

Some Topics in Elementary Physics/Grade 11

Nguyễn Quân Bá Hồng¹

Ngày 17 tháng 8 năm 2022

¹Independent Researcher, Ben Tre City, Vietnam
e-mail: nguyenquanhong@gmail.com; website: <https://nqbh.github.io>.

Mục lục

I Điện Học – Điện Từ Học	1
1 Điện Tích – Điện Trường	2
1.1 Điện Tích, Định Luật Coulomb	2
1.1.1 2 loại điện tích, Sự nhiễm điện của các vật	2
1.1.1.1 2 loại điện tích	2
1.1.1.2 Sự nhiễm điện của các vật	2
1.1.2 Định luật Coulomb	3
1.1.3 Lực tương tác của các điện tích trong điện môi (chất cách điện)	4
1.1.4 Máy lọc bụi	4
1.2 Thuyết Electron, Định Luật Bảo Toàn Điện Tích	4
1.2.1 Thuyết electron	4
1.2.2 Vật (chất) dẫn điện & vật (chất) cách điện	5
1.2.3 Giải thích 3 hiện tượng nhiễm điện	5
1.2.3.1 Nhiễm điện do cọ xát	5
1.2.3.2 Nhiễm điện do tiếp xúc	5
1.2.3.3 Nhiễm điện do hưởng ứng	5
1.2.4 Định luật bảo toàn điện tích	5
1.2.5 Problems	6
1.3 Điện Trường	7
1.3.1 Điện trường	7
1.3.1.1 Khái niệm điện trường	7
1.3.1.2 Tính chất cơ bản của điện trường	7
1.3.2 Cường độ điện trường	7
1.3.3 Đường sức điện	8
1.3.3.1 Định nghĩa	8
1.3.3.2 Các tính chất của đường sức điện	8
1.3.3.3 Điện phổ	9
1.3.4 Điện trường đều	9
1.3.5 Điện trường của 1 điện tích điểm	9
1.3.6 Nguyên lý chồng chất điện trường	10
1.3.7 Tương tác gần & tương tác xa	10
1.4 Công của Lực Điện, Hiệu Điện Thế	10
1.4.1 Công của lực điện	10
1.4.2 Khái niệm hiệu điện thế	11
1.4.2.1 Công của lực điện & hiệu thế năng của điện tích	11
1.4.2.2 Hiệu điện thế, điện thế	11
1.4.3 Liên hệ giữa cường độ điện trường & hiệu điện thế	12
1.4.4 Thí nghiệm Millikan	12
1.5 Bài Tập về Lực Coulomb & Điện Trường	13
1.6 Vật Dẫn & Điện Môi Trong Điện Trường	15
1.6.1 Vật dẫn trong điện trường	15
1.6.1.1 Trạng thái cân bằng điện	15
1.6.1.2 Điện trường trong vật dẫn tích điện	15
1.6.1.3 Điện thế của vật dẫn tích điện	16
1.6.1.4 Sự phân bố điện tích ở vật dẫn tích điện	16
1.6.2 Điện môi trong điện trường	17
1.7 Tụ Điện	18
1.7.1 Tụ điện	18

1.7.1.1	Định nghĩa	18
1.7.1.2	Tụ điện phẳng	18
1.7.2	Điện dung của tụ điện	18
1.7.2.1	Định nghĩa	18
1.7.2.2	Công thức tính điện dung của tụ điện phẳng	19
1.7.3	Ghép tụ điện	19
1.7.3.1	Ghép song song	19
1.7.3.2	Ghép nối tiếp	20
1.7.4	Chai Leiden – Leiden/Leyden jar	20
1.8	Năng Lượng Điện Trường	20
1.8.1	Năng lượng của tụ điện	20
1.8.1.1	Nhận xét	20
1.8.1.2	Công thức tính năng lượng của tụ điện	20
1.8.2	Năng lượng điện trường	21
1.8.3	Năng lượng & công suất phóng điện của tụ điện	21
1.9	Bài Tập về Tụ Điện	21
1.10	Máy Sao Chụp Quang Học (Photocopy)	21
1.11	Tóm Tắt Chương 1	22
1.11.1	Định luật Coulomb	22
1.11.2	Điện trường	22
1.11.3	Công của lực điện & hiệu điện thế	22
1.11.4	Tụ điện	22
2	Dòng Điện Không Đổi	23
2.1	Dòng Điện Không Đổi. Nguồn Điện	23
2.1.1	Dòng điện. Các tác dụng của dòng điện	23
2.1.2	Cường độ dòng điện. Định luật Ôm	23
2.1.2.1	Định nghĩa	23
2.1.2.2	Định luật Ôm đối với đoạn mạch chỉ chứa điện trở R	23
2.1.2.3	Đặc tuyến vôn–ampe	24
2.1.3	Nguồn điện	24
2.1.4	Suất điện động của nguồn điện	25
2.2	Pin & Acquy	26
2.3	Điện Năng & Công Suất Điện. Định Luật Jun–Len-xơ	26
2.4	Định Luật Ôm Đối với Toàn Mạch	26
2.5	Định Luật Ôm Đối với Các Loại Mạch Điện. Mắc Các Nguồn Điện Thành Bộ	26
2.6	Bài Tập về Định Luật Ôm & Công Suất Điện	26
2.7	Điện Tâm Đồ	26
2.8	Thực Hành: Đo Suất Điện Động & Điện Trở Trong của Nguồn Điện	26
2.9	Tóm Tắt Chương 2	26
3	Dòng Điện Trong Các Môi Trường	27
3.1	Dòng Điện Trong Kim Loại	27
3.2	Hiện Tượng Nhiệt Điện. Hiện Tượng Siêu Dẫn	27
3.3	Dòng Điện Trong Chất Điện Phân. Định Luật Faraday	27
3.4	Bài Tập về Dòng Điện Trong Kim Loại & Chất Điện Phân	27
3.5	Dòng Điện Trong Chân Không	27
3.6	Dòng Điện Trong Chất Khí	27
3.7	Dòng Điện Trong Chất Bán Dẫn	27
3.8	Linh Kiện Bán Dẫn	27
3.9	Thực Hành: Khảo Sát Đặc Tính Chỉnh Lưu của Diot Bán Dẫn & Đặc Tính Khuếch Đại của Tranzito	27
3.10	Tóm Tắt Chương 3	27
4	Từ Trường	28
4.1	Từ Trường	28
4.2	Phương & Chiều của Lực Từ Tác Dụng Lên Dòng Điện	28
4.3	Cảm Ứng Từ. Định Luật Ampe	28
4.4	Từ Trường của 1 Số Dòng Điện Có Dạng Đơn Giản	28

4.5	Bài Tập về Từ Trường	28
4.6	Tương Tác Giữa 2 Dòng Điện Thẳng Song Song. Định Nghĩa Đơn Vị Ampe	28
4.7	Lực Lo-ren-xơ	28
4.8	Khung Dây có Dòng Điện Đặt trong Từ Trường	28
4.9	Sự Từ Hóa Các Chất. Sắt Từ	28
4.10	Từ Trường Trái Đất	28
4.11	Bài Tập về Lực Từ	28
4.12	Từ Trường & Máy Gia Tốc	28
4.13	Thực Hành: Xác Định Thành Phần Năm Ngang của Từ Trường Trái Đất	28
4.14	Tóm Tắt Chương 4	28
5	Cảm Ứng Điện Từ	29
5.1	Hiện Tượng Cảm Ứng Điện Từ. Suất Điện Động Cảm Ứng	29
5.2	Suất Điện Động Cảm Ứng Tron 1 Đoạn Dây Dẫn Chuyển Động	29
5.3	Dòng Điện Fu-cô	29
5.4	Hiện Tượng Tự Cảm	29
5.5	Năng Lượng Từ Trường	29
5.6	Bài Tập về Cảm Ứng Điện Từ	29
5.7	1 Số Mốc Thời Gian Đáng Lưu Ý Trong Lĩnh Vực Điện Tử	29
5.8	Tóm Tắt Chương 5	29
II	Quang Hình Học	30
6	Khúc Xạ Ánh Sáng	31
6.1	Khúc Xạ Ánh Sáng	31
6.2	Phản Xạ Toàn Phần	31
6.3	Bài Tập về Khúc Xạ Ánh Sáng & Phản Xạ Toàn Phần	31
6.4	Bài Đọc Thêm. Hiện Tượng Ảo Ảnh	31
6.5	Tóm Tắt Chương 6	31
7	Mắt. Các Dụng Cụ Quang	32
7.1	Lăng Kính	32
7.2	Thấu Kính Mỏng	32
7.3	Bài Tập về Lăng Kính & Thấu Kính Mỏng	32
7.4	Mắt	32
7.5	Các Tật của Mắt & Cách Khắc Phục	32
7.6	Kính Lúp	32
7.7	Kính Hiển Vi	32
7.8	Kính Thiên Văn	32
7.9	Bài Tập về Dụng Cụ Quang	32
7.10	Thực Hành: Xác Định Chiết Suất của Nước & Tiêu Cự của Thấu Kính Phân Kỳ	32
7.11	Tóm Tắt Chương 7	32
	Tài liệu tham khảo	33

Phần I

Điện Học – Điện Từ Học

“Phần Điện học – Điện từ học đề cập đến các hiện tượng liên quan đến tương tác giữa các điện tích đứng yên & chuyển động, gọi chung là *hiện tượng điện từ* & các quy luật chi phối các hiện tượng này. Các hiện tượng điện từ rất phổ biến trong tự nhiên, rất phong phú & đa dạng. Chúng được ứng dụng rộng rãi trong khoa học & kỹ thuật, cũng như trong cuộc sống.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 3

Chương 1

Điện Tích – Điện Trường

Nội dung. Định luật tương tác giữa các điện tích điểm (định luật Coulomb), điện trường, cường độ điện trường của điện tích điểm, hiệu điện thế, điện thế & công của lực điện, năng lượng điện trường, tụ điện, ghép tụ điện.

1.1 Điện Tích. Định Luật Coulomb

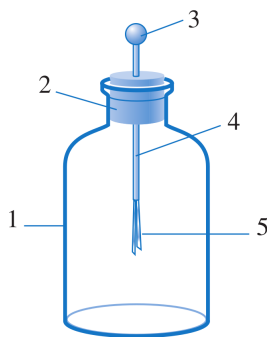
Nội dung. 1 số khái niệm mở đầu về điện tích (điện tích dương, điện tích âm, sự nhiễm điện của các vật) & về định luật tương tác giữa 2 điện tích.

1.1.1 2 loại điện tích. Sự nhiễm điện của các vật

1.1.1.1 2 loại điện tích

“Có 2 loại điện tích: điện tích dương, điện tích âm. Các điện tích cùng dấu thì đẩy nhau, các điện tích khác dấu thì hút nhau. Đơn vị điện tích là coulomb¹, ký hiệu là C. Điện tích của electron là điện tích âm & có độ lớn $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C. 1 điện tích $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C được gọi là *điện tích nguyên tố*. Thí nghiệm đã chứng tỏ rằng, trong tự nhiên không có hạt nào có điện tích nhỏ hơn điện tích nguyên tố. Độ lớn của điện tích 1 hạt bao giờ cũng bằng 1 số nguyên lần điện tích nguyên tố.

Dựa vào sự tương tác giữa các điện tích cùng dấu người ta chế tạo ra điện nghiệm.



