1}{1000} + \frac{1}{500}$$

$$C = \frac{1000}{3} \text{ หรือ } 333.33 \text{ หน่วย e.s.u. ของความจุ}$$

$$\text{ประจุในแต่ละเครื่อง } Q = VC$$

$$= 200 \times 333.33 \text{ หน่วย e.s.u. ของประจุ}$$

$$= 66666 \text{ หน่วย e.s.u. ของประจุ}$$

ความต่างของศักย์การระหว่างแผ่นของเครื่องควมแน่นอินแรก

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{Q}{C}, \\
 &= \frac{66666}{1000} \quad \text{หน่วย e.s.u. ของศักย์} \\
 &= 66.67 \quad \text{หน่วย e.s.u. ของศักย์}
 \end{aligned}$$

ความต่างของศักย์การระหว่างแผ่นของเครื่องควมแน่นอินที่สอง

$$\begin{aligned}
 &= \frac{66666}{500} \quad \text{หน่วย e.s.u. ของศักย์} \\
 &= 133.33 \quad \text{หน่วย e.s.u. ของศักย์}
 \end{aligned}$$



บทที่ 9

เครื่องมือทำไฟฟ้าสถิต

78. เครื่องมือทำไฟฟ้าสถิต

ที่เราเรียกกันว่า เครื่องมือทำไฟฟ้าสถิต (Electrical Machine) ก็คือ เครื่องมือชนิดหนึ่งที่ทำให้อำนาจไฟฟ้าปรากฏขึ้นมา และไม่ใช่เครื่องมือทำไฟฟ้า เพราะเราได้ทราบกันอยู่แล้วว่า ไฟฟ้าไม่ใช่อะไรพิเศษที่มี หรือทำให้เกิดขึ้นมาใหม่ได้ แต่ไฟฟ้ามีอยู่แล้วในเนื้อวัตถุ และวัตถุทุกชนิด แต่โดยปรกติ วัตถุและวัตถุอยู่ในลักษณะสะเทิน ต่อเมื่อเราทำให้เปลี่ยนภาวะไฟฟ้า (electrical condition) ให้มีศักดาเกิดขึ้นอำนาจไฟฟ้าก็ปรากฏออกมา

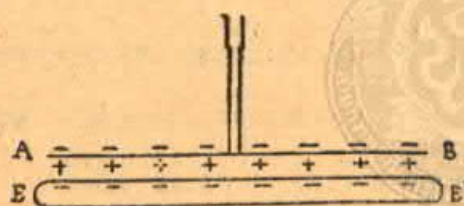
เครื่องมืออย่างง่ายที่สุดก็คือใช้แท่งวัตถุ เช่น แท่งแก้วที่เราเอามาถูด้วยขนสัตว์หรือแพรนเอง การทำให้ภาวะไฟฟ้าของแท่งและขนสัตว์เปลี่ยนแปลง ต่างก็แสดงศักดาไฟฟ้าขึ้นมา จึงปรากฏอำนาจไฟฟ้าขึ้นแท่ง และในขนสัตว์ แต่เครื่องมืออย่างง่ายนี้ ให้อำนาจไฟฟ้าที่ปรากฏขึ้นเป็นจำนวนน้อย จึงใคร่ผู้ประดิษฐ์เครื่องมืออื่น ๆ เพื่อทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าแรงขึ้น

เครื่องมือทำไฟฟ้าแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่สองประเภท ประเภทหนึ่งได้แก่ เครื่องที่ทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าโดยการเสียดทาน เรียกว่า Frictional Machine พวกนี้ได้แก่ แท่งต่าง ๆ ที่ถูด้วยขนสัตว์ เป็นต้น เครื่องมือแบบนี้ คือ พวกที่เกิดอำนาจไฟฟ้าจากการขัดสีหรือถู จะเป็นการถูด้วยมือหรือใช้เครื่อง เช่น เครื่องที่เรียกว่า Glass Cylinder Machine ก็ตาม แต่ถึงแม่เครื่องมือพวกนี้ ก็ได้ไฟฟ้าไม่แรงนัก จึงไม่ค่อยจะใช้กันในสมัยนี้

ประเภทที่สอง คือ เครื่องมือที่ทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ (Induction or Influence Machine) เครื่องมือแบบนี้ คือ เครื่องที่ทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำเท่านั้น และไม่ใช้การถูด้วยประการใดเลย แบบนี้ได้อำนาจไฟฟ้าแรงจึงมีใช้กันอยู่แพร่หลาย

79. อิเล็กโตรฟอรัส

อิเล็กโตรฟอรัส (Electrophorus) เป็นเครื่องมือทำไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ที่อาศัยอำนาจการเหนี่ยวนำ อิเล็กโตรฟอรัสมีลักษณะเป็นแผ่นขนานสองแผ่น แผ่นแรกเป็นแผ่นอิไบไนต์กลึงแบนหนาพอสมควร เช่น EE' ในรูปที่ 87 อีกแผ่นหนึ่งเป็นแผ่นทองเหลืองกลึงแบน เช่น AB ในรูป และมีรัศมีประมาณกันกับแผ่นอิไบไนต์ แต่บางกว่าแผ่นทองเหลืองนมากสำหรับมอดอตกวดยลวน



รูปที่ 87

ก่อนใช้เราเอาขนสัตว์ถูแผ่นอิไบไนต์ จะทำให้แผ่นอิไบไนต์มีประจุชนิดลบ การทำเช่นนั้นเพื่อให้มีประจุเกิดบนแผ่นอิไบไนต์เสียก่อน ต่อไปเอาแผ่นทองเหลือง AB

วางใกล้แผ่นอิไบไนต์ ฉะนั้นจะเกิดประจุเหนี่ยวนำชนิดบวกบนด้านของ AB ที่อยู่ใกล้กับแผ่นอิไบไนต์ และจะมีประจุชนิดลบบนด้านของ AB ที่อยู่ไกลจากแผ่นอิไบไนต์ ถ้าเราเอามือแตะแผ่นทองเหลือง AB จะทำให้อิเล็กตรอนจากส่วนบนหันเข้ามอดมก แต่ประจุเหนี่ยวนำชนิดบวกของ AB ที่อยู่ใกล้กับแผ่นอิไบไนต์ จะยังคงอยู่เป็น bound charge เมื่อเอามือแตะแล้วและดึงแผ่นทองเหลือง AB ขึ้น แผ่นทองเหลืองจะมีประจุอิสระชนิดบวก นี่เป็นวิธีทำให้เกิดอำนาจไฟฟ้า โดยใช้เครื่องมืออิเล็กโตรฟอรัส

การใช้ ซีเล็ค โครฟอรส์สัน ไม่จำกัดว่าจะทำให้เกิด ประจุอิสระบน แผ่นทองเหลือง AB ได้สักกี่ครั้ง ทรายโกที่อำนาจไฟฟ้ายังคงมีอยู่บนแผ่นอิโบนีต์และยังไม่ซึมหายไป เช่นซึมหายไปในอากาศ เราจะทำให้เกิดประจุอิสระบนแผ่นทองเหลือง AB ตามวิธีข้างบนได้เสมอ แต่ถ้าทำตามอย่างที่ได้กล่าวข้างบน ประจุบนแผ่นทองเหลืองจะเป็นประจุบวกเสมอ ถ้าเราต้องการประจุชนิดลบบนแผ่นทองเหลือง เราจะต้องเริ่มโดยให้แผ่นอิโบนีต์มีประจุชนิดบวกแต่เดิม ถ้าประจุบนแผ่นอิโบนีต์เป็นลบ ประจุที่เกิดขึ้นบนแผ่นทองเหลืองจะเป็นชนิดบวก ถ้าประจุบนแผ่นอิโบนีต์เป็นบวก ประจุที่เกิดขึ้นบนแผ่นทองเหลืองจะเป็นชนิดลบ

ในตอนบน โคชชีบายไว้ว่า เขาแผ่นทองเหลืองวางใกล้แผ่นอิโบนีต์ แต่ตามความจริงที่ปฏิบัติกัน เราเอาแผ่นทองเหลืองวางบนแผ่นอิโบนีต์เสียเลย เขานวและแล้วก็ดึงแผ่นทองเหลืองขึ้น ก็จะโค้ประจุอิสระบนแผ่นทองเหลือง การที่ปฏิบัติเช่นนั้น ไม่ผิดจากหลักที่อธิบาย เพราะ

- ก. อิโบนีต์เป็นฉนวนที่ดี ฉะนั้น ถึงแม้ว่าเราจะวางแผ่นทองเหลืองบนแผ่นอิโบนีต์ ก็จะเกิดการสัมผัสกันแต่เพียงไม่กี่จุด เพราะแผ่นทั้งสองจะไม่แนบสนิทกันไว้ ฉะนั้น การเกิดประจุโดยการสัมผัสจึงถือว่าไม่มี
- ข. การวางแผ่นทองเหลืองให้ใกล้กับแผ่นอิโบนีต์อย่างมากที่สุดตนเอง ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงขึ้น เราจึงจะได้ประจุอิสระแรงมากกว่า ถ้าเพียงแต่วางไว้ในระยะใกล้

ไฟฟ้าเป็นพลังงาน ฉะนั้นการที่บอกไว้ว่า เราสามารถประจุแผ่นทองเหลือง AB สักกี่ครั้งก็ได้ประจุเสมอ จะดูเหมือนกับว่า วัจนเป็นข้อเกิดของพลังงานไม่รู้จบ ความจริงในการกักแผ่นทองเหลืองออกจากแผ่นอิโบนีต์นั้น เราต้องใช้พลังงานจาก

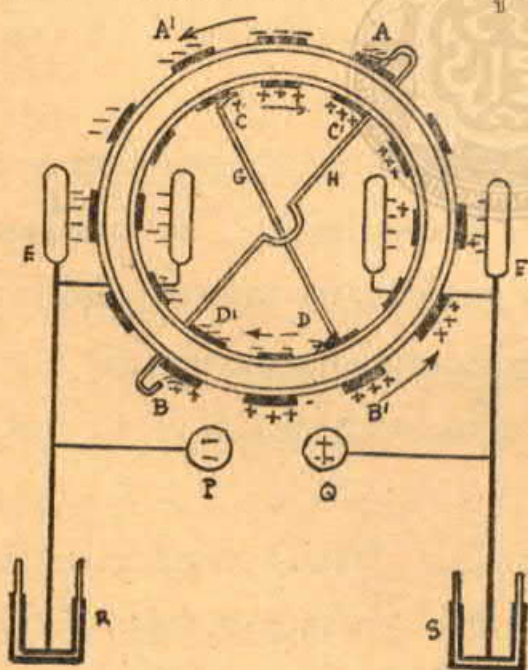
มีลักษณะแรงดึงดูดระหว่างประจุบนแผ่นอิเล็กโตรไนต์กับประจุบนแผ่นทองเหลือง
พลังงานที่ของใช้เองแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า คือประจุบนแผ่นทองเหลือง

80. เครื่องทำไฟฟ้าแบบ วิกส์เฮิสต์

เครื่องทำไฟฟ้าแบบวิกส์เฮิสต์ (Wimshurst Machine) ใช้หลักของอิเล็กโตร
ฟอริสชันเอง แต่เอาแผ่นตัวนำมาหมุนสวนกัน แผ่นตัวนำทางจะเหินย่นาซึ่งกันและกัน

ลักษณะจริงของเครื่องแบบนี้ นักเรียนควรจะได้เห็นในห้องทดลอง และการ
เข้าใจว่าจะเกิดการเหินย่นาอย่างไรนั้น ก็ควรพิจารณาจากตัวเครื่อง แต่เพื่อให้เข้าใจ
ง่ายขึ้น เราจะอธิบายอย่างย่อไว้ในที่นี้ และโดยเหตุที่ต้องแสดงรูปหน้ากระดาษ
จึงต้องคัดแปลงรูปให้เหมาะสมสำหรับอธิบาย แต่ไม่ใช่ลักษณะจริงของเครื่อง

เครื่องแบบนี้มีแผ่นฉนวน เช่น แก้วทาเซลแล็ค ๒ แผ่นขนานกัน หมุนได้
รอบตัวบนแกนอันเดียวกัน แต่หมุนคนละทาง รอบ ๆ แผ่นแก้วมีตัวนำตั้งอยู่เป็น
แถว และตรงกันทั้งสองด้าน ดังในรูปที่ 88



รูปที่ 88

สมมติว่า ในขณะหมุน ตัวนำ B'
และ A' ในแผ่นนอกซึ่งหมุนอย่างตรงข้าม
กับตัวนำ C และ D ซึ่งมีการประจุบวกและลบ
ตามลำดับมาอยู่ตรงกับ D และ C ซึ่ง
อยู่บนแผ่นในและหมุนอย่างตามนาฬิกา
ในขณะ D อยู่ตรงกับ B' และ C อยู่
ตรงกับ A' หมายความว่า G ซึ่งตรงแนดกับ
เครื่องและอยู่นิ่งอยู่ระหว่าง D และ C
ดังในรูป D จะถูกเหินย่นาโดย B' ให้
มี ประจุเหินย่นา ซึ่งลบ C จะถูก
เหินย่นาโดย A' ให้มีประจุเหินย่นา

ชนิดขวก คือกระแสอิเล็กตรอนจะเทจาก C มา D' ฉะนั้นเมื่อ D และ C หมุนเลยไป และแรงเหวี่ยงนำจาก B' และ A' จะหมด ก็พอกตัวนำ G หลุดออก, D และ C จึงมีประจุอิสระชนิดลบและขวกตามลำดับก็ตกต่อไป

ครั้น D หมุนมาถึง D' และ C มาถึง C' ก็พอกมาตรงกับ B และ A ของแผ่น นอก ซึ่งก่อนหน้านั้นไม่ประจุเลย และเมื่ออยู่ตรงกันนี้ มีตัวนำ H ซึ่งตรงแนบติดกับ เครื่องและอยู่หนึ่ง (เหมือน G) ที่อยู่ระหว่าง B และ A, D (ซึ่งขณะนั้นอยู่ที่ D') ก็ จะเหวี่ยงนำให้ B มีประจุเหวี่ยงนำชนิดขวก และ C (ซึ่งขณะนั้นอยู่ที่ C') ก็ จะเหวี่ยงนำ A ให้มีประจุชนิดลบ โดยอิเล็กตรอนเทจาก B มา A เมื่อ A และ B หมุนเลยไป ตัวนำ H หลุดออก, B และ A ก็หมุนเลยมาจึงมีประจุอิสระชนิดขวก และลบตามลำดับ และเมื่อเลยมาถึง B' และ A' ก็ จะเหวี่ยงนำตัวนำของแผ่นใน ต่อ ๆ ไปอย่างทอดยาวไว้อีกบน