Hình 1.1: Điện nghiệm. 1. Bình thủy tinh; 2. Nút cách điện; 3. Nút kim loại; 4. Thanh kim loại; 5. 2 lá kim loại nhẹ. Khôi, Thuần, et al., 2013, Hình 1.1, p. 6

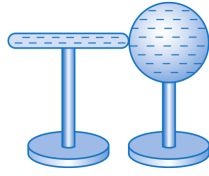
Điện nghiệm dùng để phát hiện điện tích ở 1 vật. Khi 1 vật nhiễm điện chạm vào núm kim loại, thì điện tích truyền đến 2 lá kim loại (nhiễm điện do tiếp xúc). Do đó, 2 lá kim loại đẩy nhau & xòe ra.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 6

1.1.1.2 Sự nhiễm điện của các vật

1.1.1.2.1 Nhiễm điện do cọ xát. “Sau khi cọ xát vào lụa, thanh thủy tinh có thể hút được các mảnh giấy vụn (Khôi, Thuần, et al., 2013, Hình 1.2: Thanh thủy tinh nhiễm điện hút các mảnh giấy, p. 6). Người ta nói thanh thủy tinh được *nhiễm điện do cọ xát*.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 6

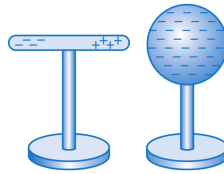
¹CHARLES COULOMB (1736–1806), nhà vật lý người Pháp. Có thể đọc thêm [Wikipedia/Charles-Augustin de Coulomb](#) & [Charles-Augustin de Coulomb](#).

1.1.1.2.2 Nhiễm điện do tiếp xúc. “Cho thanh kim loại không nhiễm điện chạm vào quả cầu đã nhiễm điện thì thanh kim loại nhiễm điện cùng dấu với điện tích của quả cầu (Fig. 1.2). Người ta nói thanh kim loại được *nhiễm điện do tiếp xúc*. Đưa thanh kim loại ra xa quả cầu thì thanh kim loại vẫn nhiễm điện.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 7



Hình 1.2: Nhiễm điện do tiếp xúc, Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 1.3, p. 7.

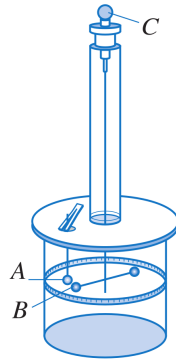
1.1.1.2.3 Nhiễm điện do hưởng ứng. “Đưa thanh kim loại không nhiễm điện đến gần quả cầu đã nhiễm điện nhưng không chạm vào quả cầu, thì 2 đầu thanh kim loại được nhiễm điện. Đầu gần quả cầu hơn nhiễm điện trái dấu với điện tích của quả cầu, đầu xa hơn nhiễm điện cùng dấu (Fig. 1.3). Đưa thanh kim loại ra xa quả cầu thì thanh kim loại trở về trạng thái không nhiễm điện như lúc đầu.” “1 vật được nhiễm điện cũng gọi là vật được tích điện.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 7



Hình 1.3: Nhiễm điện do hưởng ứng, Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 1.4, p. 7.

1.1.2 Định luật Coulomb

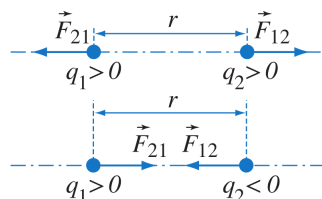
“Coulomb đã dùng chiếc cân xoắn (Fig. 1.4) để khảo sát lực tương tác giữa 2 quả cầu nhiễm điện tích có kích thước nhỏ so với khoảng cách giữa chúng. Các vật nhiễm điện có kích thước nhỏ như vậy gọi là các *điện tích điểm*.”



Hình 1.4: Cân xoắn Coulomb, Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 1.5, p. 7. Khoảng cách giữa 2 quả cầu A, B được điều chỉnh nhờ chiếc núm xoay C của cân. Độ xoắn của sợi dây treo cho phép ta xác định lực tương tác giữa 2 quả cầu.

Năm 1785, Coulomb tổng kết các kết quả thí nghiệm của mình & nêu thành định luật sau đây gọi là *định luật Coulomb*:

Định luật 1.1.1 (Định luật Coulomb). *Độ lớn của lực tương tác giữa 2 điện tích điểm tỷ lệ thuận với tích các độ lớn của 2 điện tích đó & tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng. Phương của lực tương tác giữa 2 điện tích điểm là đường thẳng nối 2 điện tích điểm đó. 2 điện tích cùng dấu thì đẩy nhau, 2 điện tích trái dấu thì hút nhau (Fig. 1.5).*



Hình 1.5: Phương & chiều của lực tương tác giữa 2 điện tích điểm, Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 1.6, p. 7.

Lực tương tác giữa 2 điện tích gọi là *lực điện*, hay cũng gọi là *lực Coulomb*.” – Khôi, Thuần, et al., **2013**, p. 7
 “Công thức tính độ lớn của lực tương tác giữa 2 điện tích điểm:

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}, \quad (1.1.1)$$

r là khoảng cách giữa 2 điện tích điểm q_1, q_2 ; k là hệ số tỷ lệ phụ thuộc vào hệ đơn vị. Trong hệ SI, $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$.” – Khôi, Thuần, et al., **2013**, p. 8

“Lực tương tác giữa 2 điện tích điểm đứng yên (lực Coulomb): *Điểm đặt*: điện tích. *Phương*: đường thẳng nối 2 điện tích. *Chiều*: lực đẩy nếu $q_1 q_2 > 0$, lực hút nếu $q_1 q_2 < 0$. *Độ lớn*: tỷ lệ thuận với tích các độ lớn điện tích, tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa các điện tích. $F = \frac{k}{\epsilon} \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$ ($F = F_{12} = F_{21}$) với q : coulomb (C), r : mét (m), F : Newton (N). $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$ (ϵ_0 = hằng số điện), ϵ = hằng số điện môi của môi trường ($\epsilon \geq 1$) (chân không: $\epsilon = 1$; không khí: $\epsilon \approx 1$). Định luật Coulomb chỉ áp dụng được cho: • Các điện tích điểm; • Các điện tích phân bố đều trên những vật dẫn hình cầu (coi như điện tích điểm ở tâm).” – Hân et al., **2006**, p. 5–6

1.1.3 Lực tương tác của các điện tích trong điện môi (chất cách điện)

“Thí nghiệm chứng tỏ rằng, lực tương tác giữa các điện tích điểm đặt trong điện môi đồng tính, chiếm đầy không gian xung quanh điện tích, giảm đi ϵ lần so với khi chúng được đặt trong chân không.

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{\epsilon r^2}. \quad (1.1.2)$$

Đại lượng ϵ chỉ phụ thuộc vào tính chất của điện môi mà không phụ thuộc vào độ lớn các điện tích & khoảng cách giữa các điện tích. ϵ được gọi là *hằng số điện môi*.

Người ta quy ước hằng số điện môi của chân không bằng 1. Trong bảng 1.1, ta chú ý hằng số điện môi của không khí gần bằng 1. Thí nghiệm Coulomb được tiến hành trong không khí, nhưng vì hằng số điện môi của không khí gần bằng 1 nên kết quả của thí nghiệm cũng được coi là đúng cả trong chân không.” – Khôi, Thuần, et al., **2013**, p. 8

Chất	Hằng số điện môi
Thủy tinh	$5 \div 10$
Sứ	5.5
Êbônit	2.7
Cao su	2.3
Nước nguyên chất	81.0
Dầu hỏa	2.1
Không khí	1.000594

Bảng 1.1: Hằng số điện môi của 1 số chất, Khôi, Thuần, et al., **2013**, Bảng 1.1, p. 8.

1.1.4 Máy lọc bụi

“Sơ đồ của máy lọc bụi được trình bày trên Khôi, Thuần, et al., **2013**, Hình 1.8: Sơ đồ máy lọc bụi, p. 9. Không khí có nhiều bụi được quạt vào máy qua lớp lọc bụi thông thường. Tại đây, các hạt bụi có kích thước lớn bị gạt lại. Dòng không khí có lẫn các hạt bụi kích thước nhỏ vẫn bay lên. 2 lưới 1 & 2 thực chất là 2 điện cực: lưới 1 là điện cực dương, lưới 2 là điện cực âm. Khi bay qua lưới 1 các hạt bụi nhiễm điện dương. Do đó, khi gặp lưới 2 nhiễm điện âm, các hạt bụi bị hút vào lưới. Vì vậy, khi qua lưới 2, không khí đã được lọc sạch bụi. Sau đó có thể cho không khí đi qua lớp lọc bằng than để khử mùi. Bằng cách này có thể lọc đến 95% bụi trong không khí. Máy lọc bụi là 1 ứng dụng của lực tương tác giữa các điện tích. Ngoài ra, lực tương tác giữa các điện tích còn có nhiều ứng dụng khác trong công nghiệp cũng như trong đời sống. E.g., kỹ thuật sơn tĩnh điện là 1 trong những ứng dụng đó. Muốn sơn vỏ xe ô tô, người ta làm cho sơn & vỏ xe nhiễm điện trái dấu nhau. Khi sơn được phun vào vỏ xe, thì các hạt sơn nhỏ li ti sẽ bị hút & bám chặt vào mặt vỏ xe.” – Khôi, Thuần, et al., **2013**, p. 9

1.2 Thuyết Electron. Định Luật Bảo Toàn Điện Tích

1.2.1 Thuyết electron

“Thuyết dựa vào sự có mặt của electron & chuyển động của chúng để giải thích 1 số hiện tượng điện từ gọi là *thuyết electron*. Thuyết electron trong phạm vi giải thích tính dẫn điện hay cách điện & sự nhiễm điện của các vật gồm 1 số nội dung chính như sau:

- Bình thường tổng đại số tất cả các điện tích trong nguyên tử bằng không, nguyên tử trung hòa về điện (Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 2.1: Mô hình đơn giản của nguyên tử liti, p. 10).

Nếu nguyên tử bị mất đi 1 số electron thì tổng đại số các điện tích trong nguyên tử là 1 số dương, nó là 1 *ion dương*. Ngược lại, nếu nguyên tử nhận thêm 1 số electron thì nó là *ion âm* (Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 2.2: Mô hình đơn giản của nguyên tử liti. (a) ion dương liti; (b) ion âm liti, p. 10).