ฉะนั้น เราจะเห็นว่า ตัวนำทุกอันในแผ่นในจะเหวี่ยงนำตัวนำทุกอันในแผ่น นอก และตัวนำทุกอันในแผ่นนอกจะเหวี่ยงนำตัวนำทุกอันในแผ่นในคือ ต่างฝ่าย ต่างเหวี่ยงนำให้ มีประจุอิสระในขงกันและกัน

ตัวนำทุกอันที่ผ่าน C มายัง C' จะมีประจุขวก และที่ผ่าน B มายัง B' ก็จะมีประจุขวก และตัวนำทั้งสองชุดนี้ต่างก็ระเหิมมาหาที่เก็บ F ฉะนั้น ไฟฟ้าจะถูกระ ดูเก็บไว้ ณ ที่ เก็บ F ซึ่งมีทางต่อไปหาเครื่องควมแน่น S และต่อกับขั้วมีปลอกปล้อย ประจุ Q

ตัวนำทุกอันที่ผ่าน A มายัง A' และที่ผ่าน D มายัง D' จะมีประจุลบ และเช่นเดียวกัน ไฟฟ้าจะถูกระ ดูเก็บ ณ ที่เก็บ E ซึ่งมีทางต่อไปยังเครื่องควมแน่น R และมีปลอกปล้อยประจุ P

ฉะนั้น ถ้าเราหมุนเครื่องนี้ จะทำให้ไฟฟ้าเกิดขึ้นโดยการเหนี่ยวนำ ไฟฟ้า
ขบวนการขั้วขั้ว Q ไฟฟ้าลบขั้ว P และเมื่อความต่างของศักย์ค่าสูงพอ และ
ระยะระหว่างขั้ว P และ Q ไม่มากนัก ก็จะมีการถ่ายเทไฟฟ้าโดยประกายไฟฟ้า
ระหว่างขั้วทั้งสอง

เครื่องควมแน่นที่มีขั้วทั้งสองข้าง ก็เพื่อเพิ่มความสูง เกี่ยวกับจำนวนประกาย
ไฟมาก ขณะที่เครื่องควมแน่นทั้งสองนี้ ประกายไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเห็นลำโตและเกิด
ขึ้นเป็นครั้ง ๆ ถ้าลดเครื่องควมแน่นออก ประกายไฟฟ้าจะมีขนาดเล็กและเกิด
เรื่อยเป็นระยะ

การเก็บไฟฟ้า ณ ที่เก็บ E และ F นั้นไม่ใช่เก็บโดยวิธีสัมผัส แต่ใช้เก็บ
โดยการถ่ายเทไฟฟ้า จากปลายแหลมของที่เก็บ E และ F (ที่ข้อต่อไป) ทาง
F อีเล็กตรอนจะผ่านจากปลายแหลมไปทำให้แผ่น C และ B ต่าง ๆ ที่เข้ามา
เปลี่ยนสภาพเป็นสาระเหน็บ ฉะนั้น ตัวเองจากอีเล็กตรอนจึงมีประกายวอก ทาง E ก็เกิด
การถ่ายเทไฟฟ้าคล้ายกันเกิดประกาย

81. ประกายไฟฟ้า

เมื่อความต่างของศักย์ไฟฟ้าระหว่างตัวนำสองอัน ซึ่งอยู่ห่างจากกันใน
อากาศมีค่ามาก จะเกิดการถ่ายเทไฟฟ้ากันขึ้นระหว่างตัวนำทั้งสองนั้น ข้อสำคัญ
ที่สังเกตคือต้องมีค่าความต่างของศักย์ค่ามากพอ และระยะที่จุดทั้งสองห่างจากกันก็ต้อง
เหมาะสมกับความต่างของศักย์ค่าที่อยู่ในขณะนั้น แต่มีข้อสำคัญอีกข้อหนึ่ง คือ
ลักษณะของผิวหน้าที่มีความต่างของศักย์ ถ้าผิวหน้าอันหนึ่งเป็นแผ่นแบน ตัวนำอัน
หลังเป็นปลายแหลมที่มีปลายชี้เข้าหาแผ่นแบน และปลายแหลมอยู่ห่างจากแผ่น ๑
นิ้ว การถ่ายเทจะเกิดขึ้นถ้ามีความต่างของศักย์เพียง 20,000 โวลต์ แต่ถ้าตัว

นำทั้งสองเป็นรูปทรงกลมด้วยกันทั้งคู่และอยู่ห่างกัน 1 นิ้ว ความต่างของศักดา
ระหว่างตัวนำทั้งสองก็คงสูงจนอย่างมากกว่าจะมีการถ่ายเทกัน การถ่ายเทอาจ
เป็นแบบประกายไฟฟ้า หรือแบบ brush discharge

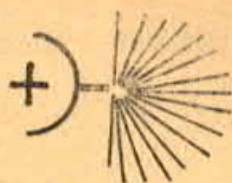


ถ้าตัวนำที่มีความต่างของศักดาเป็นรูปทรง
กลมด้วยกันทั้งคู่การถ่ายเทไฟฟ้าจะเป็นแบบ ประ

รูปที่ 89

กายไฟฟ้า (Electric spark) เช่นในรูปที่ 89

ประกายไฟฟ้าจะเกิดขึ้นแบบทันทีทันใด (Sudden) และเป็นลำแสงจาก ตัวนำอันหนึ่ง
ไปยังอีกอันหนึ่ง ถ้าตัวนำทั้งสองอยู่ใกล้กัน ประกายจะเป็นเส้นตรงสั้น และ
มีความเข้มมาก แต่ถ้าวางตัวนำทั้งสองอยู่ห่างออกไป ประกายจะคดเคี้ยว และมัก
มีทางแยกด้วย เช่นที่แสดงไว้ในรูปที่ 89 แต่อย่างไรก็ตาม ถ้ามีประกายไฟ
ฟ้าเกิดขึ้นจะมีเสียงเกิดขึ้นด้วยเสมอ



ถ้าตัวนำที่มีความต่างของศักดาเป็นปลายแหลม การถ่ายเทไฟฟ้าจะไม่เกิดขึ้น
แบบทันทีทันใดเหมือนแบบประกายไฟฟ้า แต่จะค่อยๆ ถ่ายเท
ออกคล้ายๆ ไฟรั่ว เรียกว่า การถ่ายเทไฟฟ้าจากปลายแหลม
(Brush discharge หรือ Point discharge) ถ้ามีการถ่ายเทไฟฟ้า

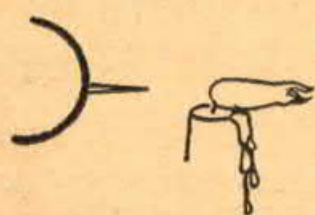
รูปที่ 90

แบบนั้นจากประจุบวก จะมีแสงสีม่วงอ่อนเป็นลำยานออกจากปลาย
แหลม (ดูรูปที่ 90) แต่ถ้าเป็นการถ่ายเทออกจากประจุลบ จะมีแสงสีม่วงอ่อนๆ
เป็นลำยานออกจากปลายแหลม สำหรับการที่จะเห็นแสงเรืองเหล่านี้ จะต้องทดลอง
ในห้องมืด ตลอดเวลาที่มีการถ่ายเทไฟฟ้าจากปลายแหลม จะมีเสียงคล้ายๆ
เนือใหม่ (hissing sound)

82. การซึมออกจากปลายแหลม

เราได้ทราบแล้วว่าจากข้อ 66 ว่า ประจุที่ติดกันอยู่ได้มากในท่อนำที่โค้งมาก และยิ่งเป็นมุม ประจุก็จะยิ่งติดกันได้มากขึ้น ฉะนั้นตามแถบมุม ประจุจะซึมหนีเข้าอากาศไปได้ และโดยเหตุนี้ถ้าไม่ต้องการให้ประจุทางคม จึงทำให้ท่อนำเป็นรูปทรงกลม เพราะจะรับประจุได้เท่ากันทั่วทั้งตัว

ถ้าท่อนำยังเป็นปลายแหลมเช่นเข็มหมุด ประจุก็จะยิ่งติดกันได้มากขึ้นและจะทำให้โมเลกุลของอากาศแถบปลายแหลมนั้นรับอำนาจไฟฟ้าไว้ โดยการสัมผัส กลายเป็นโมเลกุลของอากาศที่มีอำนาจไฟฟ้า เรียกว่า charged particles of air หรือ ionised air การแบ่งประจุให้แก่โมเลกุลอากาศนั่นเองคือ การถ่ายเทไฟฟ้าจากปลายแหลม



รูปที่ 91

เครื่องนี้แสดงได้โดยเขา เข็มหมุดติดกับขั้วของขั้วของเครื่องวอลต์เฮสท์ และเขาเทียนไขจุดเข้าและวางไว้ที่ปลายแหลม สมมติเกิดขึ้นจะเป่าเปลวของเทียนไข และเขาจะดับกับขั้วเปลวไฟของเทียนไขได้



รูปที่ 92

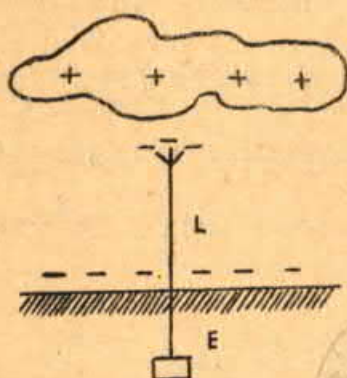
ถ้าเราทำให้ปลายแหลมเคลื่อนที่ไต่ เช่นเครื่องมอฮันทง เรียกว่า Hamilton mill ซึ่งมีลักษณะดังในรูปที่ 92 และเขาเครื่องนี้ติดกับขั้วของเครื่องวอลต์เฮสท์ การเคลื่อนที่ของโมเลกุลอากาศที่ ionised แล้วออกจากปลายแหลม จะทำให้มันแรงตรงกันข้าม กันให้ปลายแหลมเคลื่อนที่ถอยหลัง คือ หมุนไปตามแนวของลูกศร

83. พายุแลบ, พายุผ่า และสายล่อฟ้า

เมฆอาวาระได้รับประจุไฟฟ้าบวกหรือลบ แต่เกิดประจุขึ้นอย่างไวนั้นเรายังไม่ทราบกันแน่ และเมื่อประจุบวกหรือลบในเมฆมีศักดาสูงขึ้นพอ ก็เกิดการถ่ายเทไฟฟ้าระหว่างกัน หรือระหว่างเมฆ และโลก ปรากฏที่เกิดขึ้น เรียกว่า พายุแลบ (Lightning) ส่วนเสียงครวญครางที่เกิดขึ้นด้วย (Thunder) นั้น คือเสียงที่ปรากฏแหวกอากาศออกจากกัน และเสียงที่อากาศที่ถูกแหวกออกกลับมากกระทบกันเท่านั้น ปรากฏของพายุแลบก็เหมือนกับปรากฏที่เกิดขึ้นของเครื่องวิมส์เฮลท์ทุกประการ แต่ขนาดของความต่างของศักดา และระยะของปรากฏไฟฟ้าใหญ่กว่ากันมากมายเท่านั้น

ถ้าปรากฏเกิดระหว่างเมฆก็ไม่มีอันตรายอย่างใดแก่คนเราในโลก ต่อเมื่อเกิดปรากฏระหว่างเมฆกับโลกเท่านั้น จึงจะมีอันตรายแก่ผู้ที่อยู่ใกล้เคียง เรียกว่า พายุผ่า ไฟฟ้าวิ่งไวกว่ามากประทุน "สายพายุแลบ" ฉะนั้นเมื่อใดเราเห็นปรากฏ และได้ยินเสียงแปลว่าปรากฏเกิดห่างจากเรา และไม่มีอันตรายอย่างใด พายุผ่าอันที่เรามีอันตรายแก่ใครจนถึงตายนั้น คนที่ตายจะไม่รู้ ไม่ได้ยินและไม่ได้เห็น ปรากฏอันที่ฆ่าตัวนั้น เสียงเคลื่อนที่ได้ประมาณ 350 เมตร ต่อวินาที ฉะนั้นเรามีทางคำนวณได้ โดยประมาณว่า พายุแลบห่างจากเราเท่าใด โดยดูปรากฏและนับเวลาจากนั้นจนได้ยินเสียง ถ้าระยะห่างกัน 10 วินาที ก็แปลว่า พายุแลบห่างจากเรา 3.5 กิโลเมตร

สายล่อฟ้า เป็นโลหะ แท่ง ขนาดใหญ่ ทำให้ เป็นปลายแหลม 1 ทวีรมากกว่า
 1 ง่ามและมีทวนำต่อจากปลายแหลมไปลงดินลึก สายล่อฟ้าทำหน้าทาสองอย่าง
 ประการแรกและที่สำคัญก็คือนำไฟฟ้ามาแต่จากนั้นไม่ให้ฟ้าผ่าแต่จากนั้นไม่ให้ไฟไหม้ โดยให้เส้นทาง
 นำไฟฟ้าลงดินไปโดยตรง ไม่ทำอันตรายแก่อาคารที่มีสายล่อฟ้า



รูปที่ 98

สมมุติว่า L เป็นสายล่อฟ้า มีทางต่อลงดินลึก
 และมีเมฆซึ่งมีประจุบวกอยู่ ใกล้เคียง ประจุบวก
 ของเมฆจะเหนี่ยวนำให้เกิดประจุ เหนี่ยวนำ ชนิดลบ
 ที่ปลายแหลมของสายล่อฟ้าและแถบผิวโลก และ
 เมื่อประจุบวกของเมฆมาก ประจุเหนี่ยวนำลบที่
 ปลายแหลมก็มาก และเกิดการถ่ายเทไฟฟ้าออก
 จากปลายแหลมโดยทางโมเลกุลของอากาศ ทำ

ให้ ศักยภาพเหนี่ยวนำที่แถบผิวโลกลดลง และโมเลกุลของอากาศ ที่มีประจุลบก็จะไปฆ่า
 ฤทธิ์ของประจุบวกของเมฆให้มีจำนวนลดลง จะได้ไม่มีความต่างของศักภาพพอที่จะเกิด
 ฟ้าผ่าลงมาได้ แต่ถ้าเมฆเป็นเช่นนั้นแล้ว ความต่างของศักภาพระหว่างเมฆและ
 โลกก็ยังมากเกินไป จะเป็นโดย เมฆก้อนอื่นมา เติมประจุให้แก่ เมฆนั้นโดยทันที
 หรือด้วยเหตุอะไรก็ตาม และเกิดฟ้าผ่าลงมา ไฟฟ้าจะผ่านทางปลายของสายล่อฟ้า
 ลงดินไปโดยตรง ไม่ทำอันตรายแก่อาคาร