- Khối lượng của electron rất nhỏ nên độ linh động của electron rất lớn. Vì vậy, do 1 số điều kiện nào đó (cọ xát, tiếp xúc, nung nóng, ...) 1 số electron có thể bứt ra khỏi nguyên tử, di chuyển trong vật hay di chuyển từ vật này sang vật khác. Electron di chuyển từ vật này sang vật khác làm cho các vật *nhễm điện*. Vật nhiễm điện âm là vật thừa electron, vật nhiễm điện dương là vật thiếu electron.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 10

“Nhiều trường hợp lẽ ra phải nói “hạt mang điện” hay “vật mang điện” thì người ta lại quen nói gọn là “điện tích”. Ngoài ra, thuật ngữ “điện tích” nhiều khi được dùng với ý nghĩa là điện lượng.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 10

1.2.2 Vật (chất) dẫn điện & vật (chất) cách điện

“Xét về tính dẫn điện của môi trường, người ta phân biệt vật dẫn điện (vật dẫn) với vật cách điện (điện môi). *Vật dẫn điện* là những vật có nhiều hạt mang điện có thể di chuyển được trong những khoảng lớn hơn nhiều lần kích thước phân tử của vật. Những hạt đó gọi là các *điện tích tự do*. Kim loại có nhiều electron tự do, các dung dịch muối, axit, bazơ có nhiều ion tự do. Chúng là những chất dẫn điện. Những vật có chứa rất ít điện tích tự do là những *vật điện môi*. Thủy tinh, nước nguyên chất, không khí khô, ... có rất ít điện tích tự do. Chúng là những điện môi.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, pp. 10–11

1.2.3 Giải thích 3 hiện tượng nhiễm điện

1.2.3.1 Nhiễm điện do cọ xát

“Nếu có những điểm tiếp xúc chặt chẽ giữa thanh thủy tinh & mảnh lụa, thì ở những điểm đó có 1 số electron từ thủy tinh di chuyển sang lụa. Khi thanh thủy tinh cọ xát với lụa thì số điểm tiếp xúc chặt chẽ tăng lên rất lớn. Do đó số electron di chuyển từ thủy tinh sang lụa cũng tăng lên. Vì vậy, thanh thủy tinh nhiễm điện dương, mảnh lụa nhiễm điện âm (Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 2.3: Nhiễm điện do cọ xát, p. 11).” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 11

1.2.3.2 Nhiễm điện do tiếp xúc

“Khi thanh kim loại trung hòa điện tiếp xúc với quả cầu nhiễm điện âm, thì 1 phần trong số electron thừa ở quả cầu di chuyển sang thanh kim loại. Vì thế thanh kim loại cũng thừa electron. Do đó, thanh kim loại nhiễm điện âm (Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 2.4: Nhiễm điện do tiếp xúc, p.11). Ngược lại, nếu thanh kim loại trung hòa điện tiếp xúc với quả cầu nhiễm điện dương, thì 1 số electron tự do từ thanh kim loại sẽ di chuyển sang quả cầu. Vì thế thanh kim loại trở thành thiếu electron. Do đó, thanh kim loại nhiễm điện dương.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 11

1.2.3.3 Nhiễm điện do hưởng ứng

“Thanh kim loại trung hòa điện đặt gần quả cầu nhiễm điện âm, thì các electron tự do trong thanh kim loại bị đẩy ra xa quả cầu. Do đó, đầu thanh kim loại xa quả cầu thừa electron, nên nhiễm điện âm. Đầu thanh kim loại gần quả cầu thiếu electron, nên nhiễm điện dương (Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 2.5: Nhiễm điện do hưởng ứng, p.11). Thanh kim loại đặt gần quả cầu nhiễm điện dương, thì electron tự do trong thanh kim loại bị hút lại gần quả cầu. Do đó, đầu thanh gần quả cầu thừa electron nên nhiễm điện âm, còn đầu kia thiếu electron nên nhiễm điện dương. Vậy thực chất của sự nhiễm điện do hưởng ứng là sự phân bố lại điện tích trong thanh kim loại.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, pp. 11–12

1.2.4 Định luật bảo toàn điện tích

Định luật 1.2.1 (Định luật bảo toàn điện tích). *Ở 1 hệ vật cô lập về điện, i.e., hệ không trao đổi điện tích với các hệ khác, thì tổng đại số các điện tích trong hệ là 1 hằng số.*

“1 vật nào đó trong hệ được nhiễm điện không có nghĩa là điện tích được sinh ra mà là các định tích âm & dương được tách ra & được phân bố lại trong nội bộ hệ vật. Cho đến nay, định luật bảo toàn điện tích đã được kiểm nghiệm trong nhiều điều kiện khác nhau, nhưng người ta chưa gặp 1 trường hợp nào cho thấy định luật này không được thỏa mãn.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 12. “Trong 1 hệ kín, tổng các điện tích của hệ bảo toàn: $\sum_i q_i = \text{const.}$ ” – Hân et al., 2006, p. 5

1.2.5 Problems

Bài toán 1.2.1 (Hân et al., 2006, Bài toán 1, p. 6). “Xác định các đại lượng liên quan đến lực tương tác giữa 2 điện tích điểm đứng yên.”

“Áp dụng công thức $F = \frac{k}{\epsilon} \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$ để suy ra giá trị của đại lượng cần xác định. 1 số hiện tượng cần để ý:

- Khi cho 2 quả cầu nhỏ dẫn điện như nhau, đã nhiễm điện tiếp xúc nhau & sau đó tách rời nhau thì tổng điện tích chia đều cho mỗi quả cầu.
- Hiện tượng cũng xảy ra tương tự khi nối 2 quả cầu như trên bằng dây dẫn mảnh rồi cắt bỏ dây nối.
- Khi chạm tay vào 1 quả cầu nhỏ dẫn điện đã tích điện thì quả cầu mất điện tích & trở thành trung hòa.” – Hân et al., 2006, p. 7

Bài toán 1.2.2 (Hân et al., 2006, 1.1., p. 7). 2 quả cầu kim loại giống nhau, mang các điện tích q_1, q_2 , đặt trong không khí, cách nhau 1 đoạn $R = 20\text{cm}$. Chúng hút nhau bằng lực $F = 3.6 \cdot 10^{-4}\text{N}$. Cho 2 quả cầu tiếp xúc nhau rồi lại đưa về khoảng cách cũ, chúng đẩy nhau bằng lực $F' = 2.025 \cdot 10^{-4}\text{N}$. Tính q_1, q_2 .

Không cho giá trị cụ thể, 1 tổng quát của bài toán trên:

Bài toán 1.2.3. 2 quả cầu kim loại giống nhau, mang các điện tích q_1, q_2 , đặt trong không khí, cách nhau 1 đoạn $R\text{ m}$, $R > 0$. Chúng hút nhau bằng lực $F\text{ N}$, $F > 0$. Cho 2 quả cầu tiếp xúc nhau rồi lại đưa về khoảng cách cũ, chúng đẩy nhau bằng lực $F'\text{ N}$, $F' > 0$. Tính q_1, q_2 (theo R, F, F' đã cho).

Giải. Ban đầu, F là lực hút, q_1 & q_2 trái dấu: $q_1 q_2 < 0$. Sử dụng định luật Coulomb 1.1.1, (1.1.1) cho $F = k \frac{|q_1 q_2|}{R^2} = -k \frac{q_1 q_2}{R^2}$, hay $q_1 q_2 = -\frac{FR^2}{k} \text{ C}^2$. Cho 2 quả cầu tiếp xúc, điện tích trên các quả cầu được phân bố lại. Vì các quả cầu giống nhau nên các điện tích của chúng bằng nhau: $q'_1 = q'_2$. Theo định luật bảo toàn điện tích 1.2.1: $q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2}$. Vậy $F' = k \frac{|q'_1 q'_2|}{R^2} = k \frac{(q_1 + q_2)^2}{4R^2}$, hay $(q_1 + q_2)^2 = \frac{4F'R^2}{k} \text{ C}^2$, hay $|q_1 + q_2| = 2R\sqrt{\frac{F'}{k}} \text{ C}$. Vì q_1, q_2 trái dấu nên chưa biết được dấu của tổng $q_1 + q_2$. Kết hợp những điều thu được cho hệ phương trình:

$$\begin{cases} |q_1 + q_2| = 2R\sqrt{\frac{F'}{k}} \text{ (C)}, \\ q_1 q_2 = -\frac{FR^2}{k} \text{ (C}^2\text{)}. \end{cases}$$

Xét 2 trường hợp sau tương ứng với dấu của $q_1 + q_2$:

- Trường hợp 1: $q_1 + q_2 = 2R\sqrt{\frac{F'}{k}} \text{ C}$. Khi đó, theo định lý Viète, q_1, q_2 là 2 nghiệm của phương trình bậc 2: $x^2 - 2R\sqrt{\frac{F'}{k}}x - \frac{FR^2}{k} = 0$. Biệt thức rút gọn $\Delta' = \frac{R^2(F+F')}{k} > 0$ (vì $F, F', k > 0$), phương trình có 2 nghiệm thực là $q_{1,2} = R\left(\sqrt{\frac{F'}{k}} \pm \sqrt{\frac{F+F'}{k}}\right)$.
- Trường hợp 2: $q_1 + q_2 = -2R\sqrt{\frac{F'}{k}} \text{ C}$. Tương tự như trường hợp 1, q_1, q_2 là 2 nghiệm của phương trình bậc 2: $x^2 + 2R\sqrt{\frac{F'}{k}}x - \frac{FR^2}{k} = 0$. Biệt thức rút gọn $\Delta' = \frac{R^2(F+F')}{k} > 0$ (vì $F, F', k > 0$), phương trình có 2 nghiệm thực là $q_{1,2} = -R\left(\sqrt{\frac{F'}{k}} \pm \sqrt{\frac{F+F'}{k}}\right)$.

Vậy (q_1, q_2) có thể bằng 1 trong 4 cặp giá trị:

$$\left(R\left(\sqrt{\frac{F'}{k}} + \sqrt{\frac{F+F'}{k}}\right), R\left(\sqrt{\frac{F'}{k}} - \sqrt{\frac{F+F'}{k}}\right)\right), \left(R\left(\sqrt{\frac{F'}{k}} - \sqrt{\frac{F+F'}{k}}\right), R\left(\sqrt{\frac{F'}{k}} + \sqrt{\frac{F+F'}{k}}\right)\right), \\ \left(-R\left(\sqrt{\frac{F'}{k}} + \sqrt{\frac{F+F'}{k}}\right), -R\left(\sqrt{\frac{F'}{k}} - \sqrt{\frac{F+F'}{k}}\right)\right), \left(-R\left(\sqrt{\frac{F'}{k}} - \sqrt{\frac{F+F'}{k}}\right), -R\left(\sqrt{\frac{F'}{k}} + \sqrt{\frac{F+F'}{k}}\right)\right). \quad \square$$

Với $R = 0.2\text{ m}$, $F = 3.6 \cdot 10^{-4}\text{N}$, $F' = 2.025 \cdot 10^{-4}\text{N}$, bài toán trên trở thành Hân et al., 2006, 1.1, p. 7. Thay số vào kết quả vừa thu được, ta được (q_1, q_2) có thể là 1 trong 4 cặp giá trị sau: $(\pm 8 \cdot 10^{-8}, \mp 2 \cdot 10^{-8})$, $(\pm 2 \cdot 10^{-8}, \mp 8 \cdot 10^{-8})$.

Bài toán 1.2.4 (Hân et al., 2006, 1.2., p. 9). 2 điện tích điểm đặt trong không khí, cách nhau khoảng $R = 20\text{ cm}$. Lực tương tác tĩnh điện giữa chúng có 1 giá trị nào đó. Khi đặt trong dầu, ở cùng khoảng cách, lực tương tác tĩnh điện giữa chúng giảm 4 lần. Hỏi khi đặt trong dầu, khoảng cách giữa các điện tích phải là bao nhiêu để lực tương tác giữa chúng bằng lực tương tác ban đầu trong không khí.

Không cho giá trị cụ thể, 1 tổng quát của bài toán trên:

Bài toán 1.2.5. 2 điện tích điểm đặt trong không khí, cách nhau khoảng R m. Lực tương tác tĩnh điện giữa chúng có 1 giá trị nào đó. Khi đặt trong dầu, ở cùng khoảng cách, lực tương tác tĩnh điện giữa chúng giảm n lần. Hỏi khi đặt trong dầu, khoảng cách giữa các điện tích phải là bao nhiêu để lực tương tác giữa chúng bằng lực tương tác ban đầu trong không khí.