ถ้าจะให้สายล่อฟ้าใช้ประโยชน์ได้ ก็จะต้องมีลักษณะที่สำคัญดังนี้

- ก. ระต๋องมีปลายขยุ้มสูงกว่าส่วนอื่นของอาคารที่ระต๋องการกัน
- ข. โถงที่ใช้เป็นทวนำระต๋องพยายามให้มีทางนำถึงกันแน่นสนิท ใต้โถงเชื่อมเป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั้งระต๋อง
- ค. ระต๋องพยายามให้มีท่อนโค้งน้อยที่สุด และถ้าต้องโค้งเพราะจะเลี้ยว มุมก็ควรพยายามไม่ให้มุมหักเรื้องนัก มีฉะนั้นระต๋องกระแสไฟไว้ ไม่อยู่
- ง. ปลายล่างระต๋องฝังให้ลึกลงไปใต้ดิน



ไฟฟ้าสถิต

แบบฝึกหัดชุดที่ 1 (แรงดูดหรือแรงผลักระหว่างประจุไฟฟ้า)

1. ลูก pith ball สองลูกวางไว้ห่างกัน 3 เซนติเมตร และมีประจุไฟฟ้าเท่าๆ กันส่งแรงผลักระหว่างกันและกันด้วยขนาด 16 คายน์. จงหาประจุไฟฟ้าบนลูกหนึ่งๆ (ตอบ 12 หน่วย e.s.u.)
2. ถ้าลูก pith ball ทั่วๆ สองลูกมีประจุอยู่ $+8$ และ -8 หน่วย e.s.u. วางไว้ห่างกัน 4 เซนติเมตร จะส่งแรงผลักระหว่างกันด้วยแรงเท่าใด (ตอบ แรงกด 4 คายน์)
3. ลูก pith ball ทั่วๆ สองลูกวางไว้ห่างกัน 6 เซนติเมตร มีประจุไฟฟ้าอยู่ $+36$ และ -4 หน่วย e.s.u. ตามลำดับ จะเกิดแรงระหว่างลูก pith ball ทั้งสองเท่าใด
ถ้านำมาแตะกัน แล้วนำไปวางไว้ตามเดิมจะเกิดแรงระหว่างลูก pith ball ทั้งสองเท่าใด (ตอบ 4 คายน์ ; 7.11 คายน์)
4. จุดประจุสองจุดวางห่างกัน 2 นิ้ว จะเกิดแรงระหว่างกันขึ้น ถ้าเพิ่มประจุแก่จุดประจุหนึ่งเป็น 2 เท่า และอีกจุดประจุหนึ่งเป็น 3 เท่า จะต้องวางจุดประจุห่างกันเท่าใด จึงจะมีแรงระหว่างกันเท่าเดิม (ตอบ $2\sqrt{6}$ นิ้ว)
5. ลูกทรงกลมรัศมี 2 เซนติเมตร มีประจุ 100 หน่วย e.s.u. เอาจุดประจุ 20 หน่วย วางห่างจากผิวของลูกทรงกลม 8 เซนติเมตร จงหาแรงที่เกิดขึ้นระหว่างกันนั้น (ตอบ 20 คายน์)
6. ก.ข.ค. เป็นสามเหลี่ยมด้านเท่ารูปหนึ่ง ที่ ก. ข. และ ค. มีประจุไฟฟ้าวางไว้ $+30, -40$ และ $+40$ หน่วย e.s.u. ตามลำดับ จงหาแรงที่กระทำ

- ทุก. ถ้าก้านของสามเหลี่ยมยาวก้านละ 10 เซนติเมตร (ตอบ 13.75 คายน์)
7. ก.ข.ค.ง. เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีด้านยาวก้านละ 10 เซนติเมตร มีประจําวงไว้ที่ ก.ข.ค. และ ง. เป็น $+5, +10, -5$ และ -10 หน่วย e.s.u. ตามลำดับ จงหาแรงที่เกิดขึ้นที่ทุก. (ตอบ 0.718 คายน์)
8. ก.ข.ค.ง. เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีด้านยาวก้านละ 10 เซนติเมตร มีประจําวงไว้ที่ ก.ข.ค. และ ง. เป็น $+10, +5, -10$ และ -5 หน่วย e.s.u. ตามลำดับ จงหาแรงที่เกิดขึ้นบนประจํา $+20$ หน่วย e.s.u. ซึ่งวางไว้ที่ศูนย์กลางของรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ตอบ $4\sqrt{5}$ คายน์)
9. ลูกทรงกลมตัวนำลูกหนึ่ง มีประจําไฟฟ้าเป็น 2 เท่าของอีกลูกหนึ่ง และจุดศูนย์กลางของลูกทรงกลมทั้งสองวางไว้ห่างกัน 20 เซนติเมตร เกิดแรงดูดหรือแรงผลักระหว่างลูกทรงกลมทั้งสองเท่ากับน้ำหนัก 5 มิลลิกรัม จงหาประจําไฟฟ้าบนลูกทรงกลมทั้งสองนั้น (ตอบ 99.05, 198.1 หน่วย e.s.u.)

แบบฝึกหัดชุดที่ 2 (ความเข้มของสนามไฟฟ้า)

1. ลูกทรงกลมตัวนำสองลูกมีรัศมี 4 และ 6 เซนติเมตร มีประจํา 200 และ 100 หน่วย e.s.u. ตามลำดับ วางไว้ให้จุดศูนย์กลางห่างกัน 40 เซนติเมตร จงหาความเข้มของสนามไฟฟ้าที่จุดกึ่งกลางระหว่างจุดศูนย์กลางทั้งสอง
- เมื่อประจําทั้งสองเป็นประจําบวกด้วยกัน
 - เมื่อประจําทั้งสองเป็นประจําลบด้วยกัน
 - เมื่อประจําบนทรงกลมเล็กเป็นบวก แต่ทรงกลมใหญ่เป็นลบ
 - เมื่อประจําบนทรงกลมเล็กเป็นลบ แต่ทรงกลมใหญ่เป็นบวก (ตอบ 0.25, 0.25, 0.75, 0.75, คายน์ ต่อ 1 หน่วย e.s.u.)

2. ลูกทรงกลมตัวนำลูกหนึ่งมีรัศมี 10 เซนติเมตร มีประจุ 100 หน่วย e.s.u. หมายความว่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่จุดห่างจากจุดศูนย์กลางของลูกทรงกลม
- ก) เป็นระยะ 20 เซนติเมตร
- ข) เป็นระยะ 10 เซนติเมตร
- ค) เป็นระยะ 5 เซนติเมตร (ตอบ 0.25, 1.00, 0 ภายใต้นักหน่วย e.s.u.)
3. ก.ข.ค.ง. เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสรูปหนึ่ง มีด้านยาวด้านละ 4 เซนติเมตร มีประจุ +16, -32 และ +16 หน่วย e.s.u. วางไว้ที่ ก. ข. และค. ตามลำดับ หมายความว่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่จุดง. (ตอบ 0.414 ภายใต้นักหน่วย e.s.u.)
4. ก.ข.ค.ง. เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสรูปหนึ่ง มีด้านยาวด้านละ 5 เซนติเมตร ที่ ข. และ ง. มีประจุแห่งละ 100 หน่วย e.s.u. และเป็นประจุบวก ที่ ค. มีประจุ 200 หน่วย e.s.u. เป็นประจุลบ หมายความว่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่จุด ก. (ตอบ 1.656 ภายใต้นักหน่วย e.s.u.)
5. ลูกทรงกลมตัวนำรัศมี 2 เซนติเมตร มีประจุ +100 หน่วย e.s.u. และลูกทรงกลมตัวนำอีกอันหนึ่ง มีรัศมี 3 เซนติเมตร มีประจุ +25 หน่วย e.s.u. วางไว้ให้ผิวของตัวนำทั้งสองห่างกันเป็นระยะ 10 เซนติเมตร หมายความว่าตำแหน่งที่ความเข้มของสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ (ตอบ ในเส้นตรงระหว่างจุดศูนย์กลางทั้งสองของตัวนำห่างจากผิวทรงกลมมีประจุ +100 หน่วย 8 เซนติเมตร)
6. ตัวนำทรงกลมเล็ก 2 ลูก มีประจุ +50 และ -20 หน่วย e.s.u. วางไว้ห่างกัน 10 เซนติเมตร หมายความว่าตำแหน่งของจุดๆ หนึ่งบนเส้นตรง ซึ่งอยู่ระหว่างจุดศูนย์กลางของตัวนำทั้งสอง ซึ่งมีความเข้มของสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ (ตอบ ที่จุดห่างจากประจุ -20 หน่วย e.s.u. 17.21 เซนติเมตร และห่างจากประจุ +50 หน่วย e.s.u. 27.21 เซนติเมตร)

7. ทรงกลมตัวนำเล็ก 2 ลูก มีประจุ $+100$ และ $+50$ หน่วย e.s.u. วางไว้ห่างกัน 20 เซนติเมตร ใจกลางแห่งของทุกๆ หนึ่งบนเส้นตรง ซึ่งต่อระหว่างจุดศูนย์กลางของทรงกลมทั้งสองมีความเข้มของสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ (ตอบ จากประจุ $+100$ หน่วย 11.72 เซนติเมตร)
8. ก.ข.ค.ง. เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสรูปหนึ่ง มีด้านยาวด้านละ 10 เซนติเมตร มีประจุไฟฟ้า $+40, -40, +25$ และ -25 หน่วย e.s.u. วางไว้ที่มุมทั้งสี่ตามลำดับ ใจกลางความเข้มของสนามไฟฟ้าตรงเส้นทะแยงมุมตักกัน (ตอบ 0.42 คายน์เกช หน่วย e.s.u.)

แบบฝึกหัดชุดที่ 3 (ความจุและศักดาไฟฟ้าของตัวนำ)

1. ลูกทรงกลมตัวนำลูกหนึ่ง มีรัศมี 5 เซนติเมตร มีประจุ $+200$ หน่วย e.s.u. ใจกลางศักดาไฟฟ้าที่
- ก) ห่างจากจุดศูนย์กลางของทรงกลมเป็นระยะ 10 เซนติเมตร
 - ข) ห่างจากจุดศูนย์กลางของทรงกลมเป็นระยะ 5 เซนติเมตร
 - ค) ห่างจากจุดศูนย์กลางของทรงกลมเป็นระยะ 4 เซนติเมตร
- (ตอบ 20, 40, 40 หน่วย e.s.u.)
2. ทรงกลมตัวนำเล็กๆสองลูกมีประจุ $+100$ และ -200 หน่วย e.s.u. วางไว้ห่างกันเป็นระยะ 12 เซนติเมตร ใจกลางแห่งของทุกๆ หนึ่งบนเส้นตรง ซึ่งต่อระหว่างตัวนำทั้งสอง และมีศักดาไฟฟ้าเป็นศูนย์ (ตอบจากประจุ $+100$ หน่วย 4 เซนติเมตร)
3. สี่เหลี่ยมจัตุรัสรูปหนึ่ง มีด้านยาวด้านละ 10 เซนติเมตร มีประจุวางไว้ที่มุม

ทั้งสี่ของจรตสันแต่ละ + 5 หน่วย e.s.u. จงหาศักดาไฟฟ้าที่เส้นตรงแบ่งมุม
กักกัน (ตอบ 2.83 หน่วย e.s.u.)

4. นำประจุไฟฟ้า 1, 2, 3, และ -4 หน่วย e.s.u. ไปวางไว้ที่มุมของสี่เหลี่ยมจัตุรัส
รูปหนึ่งตามลำดับ จงหาศักดาไฟฟ้าที่จุดกึ่งกลางของด้านระหว่างประจุ 1 และ
2 หน่วย ถ้าความยาวของด้านสี่เหลี่ยมจัตุรัสยาว ด้านละ 2 เซนติเมตร
(ตอบ 2.55 หน่วย e.s.u.)

5. ประจุไฟฟ้า -10, +10, +20 และ -20 หน่วย e.s.u. วางเรียงกันไป
ตามเส้นตรงให้มีระยะห่างกันช่วงละ 5 เซนติเมตร ตามลำดับ ให้หาว่าประจุ
+20 หน่วย ได้ถูกแรงกระทำจากประจุอื่น ๆ รวมกันเท่าใด (ตอบ 22 คาบายน)

6. ท่อน้ำทรงกลม 2 ลูก มีรัศมี 5 และ 10 เซนติเมตร มีประจุไฟฟ้า +100 และ
+75 หน่วย e.s.u. ตามลำดับ จงหา

ก) ศักดาไฟฟ้าบนท่อน้ำทั้งสองก่อนแตะ

ข) ศักดาไฟฟ้าบนท่อน้ำทั้งสองภายหลังแตะกัน

(ตอบ 20, 7.5, 11 $\frac{2}{3}$ หน่วย e.s.u.)

7. ท่อน้ำทรงกลม 2 ลูก มีรัศมี 4 และ 6 เซนติเมตร มีประจุไฟฟ้า +50
และ -40 หน่วย e.s.u. ตามลำดับ จงหา

ก) ศักดาไฟฟ้าบนท่อน้ำทั้งสองก่อนแตะ

ข) ศักดาไฟฟ้าบนท่อน้ำทั้งสองภายหลังแตะกัน

ค) ประจุไฟฟ้าบนท่อน้ำทั้งสองภายหลังแตะกัน

(ตอบ 12 $\frac{1}{2}$, -6 $\frac{2}{3}$, 1 หน่วย e.s.u.; 4 และ 6 หน่วย e.s.u.)

8. เลนเซอร์ 2 อัน มีความยาว 5 และ 10 หน่วย e.s.u. ต่อกันไว้

ก) ขนานกัน

ข) เป็นอนุกรม

จงหาความรวมของเลเตนจารทั้งสอง. (ตอบ $15,3\frac{1}{3}$ หน่วย e.s.u.)

9. เครื่องควมแน่นชิ้นหนึ่ง มีความจุ 3020 หน่วย e.s.u. มีศักดาไฟฟ้า 35 หน่วย e.s.u. จงหาคักดาไฟฟ้า เมื่อนำเครื่องควมแน่นไปต่ออย่างขนานกัน กับเครื่องควมแน่นอีกชิ้นหนึ่ง ซึ่งไม่มีระบุแต่มีความจุ 4530 หน่วย e.s.u.