Giải. Đặt F, F' lần lượt là độ lớn của lực tương tác tĩnh điện giữa 2 điện tích q_1, q_2 khi chúng được đặt cách nhau khoảng R trong không khí & dầu. Sử dụng định luật Coulomb 1.1.1, (1.1.1) cho $F = k \frac{|q_1 q_2|}{R^2}$, $F' = k \frac{|q_1 q_2|}{\varepsilon R^2}$. Suy ra $\frac{F'}{F} = \frac{1}{\varepsilon}$, kết hợp với giả thiết, suy ra $\varepsilon = n$. Đặt r' là khoảng cách trong dầu của 2 điện tích để lực tương tác tĩnh điện vẫn như trong không khí lúc chúng cách nhau khoảng r , $F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2} = k \frac{|q_1 q_2|}{\varepsilon (r')^2}$, suy ra $r' = \frac{r}{\sqrt{\varepsilon}}$. \square

1.3 Điện Trường

1.3.1 Điện trường

1.3.1.1 Khái niệm điện trường

“1 vật tác dụng lực hấp dẫn lên các vật khác ở gần nó vì xung quanh vật đó có trường hấp dẫn. Ở đây ta cũng có hiện tượng tương tự. 1 điện tích tác dụng lực điện lên các điện tích khác ở gần nó. Ta nói, xung quanh điện tích có điện trường. Các điện tích tương tác được với nhau là vì điện trường của điện tích này tác dụng lên điện tích kia. Hiện nay, khoa học chứng tỏ những điều trên là đúng.” “Con cá mập đầu búa có thể nhận biết được điện trường.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 13

1.3.1.2 Tính chất cơ bản của điện trường

“Tính chất cơ bản của điện trường là nó tác dụng lực điện lên điện tích đặt trong nó. 1 vật có kích thước nhỏ, mang 1 điện tích nhỏ, được dùng để phát hiện lực tác dụng lên nó gọi là *điện tích thử*. Người ta dùng điện tích thử để nhận biết điện trường.” “Trong Khôi, Thuần, et al., 2013, Chap. 1, ta chỉ xét điện trường của các điện tích đứng yên đối với nhau, i.e., *điện trường tĩnh*, gọi tắt là *điện trường*.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 13

1.3.2 Cường độ điện trường

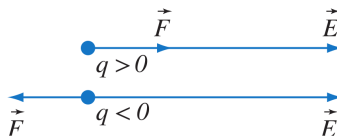
“Giả sử ta có 1 số điện tích thử q_1, q_2, q_3, \dots . Đặt lần lượt các điện tích này tại 1 điểm nhất định trong điện trường & xác định các lực $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots$ tác dụng lên chúng. Thí nghiệm cho biết các lực $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots$ có độ lớn khác nhau, nhưng các thương số dạng $\frac{F}{|q|}$ thì bằng nhau. Nếu để ý đến cả chiều của các lực tác dụng lên các điện tích thử thì các thương dạng $\frac{\vec{F}}{q}$ cũng không đổi, i.e., $\frac{\vec{F}_i}{q_i} = \text{const}, i \in \mathbb{N}$. Làm thí nghiệm ở các điểm khác nhau thì các thương $\frac{\vec{F}}{q}$ là khác nhau. Thương $\frac{\vec{F}}{q}$ đặc trưng cho điện trường ở điểm đang xét về mặt tác dụng lực gọi là *cường độ điện trường* & ký hiệu là \vec{E} .

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}. \quad (1.3.1)$$

Trong trường hợp đã biết cường độ điện trường, thì từ công thức (1.3.1) suy ra:

$$\vec{F} = q\vec{E}. \quad (1.3.2)$$

Từ (1.3.2) ta thấy nếu $q > 0$ thì \vec{F} cùng chiều với \vec{E} (Fig. 1.6), ngược lại nếu $q < 0$ thì \vec{F} ngược chiều với \vec{E} (Fig. 1.6).



Hình 1.6: Chiều của lực điện tác dụng lên điện tích, Khôi, Thuần, et al., 2013, Hình 3.1, p. 14.

Trong hệ SI, đơn vị cường độ điện trường có thể là Newton trên Coulomb, nhưng thường dùng đơn vị Von trên mét, ký hiệu là V/m. “Cường độ điện trường (\vec{E}) là đại lượng vector, nhưng nhiều khi người ta cũng gọi độ lớn của \vec{E} , ký hiệu $E := |\vec{E}|$, là cường độ điện trường.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 14

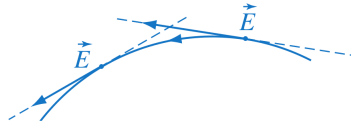
1.3.3 Đường sức điện

1.3.3.1 Định nghĩa

“Có nhiều cách mô tả điện trường. Cách mô tả có tính trực quan rõ rệt là dùng cách vẽ các đường sức điện.

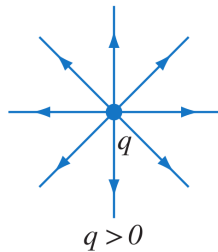
Định nghĩa 1.3.1 (Đường sức điện). Đường sức điện là đường được vẽ trong điện trường sao cho tiếp tuyến tại bất kỳ điểm nào trên đường cũng trùng với phương của vector cường độ điện trường tại điểm đó.

Tuy nhiên, trong thực tế người ta thường quy định cho đường sức 1 chiều đi sao cho chiều của đường sức & chiều của vector cường độ điện trường tại các điểm trên đường là trùng nhau. Khi đó, ta hiểu các đường sức là các đường có chiều xác định (Fig. 1.7)

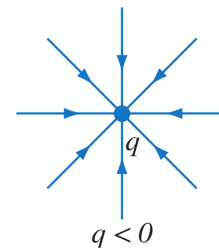


Hình 1.7: Đường sức điện & vector cường độ điện trường, Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 3.2, p. 15.

Các đường sức điện của 1 điện tích điểm & của hệ 2 điện tích điểm được trình bày trên Figs. 1.8–1.9.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, pp. 14–15

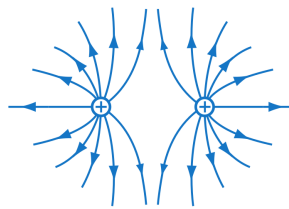


(a) Đường sức của 1 điện tích điểm dương.

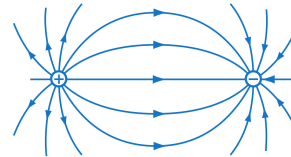


(b) Đường sức của 1 điện tích điểm âm.

Hình 1.8: Đường sức của 1 điện tích điểm, Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 3.3, p. 15.



(a) 2 điện tích điểm dương.



(b) 2 điện tích trái dấu.

Hình 1.9: Đường sức của hệ 2 điện tích điểm, Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 3.4, p. 15.

1.3.3.2 Các tính chất của đường sức điện

“Các đường sức điện có 1 số tính chất sau đây:

- Tại mỗi điểm trong điện trường, ta có thể vẽ được 1 & chỉ 1 đường sức điện đi qua.
- Các đường sức điện là các đường cong không kín. Nó xuất phát từ các điện tích dương & tận cùng ở các điện tích âm (hoặc ở vô cực). Trong trường hợp chỉ có 1 điện tích, thì các đường sức xuất phát từ điện tích dương ra vô cực, hoặc từ vô cực đến điện tích âm (Fig. 1.8).
- Nơi nào cường độ điện trường lớn hơn thì các đường sức điện ở đó được vẽ mau hơn (dày hơn), nơi nào cường độ điện trường nhỏ hơn thì các đường sức điện ở đó được vẽ thưa hơn. E.g., trên các Figs. 1.8–1.9, ở nơi gần điện tích, các đường sức điện mau hơn nơi xa điện tích.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 15

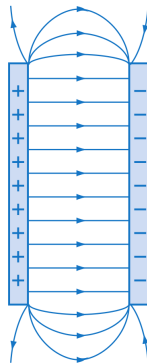
1.3.3.3 Điện phổ

“Dùng 1 loại bột cách điện rắc vào dầu cách điện & khuấy đều. Sau đó đặt 1 quả cầu nhỏ nhiễm điện vào trong dầu. Gõ nhẹ vào khay dầu thì các hạt bột sẽ sắp xếp thành các “đường hạt bột”. Ta gọi hệ các “đường hạt bột” đó là *điện phổ* của quả cầu nhiễm điện. Điện phổ cho phép ta hình dung dạng & sự phân bố các đường sức điện. Đường sức điện vẽ trong các Figs. 1.8–1.9 tương ứng với các điện phổ ở Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 3.5: Điện phổ của 1 quả cầu nhiễm điện & Hình 3.6: Điện phổ của 2 quả cầu nhiễm điện cùng & trái dấu, p. 16

1.3.4 Điện trường đều

Định nghĩa 1.3.2 (Điện trường đều). *1 điện trường mà vector cường độ điện trường tại mọi điểm đều bằng nhau gọi là điện trường đều.*

Theo tính chất của đường sức, ta suy ra các đường sức của điện trường đều là các đường thẳng song song & cách đều nhau. Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 3.7: Điện phổ của điện trường ở giữa 2 tấm kim loại phẳng, rộng, song song, mang điện tích trái dấu, có độ lớn bằng nhau, p. 16 cho biết điện phổ của 2 tấm kim loại phẳng, rộng, song song, mang điện tích trái dấu, có độ lớn bằng nhau. Ở rìa của 2 tấm kim loại, các “đường hạt bột” là các đường cong, còn ở giữa 2 tấm, các “đường hạt bột” song song & cách đều nhau. Dựa vào điện phổ, ta có thể nói điện trường giữa 2 tấm kim loại là *điện trường đều*. Đường sức của điện trường này được vẽ trên Fig. 1.10.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 16



Hình 1.10: Các đường sức ở giữa 2 tấm kim loại phẳng, rộng, song song, mang điện tích trái dấu, có độ lớn bằng nhau. Các đường sức này song song với nhau & cách đều nhau, Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 3.8, p. 16.

1.3.5 Điện trường của 1 điện tích điểm

“2 điện tích điểm q, Q đặt cách nhau 1 khoảng r trong chân không thì lực Coulomb tác dụng lên điện tích q được viết dưới dạng:

$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{|qQ|}{r^2}.$$

Từ công thức (1.3.1) ta suy ra cường độ điện trường của điện tích điểm Q tại 1 điểm là:

$$E = 9 \cdot 10^9 \frac{|Q|}{r^2}, \quad (1.3.3)$$

r là khoảng cách từ điểm khảo sát đến điện tích Q . Nếu $Q > 0$ thì cường độ điện trường hướng ra xa điện tích Q (Fig. 1.11a), nếu $Q < 0$ thì cường độ điện trường hướng về phía điện tích Q (Fig. 1.11b).” – Khôi, Thuận, et al., 2013, pp. 16–17



Hình 1.11: Chiều của vector cường độ điện trường của điện tích điểm phụ thuộc vào dấu của điện tích, Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 3.9, p. 17.

1.3.6 Nguyên lý chồng chất điện trường

Nguyên lý 1.3.1 (Nguyên lý chồng chất điện trường). Giả sử ta có hệ n điện tích điểm $\{Q_i\}_{i=1}^n$. Gọi cường độ điện trường của hệ ở 1 điểm nào đó là \vec{E} . Cường độ điện trường chỉ của điện tích Q_i là \vec{E}_i tại điểm đang xét, $i = 1, \dots, n$. Khi đó ta có:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i = \vec{E}_1 + \dots + \vec{E}_n. \quad (1.3.4)$$

1.3.7 Tương tác gần & tương tác xa

“Tương tác giữa 2 vật không tiếp xúc với nhau được thực hiện bằng cách nào? Có 2 cách giải đáp câu hỏi đó. Cách giải đáp thứ nhất cho rằng 2 vật không tiếp xúc với nhau vẫn có thể tương tác với nhau. Quan điểm này gọi là *quan điểm tương tác xa*. Định luật vạn vật hấp dẫn & định luật Coulomb thể hiện quan điểm đó.