(ตอบ 14 หน่วย e.s.u.)

10. เครื่องควมแน่นสองชิ้นมีความจุ 8 และ 12 หน่วย e.s.u. เรียงกันไว้อย่างอนุกรม ถ้านำเอาปลายขั้วทั้งสองเข้าไปต่อกับศักดาไฟฟ้าที่มีค่า 75 หน่วย e.s.u. เครื่องควมแน่นชิ้นหนึ่งๆ จะได้รับประจุเท่าใด.

(ตอบ 360 หน่วย e.s.u.)

11. เครื่องควมแน่น 2 ชิ้น มีความจุ 4 และ 8 หน่วย e.s.u. ต่อกันไว้อย่างขนานกัน นำปลายขั้วทั้งสองไปต่อกับศักดาไฟฟ้าที่มีค่า 50 หน่วย e.s.u. เครื่องควมแน่นชิ้นหนึ่งๆ จะได้รับประจุเท่าใด. (ตอบ 200, 400 หน่วย e.s.u.)

12. เลเตนจารชิ้นหนึ่งมีความจุ 800 หน่วย e.s.u. นำไปต่อเป็นอนุกรมกับเลเตนจาร อีกชิ้นหนึ่งมีความจุ 200 หน่วย e.s.u. แล้วนำปลายขั้วทั้งสองไปต่อกับศักดาไฟฟ้า 20 หน่วย e.s.u. เลเตนจารชิ้นหนึ่งๆ จะได้รับประจุเท่าใด และความต่างศักดาไฟฟ้า ระหว่างแผ่นทั้งสองของเลเตนจารแต่ละชิ้นนั้นจะเป็นเท่าใด.

(ตอบ 3200; 4 และ 16 หน่วย e.s.u.)

โจทย์ระคนไฟฟ้าสถิต

1. Pitt ball สองลูกแขวนไว้ด้วยเชือกสองเส้นยาวเท่ากัน ปลายทั้งสองของเชือกผูกรวมกันไว้ มีน้ำหนักมวลละ $\frac{1}{10}$ กรัม และต่างมีประจุเท่าๆ กัน

สิ่งแรงผลึกซึ่งกันและกัน ทำให้เส้นเชือกกางออกเป็นมุมฉาก ใจกลางผลึก
ระหว่างลูก Pith ball ทั้งสองเป็นกรวย และภายใน

ถ้าระยะ Pith ball ทั้งสองกางออกห่างกันเป็นระยะ 8 เซนติเมตร จะมี
ประจุบนลูก Pith ball ทั้งสองลูกเท่าใด. (ตอบ $\frac{1}{10}$ กรัม, 98.1 คายน์
79.24 หน่วย e.s.u.)

2. Pith ball สองลูก มีน้ำหนักลูกละ $\frac{1}{10}$ กรัมแขวนไว้ด้วยเชือกสองเส้น
ยาวเส้นละ 8 เซนติเมตร ปลายข้างหนึ่งรวมกันไว้ มีประจุเท่าๆกันบน
Pith ball ทั้งสองสิ่งแรงผลึกซึ่งกันและกัน ทำให้ Pith ball ทั้งสองห่าง
กันเป็นระยะ 6 เซนติเมตร จะมีประจุบน Pith ball ทั้งสองลูกเท่าใด.
(ตอบ 51.47 หน่วย e.s.u.)

3. ทรงกลมตัวนำสองอัน วางไว้ห่างกันระยะหนึ่ง สิ่งแรงดึงดูดหรือแรงผลึกกัน
คิดเป็นน้ำหนักเท่ากับ 1 มิลลิกรัม ถ้าประจุไฟฟ้าบนทรงกลมอันหนึ่งเพิ่ม
ขึ้นเป็นสองเท่าแล้วระยะทางระหว่างทรงกลมทั้งสองเพิ่มเป็น 2 เท่าด้วย สิ่ง
แรงผลึกซึ่งกันและกันเท่าใด. (ตอบ 0.5 มิลลิกรัม)

4. รุกสองรุกห่างกันเป็นระยะ 40 เซนติเมตร มีประจุไฟฟ้า +50 และ -18 หน่วย
e.s.u. จงหาคำแหน่งของรุกๆหนึ่ง ซึ่งเมื่อนำประจุอันที่สามไปวางไว้
แล้วทำให้ประจุอันที่สามเหมือนกันไม่มีความกระทำ. (ตอบ ห่างจากประจุ
-18 หน่วยออกไป 60 เซนติเมตร)

5. ตัวนำทรงกลมเล็กๆ 2 อัน มีประจุไฟฟ้า 5 q และ -3 q หน่วย e.s.u.
วางไว้ห่างกัน 30 เซนติเมตร ใจกลางระหว่างตัวนำทั้งสองนั้น

ถ้าเขาคำนวณทั้งสองมาแต่กัน แล้วกลับไปวางตามตำแหน่งเดิม จะ
เกิดแรงระหว่างกันเท่าใด. (ตอบ แรงดึงดูด $\frac{q^2}{60}$ แรงผลัก $\frac{q^2}{900}$ คายน์)

6. ให้นำทรงกลมเล็กๆ มีประจุไฟฟ้า $+5, +10, +5$ และ -5 หน่วย e.s.u.
นำไปวางไว้ที่มุมของสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งมีด้านยาวด้านละ 10 เซนติเมตร
จงหาแรงบนประจุ $+2$ หน่วย e.s.u. ซึ่งนำไปวางไว้ที่เส้นทแยงมุมต่อกัน.
(ตอบ 0.6 คายน์ พุ่งเข้าหาประจุ 5 หน่วย e.s.u.)

7. ประจุขนาดเท่ากัน และชนิดตรงกันข้าม วางไว้ห่างกันเป็นระยะ l เซนติเมตร
จงเปรียบเทียบความเข้มของสนามไฟฟ้าที่จุดกึ่งกลางระหว่างประจุทั้งสอง กับ
จุดอื่นๆ หนึ่งเป็นระยะ r เซนติเมตร จากกึ่งกลางของประจุทั้งสองนั้น เมื่อ
จุดหลังอยู่

ก) บนเส้นตรงซึ่งต่อระหว่างจุดประจุทั้งสองที่ภายนอก

ข) บนเส้นตรงซึ่งลากตั้งฉากกับเส้นตรงที่ลากระหว่างจุดประจุทั้งสอง.

$$\left(\text{ตอบ } 4 \frac{(r^2 - l^2)^2}{r l^3}; \quad 8 \frac{(r^2 + l^2)^2}{l^3} \right)$$

8. ประจุบนตัวนำทรงกลมเล็กๆ 2 อัน ส่งแรงผลักรันด้วยขนาด F คายน์ ถ้า
ตัวนำอันหนึ่งมีประจุเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า และระยะทางระหว่างตัวนำทั้งสองเพิ่ม
ขึ้นเป็น 3 เท่าเช่นเดียวกัน จะส่งแรงผลักรันด้วยขนาดเท่าใด. (ตอบ $\frac{F}{3}$ คายน์)
9. ตัวนำ ก. มีความจุ 10 หน่วย e.s.u. และมีศักดาไฟฟ้า 50 หน่วย e.s.u.
ตัวนำ ข. มีความจุ 6 หน่วย e.s.u. และมีศักดาไฟฟ้า 65 หน่วย e.s.u.