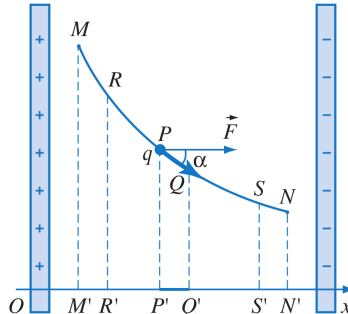
Cách giải đáp thứ 2 cho rằng, có tương tác hấp dẫn giữa 2 vật không tiếp xúc với nhau là vì vật này được đặt trong trường hấp dẫn của vật kia, lực hấp dẫn tác dụng lên vật B là do trường hấp dẫn của vật A tại điểm đặt vật B gây ra. Tương tự như vậy, nếu có 2 điện tích A & B , thì có lực điện tác dụng lên điện tích B là vì B được đặt trong điện trường của điện tích A . Điện trường của điện tích A là thực thể vật lý truyền lực điện từ điện tích A đến điện tích B . Quan điểm này gọi là *quan điểm tương tác gần*. Theo quan điểm tương tác xa thì tốc độ truyền tương tác là vô hạn. Điều đó trái với thực tế. Còn theo quan điểm tương tác gần thì tốc độ truyền tương tác là hữu hạn. Nhiều sự kiện thực nghiệm đã chứng tỏ quan điểm tương tác gần là phù hợp với thực tế.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 18

1.4 Công của Lực Điện. Hiệu Điện Thế

Câu hỏi 1.4.1. “Công của trọng lực được biểu diễn qua hiệu thế năng hấp dẫn. Còn công của lực điện có thể biểu diễn qua đại lượng nào?” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 19

1.4.1 Công của lực điện

“Ta xét công của lực điện tác dụng lên 1 điện tích q chuyển động từ M đến N trong điện trường đều, e.g. điện trường giữa 2 tấm kim loại rộng, song song, mang điện tích trái dấu có độ lớn bằng nhau. Giả sử $q > 0$ & đường đi của điện tích q là đoạn đường cong MN (Fig. 1.12).



Hình 1.12: Công của lực điện tác dụng lên 1 điện tích q chuyển động từ M đến N trong điện trường đều giữa 2 tấm kim loại rộng, song song, mang điện tích trái dấu có độ lớn bằng nhau, Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 4.1, p. 19.

Để tính công của lực điện trên đoạn đường cong MN , ta chia MN thành nhiều đoạn nhỏ, công của lực điện tác dụng lên q bằng tổng các công trên các đoạn nhỏ đó. Vì $q > 0$ nên lực điện tác dụng lên q có chiều hướng từ tấm mang điện tích dương sang tấm mang điện tích âm. Coi rằng đoạn đường cong MN được chia thành nhiều đoạn nhỏ sao cho mỗi đoạn nhỏ đó có thể coi là đoạn thẳng². Khi đó công thức tính công trên 1 đoạn nhỏ nào đó, e.g., đoạn PQ , là:

$$\Delta A_{PQ} = qE \cdot PQ \cdot \cos \alpha = qE \cdot \overline{P'Q'},$$

ở đây $\overline{P'Q'}$ là hình chiếu của PQ lên trục Ox ; quy ước vẽ trục Ox có chiều trùng với chiều của đường sức. Công trên toàn đoạn MN bằng:

$$A_{MN} = \sum \Delta A = qE (\overline{M'R'} + \cdots + \overline{P'Q'} + \cdots + \overline{S'N'}) = qE \cdot \overline{M'N'}. \quad (1.4.1)$$

Kết quả trên đây được rút ra từ giả thiết $q > 0$. Tuy nhiên, nếu $q < 0$ ta cũng rút ra được công thức như trên. Do đó có thể viết:

$$A_{MN} = qE \cdot \overline{M'N'}, \quad (1.4.2)$$

M', N' là hình chiếu của 2 điểm M, N lên trục Ox ; $\overline{M'N'}$ là độ dài đại số của đoạn $M'N'$; còn q có dấu tùy ý. Từ (1.4.2) ta có nhận xét là, công của lực điện tác dụng lên điện tích q không phụ thuộc vào dạng của đoạn đường đi MN mà chỉ phụ thuộc vào vị trí của 2 điểm M, N , i.e., của điểm đầu & điểm cuối của đường đi. Người ta đã chứng minh nhận xét trên đây cũng đúng cả trong trường hợp điện trường không đều.

Định luật 1.4.1. Công của lực điện tác dụng lên 1 điện tích không phụ thuộc dạng đường đi của điện tích mà chỉ phụ thuộc vào vị trí điểm đầu & điểm cuối của đường đi trong điện trường.

Do đó, người ta nói *điện trường tĩnh là 1 trường thế năng* (tương tự như trường hấp dẫn).³ “Trong *Cơ học/Mechanics*³ ta cũng đã rút ra kết luận là công của lực hấp dẫn không phụ thuộc vào dạng đường đi của vật mà chỉ phụ thuộc vào điểm đầu & điểm cuối của đường đi.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, pp. 19–20

1.4.2 Khái niệm hiệu điện thế

1.4.2.1 Công của lực điện & hiệu thế năng của điện tích

“Công của trọng lực & công của lực điện cùng có 1 đặc tính quan trọng là những công này không phụ thuộc dạng đường đi của vật mà chỉ phụ thuộc vị trí điểm đầu & điểm cuối của đường đi. Ta đã biết, công của trọng lực được biểu diễn qua hiệu thế năng tại vị trí đầu & cuối đường đi của vật đó (Khôi, Tư, et al., 2008, §35, pp. 164–166). Ở đây, ta cũng coi 1 điện tích q ở trong điện trường thì có thế năng, & công của lực điện khi điện tích q di chuyển từ điểm M đến điểm N cũng được biểu diễn qua hiệu của các thế năng của điện tích q tại 2 điểm đó: $A_{MN} = W_M - W_N$.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 20

1.4.2.2 Hiệu điện thế, điện thế

“Hiệu thế năng của vật trong trọng trường tỷ lệ với khối lượng m của vật. Ở đây, ta cũng coi hiệu thế năng của điện tích q trong điện trường tỷ lệ với điện tích q , i.e., có thể biểu diễn A_{MN} dưới dạng sau:

$$A_{MN} = q(V_M - V_N), \quad (1.4.3)$$

$(V_M - V_N)$ được gọi là *hiệu điện thế* (hay *điện áp*) giữa 2 điểm M, N & ký hiệu là U_{MN} . Từ (1.4.3) rút ra công thức sau đây được coi là công thức định nghĩa hiệu điện thế:

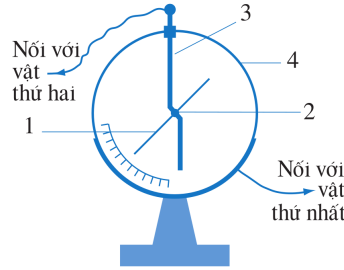
$$U_{MN} = V_M - V_N = \frac{A_{MN}}{q}. \quad (1.4.4)$$

Hiệu điện thế giữa 2 điểm trong điện trường là đại lượng đặc trưng cho khả năng thực hiện công của điện trường khi có 1 điện tích di chuyển giữa 2 điểm đó. Các đại lượng V_M, V_N được gọi là *điện thế của điện trường tại điểm M, N tương ứng.* Điện thế của điện trường phụ thuộc vào cách chọn mốc tính điện thế. Thường người ta chọn điện thế ở xa vô cực làm mốc. Cũng có khi người ta chọn điện thế ở mặt đất làm mốc (i.e., coi điện thế ở mặt đất bằng 0). Vì vậy, khi nói tới điện thế tại 1 điểm A nào đó thì thực chất đó là hiệu điện thế $V_A - V_B$, trong đó V_B là điện thế được chọn làm mốc, i.e., $V_B = 0$.

²Quá trình phân 1 đường cong ra thành những “đoạn thẳng đủ nhỏ” này thường được dùng trong vi phân & tích phân, xem chương trình Toán 11 & Toán 12 & tài liệu của tác giả: [GitHub/NQBH/hobby/elementary-mathematics/grade-11/lecture](https://github.com/NQBH/hobby/elementary-mathematics/grade-11/lecture) & [GitHub/NQBH/hobby/elementary-mathematics/grade-12/lecture](https://github.com/NQBH/hobby/elementary-mathematics/grade-12/lecture).

³**mechanics** [n] 1. [uncountable] the science of movement & force; 2. [plural] **mechanics of something** the way something works or is done.

Trong hệ SI, đơn vị điện thế & hiệu điện thế là vôn ký hiệu là V. Từ công thức (1.4.3) suy ra, nếu $U_{MN} = 1 \text{ V}$, $q = 1 \text{ C}$ thì $A_{MN} = 1 \text{ J}$. Vậy vôn là hiệu điện thế giữa 2 điểm M, N mà khi 1 điện tích dương 1 C di chuyển từ điểm M đến điểm N thì lực điện sẽ thực hiện 1 công dương là 1 J. Để đo hiệu điện thế giữa 2 vật, người ta dùng *tĩnh điện kế* (Fig. 1.13). Trong kỹ thuật, hiệu điện thế gọi là *điện áp*.” “Muốn đo hiệu điện thế giữa 2 vật, ta nối 1 vật với cần của tĩnh điện kế, vật kia với vỏ. Độ lệch của kim cho biết hiệu điện thế giữa 2 vật đó.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 21



Hình 1.13: Tĩnh điện kế: 1. Kim của tĩnh điện kế; 2. Trục quay của kim; 3. Thanh kim loại, gọi là *cần của tĩnh điện kế*; 4. Vỏ tĩnh điện kế bằng kim loại, Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 4.2, p. 21.

1.4.3 Liên hệ giữa cường độ điện trường & hiệu điện thế

“So sánh 2 công thức (1.4.3) & (1.4.4) ta rút ra:

$$E = \frac{U_{MN}}{\overline{M'N'}}. \quad (1.4.5)$$

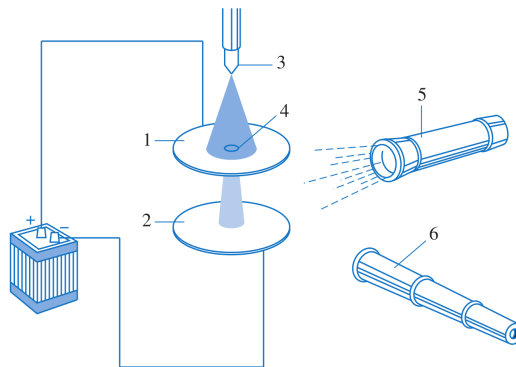
Đó là công thức biểu thị mối liên hệ giữa cường độ điện trường & hiệu điện thế đối với điện trường đều. Các điểm M, N, M', N' được chỉ rõ trên Fig. 1.12. Từ (1.4.5) ta hiểu tại sao đơn vị cường độ điện trường là vôn trên mét. Mối liên hệ giữa cường độ điện trường & hiệu điện thế thường được viết dưới dạng đơn giản như sau:

$$E = \frac{U}{d}, \quad (1.4.6)$$

d là *khoảng cách* giữa 2 điểm M', N' , i.e., $d := M'N' = |\overline{M'N'}|$.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, pp. 21–22 Từ công thức (1.4.6), điện thế giảm theo chiều của đường sức.

1.4.4 Thí nghiệm Millikan

“Thí nghiệm Millikan (Robert Andrews Millikan, 1868–1953, nhà vật lý người Mỹ, giải Nobel năm 1925) nhằm xác định điện tích nhỏ nhất trong tự nhiên. Sơ đồ thí nghiệm Millikan được trình bày trên Fig. 1.14.



Hình 1.14: Sơ đồ thí nghiệm Millikan: 1, 2. 2 tấm kim loại; 3. Máy phun; 4. Lỗ nhỏ; 5. Đèn chiếu sáng; 6. Kính quan sát, Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 4.6, p. 24.

Trong hình đó 1 & 2 là 2 tấm kim loại đường kính khoảng 20 cm. 2 tấm được đặt nằm ngang & cách nhau chừng 2 cm. Dùng máy phun, phun vào lỗ nhỏ ở tấm kim loại 1 những hạt dầu có kích thước rất nhỏ (vào cỡ $1 \mu\text{m}$). Do cọ xát với miệng vòi phun mà 1 số hạt dầu được nhiễm điện. Qua lỗ nhỏ có 1 số hạt dầu rơi vào bên trong khoảng không gian giữa 2 tấm kim loại. Dùng kính quan sát các hạt đó trong khoảng thời gian chừng vài ba giờ. Đầu tiên, khi 2 tấm 1 & 2 chưa nối với nguồn, ta thấy những hạt dầu rơi xuống với tốc độ lớn dần. Sau đó tốc độ rơi của chúng không đổi. Đó là lúc lực ma sát cân bằng

với lực hấp dẫn. Ở đây lực ma sát tỷ lệ với tốc độ rơi của hạt. Ký hiệu tốc độ không đổi này là v thì $f_{ms} = kv$. Ta có hệ thức sau: $mg = f_{ms} = kv$ (k là 1 hệ số tỷ lệ). Bây giờ nối tấm 1 với cực dương & tấm 2 với cực âm của 1 nguồn điện. Khi đó có 1 số hạt không rơi xuống mà lại chuyển động từ dưới lên trên, đó là những hạt nhiễm điện âm. Khi những hạt này đạt đến tốc độ không đổi v_1 , ta có thể viết công thức sau:

$$q \frac{U}{d} = mg + kv_1, \quad (1.4.7)$$

trong đó q là điện tích của hạt dầu, U là hiệu điện thế giữa 2 tấm kim loại, d là khoảng cách giữa 2 tấm đó.

Ion hóa không khí trong khoảng không gian giữa 2 tấm kim loại (bằng tia X, tia phóng xạ, ...) thì có 1 số hạt thay đổi tốc độ đột ngột do chúng nhận thêm hạt mang điện từ không khí. Khi những hạt nhận thêm điện tích này đạt đến tốc độ không đổi v_2 , ta có thể viết hệ thức sau:

$$(q + q_n) \frac{U}{d} = mg + kv_2, \quad (1.4.8)$$

ở đây q_n là điện tích mà hạt dầu nhận thêm được. Từ (1.4.7) & (1.4.8) ta rút ra:

$$\frac{U}{d} q_n = k(v_2 - v_1),$$

d & U là những đại lượng có thể đo được, v_2 & v_1 có thể xác định được bằng kính quan sát. Còn k phải xác định bằng những phương pháp riêng xuất phát từ hệ thức $mg = kv$ (ở đây không nói đến). Từ đó ta tìm được q_n .

Trong khoảng thời gian 1909–1913, Millikan & các cộng sự của ông đã đo điện tích của chừng vài nghìn hạt. Ông nhận thấy rằng, không có hạt nào có điện tích nhỏ hơn $1.6 \cdot 10^{-19}$ C & điện tích của các hạt đều bằng 1 số nguyên lần $1.6 \cdot 10^{-19}$ C. Từ đó ông rút ra kết luận rằng, trong tự nhiên tồn tại điện tích nguyên tố ($1.6 \cdot 10^{-19}$ C).” – Khôi, Thuận, et al., 2013, pp. 23–24

1.5 Bài Tập về Lực Coulomb & Điện Trường

Bài toán 1.5.1 (Khôi, Thuận, et al., 2013, 1., p. 25). Cho 2 điện tích dương $q_1 = 2$ nC & $q_2 = 18$ nC đặt cố định trong không khí & cách nhau 10 cm. Đặt thêm 1 điện tích thứ 3 q_0 tại 1 điểm trên đường thẳng nối 2 điện tích q_1, q_2 sao cho q_0 nằm cân bằng. Tìm: (a) Vị trí đặt q_0 . (b) Dấu & độ lớn của q_0 .

Không cho giá trị cụ thể, 1 tổng quát của bài toán trên:

Bài toán 1.5.2. Cho 2 điện tích dương q_1 C & q_2 C đặt cố định trong không khí & cách nhau a m. Đặt thêm 1 điện tích thứ 3 q_0 tại 1 điểm trên đường thẳng nối 2 điện tích q_1, q_2 sao cho q_0 nằm cân bằng. Tìm: (a) Vị trí đặt q_0 . (b) Dấu & độ lớn của q_0 .



Hình 1.15: Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 5.1, p. 5.1.

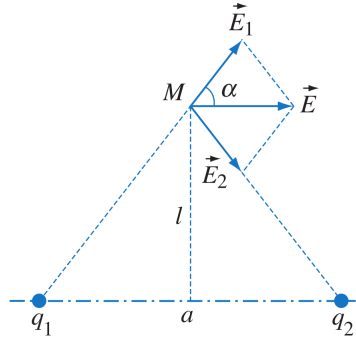
Giải. (a) Giả sử q_1 & q_2 được đặt như trên Fig. 1.15. Để q_0 nằm cân bằng thì q_0 phải nằm bên trong 2 điện tích q_1, q_2 . Gọi khoảng cách giữa q_0 & q_1 là x . Gọi độ lớn của lực Coulomb mà q_1, q_2 tác dụng lên q_0 là F_1, F_2 tương ứng, ta có: • Nếu $q_0 < 0$, $F_1 = k \frac{q_1 |q_0|}{x^2}$, $F_2 = k \frac{q_2 |q_0|}{(a-x)^2}$. • Nếu $q_0 > 0$, $F_1 = k \frac{q_1 q_0}{x^2}$, $F_2 = k \frac{q_2 q_0}{(a-x)^2}$. Muốn q_0 nằm cân bằng thì $F_1 = F_2$. Trong cả 2 trường hợp đều có thể rút ra: $\frac{q_1}{x^2} = \frac{q_2}{(a-x)^2}$, hay $q_1(a-x)^2 = q_2 x^2$, vì $q_1 > 0$, $q_2 > 0$, $a > x$, phương trình bậc 2 trở thành $\sqrt{q_1}(a-x) = \sqrt{q_2}x$, hay $x = \frac{a\sqrt{q_1}}{\sqrt{q_1} + \sqrt{q_2}}$. (b) “Kết quả tìm được trên đây không phụ thuộc vào dấu & độ lớn của điện tích q_0 . Vì vậy, dấu & độ lớn của q_0 là tùy ý. Tuy nhiên, ta có thể thấy tính cân bằng của q_0 trong 2 trường hợp $q_0 > 0$ & $q_0 < 0$ là khác nhau.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 25

Bài toán 1.5.3 (Khôi, Thuận, et al., 2013, 2., p. 25). Có 2 điện tích điểm $q_1 = 0.5$ nC & $q_2 = -0.5$ nC đặt cách nhau 1 đoạn $a = 6$ cm trong không khí. Xác định cường độ điện trường \vec{E} tại điểm M cách đều 2 điện tích q_1, q_2 & cách đường thẳng nối q_1, q_2 1 đoạn $l = 4$ cm.

Đáp số. $E = 2160 \text{ V/m}$. □

Không cho giá trị cụ thể, 1 tổng quát của bài toán trên:

Bài toán 1.5.4. Có 2 điện tích điểm $q_1 \text{ C}$ & $q_2 \text{ C}$, với $q_1 > 0$, $q_2 = -q_1$, đặt cách nhau 1 đoạn $a \text{ m}$ trong không khí. Xác định cường độ điện trường \vec{E} tại điểm M cách đều 2 điện tích q_1, q_2 & cách đường thẳng nối q_1, q_2 1 đoạn $l \text{ m}$.



Hình 1.16: Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 5.2, p. 26.

Giải. Đặt $r := d(M, q_1) = d(M, q_2)$ là khoảng cách từ M đến mỗi điện tích q_1, q_2 .⁴ “Gọi cường độ điện trường do điện tích q_1, q_2 gây ra tại M là \vec{E}_1, \vec{E}_2 . Vì độ lớn của 2 điện tích q_1, q_2 bằng nhau & điểm M cách đều 2 điện tích đó nên $E_1 = E_2$. Các vector \vec{E}_1, \vec{E}_2 được vẽ trên Fig. 1.16. Theo công thức xác định cường độ điện trường của 1 điện tích điểm, $E_1 = E_2 = 9 \cdot 10^9 \frac{q_1}{r^2}$, $r^2 = l^2 + (\frac{a}{2})^2$. Ta có $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$. Vì $E_1 = E_2$ nên vector $\vec{E} \parallel$ đường thẳng nối q_1, q_2 & có chiều như Fig. 1.16. Từ Fig. 1.16, ta suy ra: $E = 2E_1 \cos \alpha$ trong đó $\cos \alpha = \frac{a}{2\sqrt{l^2 + (\frac{a}{2})^2}}$. Do đó,

$$E = 2 \cdot 9 \cdot 10^9 \frac{q_1}{r^2} \frac{a}{2\sqrt{l^2 + (\frac{a}{2})^2}} = \frac{9 \cdot 10^9 q_1 a}{\left[l^2 + (\frac{a}{2})^2\right]^{3/2}} = \frac{8 \cdot 9 \cdot 10^9 q_1 a}{(4l^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{7.2 \cdot 10^{10} q_1 a}{(4l^2 + a^2)^{3/2}}.$$

□

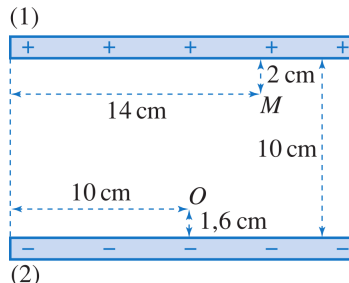
Lưu ý 1.5.1. Nếu điểm M tạo với điểm đặt 2 điện tích q_1, q_2 1 tam giác đều, thì $l = a \sin \frac{\pi}{3} = \frac{a\sqrt{3}}{2}$, kết quả của lời giải trên trở thành $E = \frac{9 \cdot 10^9 q_1 a}{\left[\left(\frac{a\sqrt{3}}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2\right]^{3/2}} = \frac{9 \cdot 10^9 q_1}{a^2}$.

Tổng quát hơn nữa, trong bài toán, thay vì tam giác cân, xét 1 tam giác tùy ý, & 2 điện tích điểm không nhất thiết phải có độ lớn bằng nhau:

Bài toán 1.5.5. Có 2 điện tích điểm $q_1 \text{ C}$ & $q_2 \text{ C}$, đặt cách nhau 1 đoạn $a \text{ m}$ trong không khí. Xác định cường độ điện trường \vec{E} tại điểm M cách 2 điện tích q_1, q_2 2 khoảng lần lượt bằng b & c .