งหาประจุบนตัวนำก. และ ข. ภายหลังเมื่อติดต่อกับตัวลวดเส้นหนึ่ง
(ตอบ 556.25, 333.75 หน่วย e.s.u.)

10. ตัวนำทรงกลม 2 อัน มีประจุบวก 10 และ 20 หน่วย e.s.u. ตามลำดับ
วางไว้ห่างกันเป็นระยะ 30 เซนติเมตร งบหา

ก) ความเข้มของสนามไฟฟ้า

ข) ศักย์ไฟฟ้า

ที่จุดกึ่งกลางระหว่างตัวนำทั้งสองนั้น.

(ตอบ 0.0444 คายน์, 2 หน่วย e.s.u.)

11. เลนเซอร์ 2 อัน อันหนึ่งมีความ $f = 300$ หน่วย e.s.u. มีศักย์ไฟฟ้า
20 หน่วย e.s.u. อีกอันหนึ่งมีศักย์ไฟฟ้า 30 หน่วย e.s.u. โดยประ
จุ 7200 หน่วย e.s.u. นำมาติดต่อกับอย่างขนานกัน แผ่นขดติดต่อกับ
แผ่นขด และแผ่นลบติดต่อกับแผ่นลบ งบหาศักย์ไฟฟ้าของเลนเซอร์
ทั้งสอง และประจุของแผ่นอันภายหลังต่อกันนั้น

(ตอบ $34\frac{4}{9}$ หน่วย; $7333\frac{1}{3}$ และ $5866\frac{2}{3}$ หน่วย e.s.u.)

12. เครื่องควบแน่น 3 อัน มีความ $f = 4, 6$ และ 8 หน่วย e.s.u. งบหาความ
รวมของเครื่องควบแน่นทั้ง 3 อัน เมื่อ

ก) ต่อไว้อย่างขนาน

ข) ต่อไว้อย่างอนุกรม (ตอบ $18, 1\frac{11}{13}$ หน่วย e.s.u.)

13. เครื่องควบแน่น 3 อัน มีประจุ 2, 4 และ 6 หน่วย e.s.u. ต่อรวมกันไว้อย่าง
ขนาน นำเขาปลายขั้วทั้งสองไปต่อกับศักย์ไฟฟ้า 90 หน่วย e.s.u. เครื่อง
ควบแน่นอันหนึ่งๆ จะมีประจุเกิดขึ้นเท่าใด (ตอบ 180, 360, 540 หน่วย e.s.u.)

14. เครื่องควบแน่น 3 ชิ้น มีความยาว 5, 10 และ 20 หน่วย e.s.u. เรียงกันไว้
อย่างอนุกรม นำเอาปลายขั้วทั้งสองไปต่อกับศักดาไฟฟ้า 70 หน่วย e.s.u.
เครื่องควบแน่นชิ้นหนึ่ง จะได้รับประจุเท่าใด (ตอบ 200 หน่วย e.s.u.)
15. วัตถุทรงกลมชิ้นหนึ่งมีความยาว 25 หน่วย e.s.u. มีศักดาไฟฟ้า 30 หน่วย
e.s.u. วัตถุทรงกลมอีกชิ้นหนึ่งมีความยาว 10 หน่วย e.s.u. เมื่อเอาวัตถุ
ทรงกลมทั้งสองแตะกันแล้วปรากฏว่า ศักดาไฟฟ้าของวัตถุทั้งสองเป็น 25
หน่วย e.s.u. ให้หว่าก่อนแตะกัน วัตถุทรงกลมชิ้นหลังมีศักดาไฟฟ้าเท่าใด
(ตอบ 12.5 หน่วย e.s.u.)
16. ก. และ ข. เป็นรูปสองเหลี่ยมในเส้นตรงชิ้นหนึ่ง และมีจุดประจุซึ่งมีประจุ $+72$
หน่วย e.s.u. อยู่ในเส้นตรงนี้ ถ้า ก. อยู่ห่างจากจุดประจุ 8 ซม. ข. อยู่
ห่างจากจุดประจุ 12 ซม. ให้หาความต่างของศักดาไฟฟ้าระหว่าง ก. และ ข.
(ตอบ 3 หน่วย e.s.u.)
17. ก. ข. ค. ง. เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ด้านยาวด้านละ 10 ซม. มีประจุ $+10,$
 $+20, +30$ หน่วย e.s.u. วางอยู่ที่จุด ก. ข. และ ค. ตามลำดับ ให้หา
ศักดาที่จุด ง. และที่จุด ค. ซึ่งเป็นจุดที่เส้นทแยงมุมตัดกัน เราจะต้องทำงาน
เท่าใด จึงจะเคลื่อนประจุ $+2$ หน่วย e.s.u. จาก ง. ถึง ค. (ตอบ 5.414
และ 8.484 หน่วย e.s.u. 6.14 เบริก)
18. ให้นำทรงกลมชิ้นหนึ่งมีรัศมี 1 ซม. ให้รับประจุบวกจนกระทั่งมีศักดา 70
หน่วย e.s.u. ให้นำทรงกลมอีกชิ้นหนึ่งมีรัศมี 1.5 ซม. ให้รับประจุบวกจนมี
ศักดาเท่ากับ อันแรก แล้ววางให้ตัวนำทั้งสองมีจุดศูนย์กลางอยู่ห่างกัน
50 ซม. ให้หาแรงผลักระหว่างตัวนำทั้งสอง (ตอบ 2.94 กายน์)

19. ให้นำทรงกลมสองอันไว้รอบประจุบนกระแทกศักดาสูงขึ้นเป็น 4 หน่วย e.s.u. และ 5 หน่วย e.s.u. ตามลำดับ ถ้าอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นประจุระหว่างตัวนำทั้งสองเป็น 4:9 จงหาอัตราส่วนระหว่างรัศมีของตัวนำทั้งสอง (ตอบ 9:5)
20. ให้นำทรงกลมสามอันวางชิดกัน แล้วเอาประจุบวกใส่เข้าไปให้แก่ตัวนำทั้งสามจนกระทั่งมีศักดา 2.5 และ 7 หน่วย e.s.u. ตามลำดับ ถ้ารัศมีของทรงกลมทั้งสามเป็น 2.3 และ 4 ซม. ตามลำดับ และเราเอาลวดต่อระหว่างตัวนำทั้งสามนั้นให้หาจำนวนประจุรวมและศักการวมของตัวนำทั้งสาม (ตอบ 47 หน่วย e.s.u. ของประจุ ; 5.22 หน่วย e.s.u. ของศักดา)
21. มีแผ่นโลหะสองแผ่น ห่างกัน 100 ตาราง ซม. และวางขนานกันห่างกัน 1 มม. ถ้าแผ่นหนึ่งต่อกับโลก ให้หาความจุของเครื่องควบแน่นนี้เป็น micro-micro-farads ถ้าทว่างระหว่างแผ่นบรรจุด้วยไมคา ซึ่งมี dielectric constant 7. (ตอบ 619 micro-micro-farads)



องค์การกวีจอร์จ

พิมพ์ที่โรงพิมพ์ตรา

นายกำธร สดวกุล ผู้พิมพ์และโฆษณา

๑๐ สิงหาคม ๒๕๕๖