Bài toán này liên quan đến bài toán giải tam giác khi biết độ dài 3 cạnh của tam giác đó. Có thể xem các bài toán về *giải tam giác* ở Thái et al., 2022, §2, pp. 71–78 & tài liệu của tác giả cho chương trình Toán lớp 10: [GitHub/NQBH/hobby/elementary-mathematics/grade-10/lecture](https://github.com/NQBH/hobby/elementary-mathematics/grade-10/lecture).

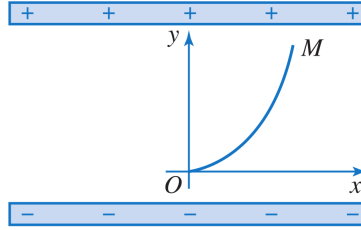
Bài toán 1.5.6 (Khôi, Thuận, et al., 2013, 3., p. 26). Có 2 tấm kim loại (1), (2) rộng, nằm ngang song song với nhau & cách nhau $d = 10 \text{ cm}$ (Fig. 1.17).



Hình 1.17: Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 5.3, p. 26.

⁴Trong Toán học & Vật lý, *bd* thường được dùng để ký hiệu *khoảng cách* do được lấy từ chữ cái đầu của từ *distance*.

Tấm (1) mang điện dương, tấm (2) mang điện âm, điện tích trên 2 tấm có độ lớn bằng nhau. Bên trong 2 tấm kim loại có 1 hạt bụi khối lượng $m = 2 \cdot 10^{-9}$ g mang điện tích $q = -0.06$ pC bị vướng ở điểm O (nằm yên tại O). O cách tấm kim loại (2) 1.6 cm & cách mép trái 2 tấm kim loại 10 cm. Lúc $t = 0$, ta truyền cho hạt bụi 1 vận tốc $v = 25$ cm/s theo phương nằm ngang. Sau đó ít lâu hạt bụi đi đến M , M cách tấm kim loại (1) 2 cm & cách mép trái 2 tấm kim loại 14 cm. (a) Hỏi hiệu điện thế giữa 2 tấm kim loại bằng bao nhiêu? (b) Tính công của lực điện trong di chuyển nói trên của hạt bụi. Coi rằng quỹ đạo của hạt bụi nằm trong mặt phẳng hình vẽ.



Hình 1.18: Khôi, Thuần, et al., 2013, Hình 5.4, p. 26.

Điện trường bên trong 2 tấm kim loại là điện trường đều. Lấy $g = 10\text{m/s}^2$.

Không cho giá trị cụ thể, 1 tổng quát của bài toán trên:

Bài toán 1.5.7 (Khôi, Thuần, et al., 2013, 3., p. 26). Có 2 tấm kim loại (1), (2) rộng, nằm ngang song song với nhau & cách nhau d m (Fig. 1.17). Tấm (1) mang điện dương, tấm (2) mang điện âm, điện tích trên 2 tấm có độ lớn bằng nhau. Bên trong 2 tấm kim loại có 1 hạt bụi khối lượng m g mang điện tích q pC bị vướng ở điểm O (nằm yên tại O). O cách tấm kim loại (2) d_1 m & cách mép trái 2 tấm kim loại d_2 m. Lúc $t = 0$, ta truyền cho hạt bụi 1 vận tốc v m/s theo phương nằm ngang. Sau đó ít lâu hạt bụi đi đến M , M cách tấm kim loại (1) d_3 m & cách mép trái 2 tấm kim loại d_4 m. (a) Hỏi hiệu điện thế giữa 2 tấm kim loại bằng bao nhiêu? (b) Tính công của lực điện trong di chuyển nói trên của hạt bụi. Coi rằng quỹ đạo của hạt bụi nằm trong mặt phẳng hình vẽ. Điện trường bên trong 2 tấm kim loại là điện trường đều. Lấy $g = 10\text{m/s}^2$.

Giải. (a) Xem Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 27. □

1.6 Vật Dẫn & Điện Môi Trong Điện Trường

Nội dung. “Những tính chất của vật dẫn & điện môi khi chúng được đặt trong điện trường. Chú ý rằng 1 vật dẫn tích điện cũng có thể coi là vật dẫn đặt trong điện trường.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 28

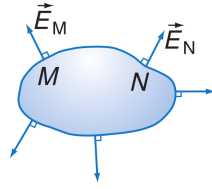
1.6.1 Vật dẫn trong điện trường

1.6.1.1 Trạng thái cân bằng điện

“1 vật dẫn có thể được tích điện bằng hưởng ứng, bằng cọ xát hay bằng tiếp xúc. Dù được tích điện bằng cách nào, thì lúc đầu của quá trình tích điện cũng có sự di chuyển các điện tích tự do & tạo thành dòng điện trong vật dẫn. Tuy nhiên, dòng điện chỉ tồn tại trong khoảng thời gian rất ngắn. Khi trong vật dẫn không còn dòng điện nữa, người ta nói *vật dẫn cân bằng tĩnh điện*, hay cũng nói tắt là *cân bằng điện*. Say này, khi nói *vật dẫn trong điện trường*, ta hiểu ngầm rằng chỉ nói đến trường hợp vật dẫn cân bằng điện trong điện trường.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 28

1.6.1.2 Điện trường trong vật dẫn tích điện

“Thí nghiệm chứng tỏ rằng *bên trong vật dẫn, điện trường bằng 0*. Điều đó cũng dễ hiểu, vì trong vật dẫn đã có sẵn các điện tích tự do nên nếu điện trường khác 0 thì nó sẽ tác dụng lực lên các điện tích tự do & gây ra dòng điện. Điều này trái với giả thiết là vật ở trạng thái cân bằng điện. Trong phần rỗng của vật dẫn, điện trường cũng bằng 0 nếu ở phần này không có điện tích. Điện trường bên trong vật dẫn rỗng bằng 0 nên người ta dùng các vật dẫn rỗng làm các *màn chắn điện*. Để các dụng cụ hay các máy móc chính xác không bị ảnh hưởng bởi điện trường ngoài, người ta đặt chúng trong những chiếc hộp kim loại. Cường độ điện trường tại 1 điểm trên mặt ngoài vật dẫn vuông góc với mặt vật (Fig. 1.19).

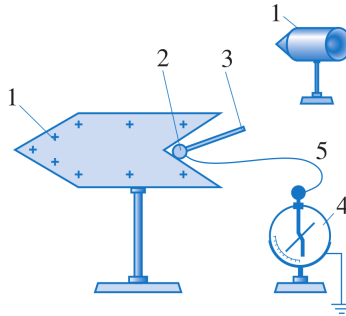


Hình 1.19: Trên mặt vật dẫn, vector cường độ điện trường vuông góc với mặt vật, Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 6.1, p. 28.

Vì nếu cường độ điện trường không vuông góc với mặt vật dẫn thì sẽ có 1 thành phần tiếp tuyến với mặt vật. Thành phần này tác dụng lực lên các điện tích tự do & gây ra dòng điện trên mặt vật.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 28

1.6.1.3 Điện thế của vật dẫn tích điện

- “*Điện thế trên mặt ngoài vật dẫn.* Thí nghiệm: Sơ đồ của thí nghiệm như Fig. 1.20.



Hình 1.20: Thí nghiệm về điện thế ở mặt ngoài của vật dẫn. 1. Vật dẫn nhiễm điện; 2. Quả cầu thử bằng kim loại; 3. Tay cầm bằng nhựa; 4. Tĩnh điện kế; 5. Dây nối quả cầu & tĩnh điện kế, Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 6.2, p. 29.

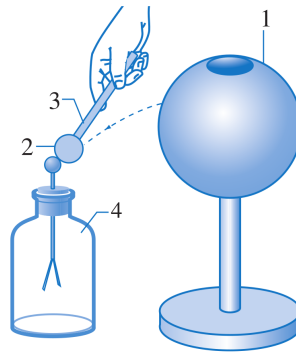
Nối núm kim loại của cần tĩnh điện kế với quả cầu thử. Di chuyển quả cầu thử đến nhiều điểm khác nhau trên mặt vật nhiễm điện. Tại mọi điểm (kể cả những điểm ở phần lõm của vật) góc lệch của kim tĩnh điện kế đều như nhau.

Thí nghiệm chứng tỏ *điện thế tại mọi điểm trên mặt ngoài vật dẫn có giá trị bằng nhau.*

- *Điện thế bên trong vật dẫn.* Vì điện trường trong vật dẫn bằng 0, nên từ mối liên hệ giữa E & U có thể suy ra rằng điện thế tại mọi điểm bên trong vật dẫn phải bằng nhau & bằng điện thế trên mặt ngoài của vật. Vậy vật dẫn là *vật đẳng thế.*” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 29

1.6.1.4 Sự phân bố điện tích ở vật dẫn tích điện

- “*Sự phân bố điện tích ở mặt ngoài của vật dẫn.* Thí nghiệm: Sơ đồ thí nghiệm như ở Fig. 1.21.

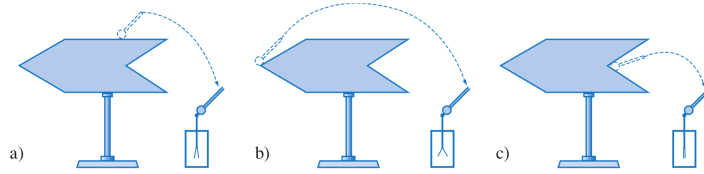


Hình 1.21: Thí nghiệm về sự phân bố điện tích ở mặt ngoài vật dẫn. 1. Quả cầu kim loại nhiễm điện; 2. Quả cầu thử bằng kim loại; 3. Tay cầm bằng nhựa; 4. Điện nghiệm, Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 6.3, p. 29.

Cho quả cầu thử tiếp xúc mới mặt ngoài quả cầu kim loại 1. Sau đó đưa quả cầu thử chạm vào núm kim loại của điện nghiệm, ta thấy 2 lá kim loại xòe ra. Nhưng nếu cho quả cầu thử tiếp xúc với mặt trong của quả cầu 1 thì 2 lá kim

loại không xòe ra. Thí nghiệm chứng tỏ, ở 1 vật dẫn rỗng nhiễm điện, thì điện tích chỉ phân bố ở mặt ngoài của vật. Với vật dẫn đặc, điện tích cũng chỉ phân bố ở mặt ngoài của vật.

- Sự phân bố điện tích trên vật trong trường hợp mà mặt ngoài có chỗ lồi, chỗ lõm. Thí nghiệm: Sơ đồ thí nghiệm như ở Fig. 1.22.



Hình 1.22: Thí nghiệm về sự phân bố điện tích ở vật dẫn trong trường hợp mặt ngoài có chỗ lồi, chỗ lõm, Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 6.4, p. 30.

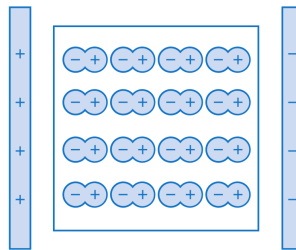
Cho quả cầu thử chạm với mặt vật dẫn nhiễm điện. Sau đó đưa quả cầu đến chạm với núm kim loại của điện nghiệm. Cứ sau mỗi lần thử như trên, ta khử điện tích ở quả cầu & ở điện nghiệm rồi mới làm phép thử tiếp theo. Quả cầu thử có kích thước nhỏ để cho sau mỗi lần thử, điện tích của vật nhiễm điện thay đổi không đáng kể. Góc xòe của 2 lá điện nghiệm ở Hình 6.4b lớn nhất. Ở Hình 6.4c 2 lá kim loại hầu như không xòe ra.

Từ thí nghiệm, ta rút ra kết luận: Ở những chỗ lồi của mặt vật dẫn, điện tích tập trung nhiều hơn; ở những chỗ mũi nhọn điện tích tập trung nhiều nhất; ở chỗ lõm hầu như không có điện tích. Điện tích phân bố bên mặt ngoài của vật dẫn không đều, nên cường độ điện trường ở gần mặt ngoài của vật cũng khác nhau. Nơi nào điện tích tập trung nhiều hơn, điện trường ở đó mạnh hơn, đặc biệt ở gần các mũi nhọn điện trường rất mạnh. Nếu mũi nhọn đặt trong không khí, thì 1 số hạt mang điện có sẵn trong không khí ở gần mũi nhọn được tăng tốc & làm cho không khí ở đó bị ion hóa. Các hạt mang điện trái dấu với điện tích của mũi nhọn bị hút vào mũi nhọn làm cho điện tích của mũi nhọn giảm nhanh. Điều này được áp dụng trong cột chống sét.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, pp. 29–30

1.6.2 Điện môi trong điện trường

“Khi đặt 1 vật điện môi trong điện trường thì hạt nhân & electron trong các nguyên tử của vật đó chịu tác dụng lực của điện trường. Các electron xê dịch ngược chiều điện trường. Còn hạt nhân thì hầu như không xê dịch. Kết quả là mỗi nguyên tử như được kéo dãn ra 1 chút & chia thành 2 đầu mang điện tích trái dấu nhau. Người ta nói *điện môi bị phân cực*.”

Khi mẫu điện môi được đặt trong điện trường đều, e.g., đặt trong điện trường bên trong 2 tấm kim loại phẳng rộng, song song tích điện trái dấu & bằng nhau, thì do sự phân cực mà các mặt ngoài của điện môi trở thành các mặt nhiễm điện như trên Fig. 1.23.



Hình 1.23: Sự phân cực của điện môi, Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 6.5, p. 30.

Các mặt nhiễm điện của điện môi làm xuất hiện điện trường phụ. Điện trường phụ ngược chiều với điện trường ngoài làm cho điện trường bên trong điện môi giảm. Điện trường giảm kéo theo lực điện tác dụng lên điện tích trong điện môi cũng giảm. Đó là điều ta đã nói đến ở Bài 1.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 30

“Theo định luật Coulomb thì lực tương tác giữa 2 điện tích điểm tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng. Điều này trùng hợp 1 cách kỳ lạ với định luật vạn vật hấp dẫn của Newton. Vì vậy, từ lâu nhiều nhà vật lý đã tìm cách kiểm chứng định luật Coulomb về sự tỷ lệ nghịch của lực với bình phương khoảng cách ($F \sim \frac{1}{r^2}$) chính xác đến mức nào. Bằng lý thuyết người ta chứng minh rằng, nếu định luật Coulomb đúng thì điện tích mà ta tích cho vật phải phân bố ở mặt ngoài của vật dẫn. Vì vậy, để kiểm chứng định luật Coulomb người ta làm thí nghiệm chứng minh rằng điện tích chỉ phân bố ở mặt ngoài của vật dẫn tích điện. Đó là lý do tại sao thí nghiệm chứng minh điện tích chỉ phân bố ở mặt ngoài của vật có ý nghĩa rất lớn. Với những dụng cụ thí nghiệm hiện đại người ta đã chứng minh rằng, trong hệ thức lực tương tác giữa 2 điện tích điểm, số mũ của r nếu sai khác với 2 thì chỉ sai khác rất ít, nhỏ hơn 10^{-6} . Vì vậy, với tuyệt đại đa số các trường hợp thì định luật tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách được coi là hoàn toàn chính xác.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 31

1.7 Tụ Điện

Nội dung. *Tụ điện – 1 loại linh kiện có cấu tạo đơn giản nhưng lại rất thông dụng trong kỹ thuật điện.*

1.7.1 Tụ điện

1.7.1.1 Định nghĩa

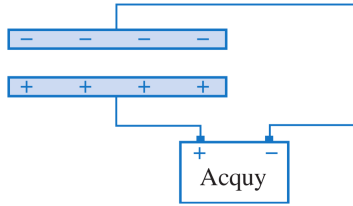
Định nghĩa 1.7.1 (Tụ điện). “Tụ điện là 1 hệ 2 vật dẫn đặt gần nhau. Mỗi vật dẫn đó gọi là 1 bản của tụ điện. Khoảng không gian giữa 2 bản có thể là chân không hay bị chiếm bởi 1 chất điện môi nào đó.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 32

“Trong sơ đồ mạch điện, tụ điện được ký hiệu như trên Fig. 1.24.



Hình 1.24: Ký hiệu tụ điện trong sơ đồ mạch điện, Khôi, Thuần, et al., 2013, Hình 7.1, p. 32.

Nối 2 bản của tụ điện với 2 cực của 1 nguồn điện (acqury hay máy phát điện), thì 2 bản của tụ điện sẽ tích các điện tích bằng nhau về độ lớn nhưng trái dấu nhau. Khi đó, ta nói là *tích điện* (hay *nạp điện*) cho tụ điện (Fig. 1.25).



Hình 1.25: Tích điện cho tụ điện, Khôi, Thuần, et al., 2013, Hình 7.2, p. 32.

Nếu ta nối 2 bản của tụ điện đã tích điện với 1 điện trở, thì sẽ có dòng điện chạy qua điện trở. Điện tích trên các bản tụ điện giảm dần đi. Ta nói tụ điện *phóng điện*. Do có khả năng tích & phóng điện như vậy, nên tụ điện có nhiều ứng dụng trong kỹ thuật điện & điện tử.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 32

1.7.1.2 Tụ điện phẳng

“Tụ điện đơn giản & thường gặp là *tụ điện phẳng*. 2 bản của tụ điện phẳng là 2 tấm kim loại phẳng có kích thước lớn so với khoảng cách giữa 2 bản, đặt đối diện nhau & song song với nhau. Hệ 2 tấm kim loại nói đến trong Bài 3 chính là 1 tụ điện phẳng.

Đối với 1 tụ điện phẳng, khi tích điện thì điện tích ở 2 bản của tụ điện có độ lớn bằng nhau. Đồng thời vì 2 bản tụ điện gần nhau nên nói chung, các đường sức xuất phát từ bản này sẽ tận cùng tại bản kia. Sau đây, ta sẽ chỉ nói đến những tụ điện có 2 tính chất như vừa nói đối với tụ điện phẳng. Độ lớn của điện tích trên mỗi bản của tụ điện khi tích điện gọi là *điện tích của tụ điện*.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 32

1.7.2 Điện dung của tụ điện

1.7.2.1 Định nghĩa

“Nối 2 bản của tụ điện với 1 nguồn điện có hiệu điện thế U thì tụ điện sẽ có điện tích Q . Thay đổi U thì Q cũng thay đổi. Thực nghiệm cho biết với 1 tụ điện xác định, thương số $\frac{Q}{U}$ là hằng số. *Thương số $\frac{Q}{U}$ đặc trưng cho khả năng tích điện của tụ điện* \mathcal{E} được gọi là *điện dung của tụ điện*, ký hiệu là C .

$$C = \frac{Q}{U}. \quad (1.7.1)$$

2 tụ điện được nạp điện bằng cùng 1 nguồn điện có hiệu điện thế U thì tụ điện nào có điện dung lớn hơn, điện tích của tụ điện đó sẽ lớn hơn. Nếu đã biết U thì từ (1.7.1) ta suy ra:

$$Q = CU. \quad (1.7.2)$$

Trong hệ SI, đơn vị điện dung là fara, ký hiệu là F. Từ công thức (1.7.1) nếu cho $Q = 1$ C, $U = 1$ V thì $C = 1$ F. Vậy *fara là điện dung của 1 tụ điện mà khi hiệu điện thế giữa 2 bản là 1 V thì điện tích của tụ điện là 1 C*. Các tụ điện dùng trong

thực tế có điện dung nhỏ hơn fara rất nhiều. Vì vậy người ta thường dùng các ước của fara: microfara (μF), nanofara (nF), picofara (pF), $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$, $1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$, $1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$. “Có nhiều trường hợp không phải chỉ cần viết biểu thức điện tích của tụ điện mà cần viết biểu thức điện tích trên 1 bản nào đó. Muốn vậy ta sẽ gọi 2 bản là 1, 2; điện tích trên bản 1 chẳng hạn ký hiệu là Q_1 . Khi đó, đối với Q_1 , ta viết như sau: $Q_1 = CU_{12}$. Từ đó suy ra: $Q_2 = CU_{21} = -CU_{12} = -Q_1$. Nếu $Q_1 > 0$ thì suy ra $U_{12} > 0$. Ngược lại, nếu biết $U_{12} > 0$ thì suy ra $Q_1 > 0$.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 33

1.7.2.2 Công thức tính điện dung của tụ điện phẳng

“Điện dung của 1 tụ điện phụ thuộc vào hình dạng, kích thước của 2 bản, vào khoảng cách giữa 2 bản & vào chất điện môi ở giữa 2 bản. Điện dung của 1 tụ điện phẳng được tính theo công thức sau:

$$C = \frac{\varepsilon S}{9 \cdot 10^9 \cdot 4\pi d}, \quad (1.7.3)$$

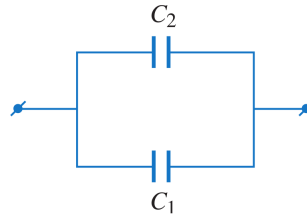
trong đó S là phần diện tích đối diện của 2 bản, d là khoảng cách giữa 2 bản & ε là hằng số điện môi của chất điện môi chiếm đầy giữa 2 bản. Từ công thức (1.7.3) ta thấy, muốn tăng điện dung của tụ điện phẳng thì phương pháp khả thi hơn cả là giảm d . Tuy nhiên, ta không thể giảm d 1 cách vô hạn được. Bởi vì từ công thức (1.4.6) ta thấy khi U không đổi mà giảm d thì điện trường trong tụ điện tăng. Điện trường tăng vượt quá 1 giá trị giới hạn nào đó sẽ làm cho điện môi mất tính chất cách điện. Người ta nói điện môi bị *đánh thủng*. Đối với các chất điện môi khác nhau, điện trường giới hạn cũng khác nhau. Với không khí ở điều kiện bình thường, thì điện trường giới hạn là $3 \cdot 10^6 \text{ V/m}$. Vì thế mà với mỗi tụ điện có 1 *hiệu điện thế giới hạn*. Hiệu điện thế giới hạn này thường được ghi ngay trên tụ điện. Khi sử dụng, không được mắc tụ điện vào hiệu điện thế lớn hơn hiệu điện thế giới hạn đó.” “Khôi, Thuần, et al., 2013, Hình 7.3: 1 số tụ điện thường dùng, p. 33 cho thấy trong thực tế, tụ điện có nhiều loại khác nhau về kích thước, về hình dạng. Đặc biệt các tụ điện còn có sự khác nhau về chất điện môi trong tụ điện.” “Tụ điện giấy là tụ điện dùng lớp giấy làm điện môi còn 2 bản là 2 lá thiếc hay nhôm. Tụ điện mica dùng mica làm chất điện môi. Tụ điện mica có hiệu điện thế giới hạn cao, tới hàng nghìn vôn. Tụ điện hóa học là loại tụ điện mà chất điện môi giữa 2 bản là 1 lớp nhôm oxit rất mỏng được tạo nên bằng phương pháp điện phân. Vì lớp điện môi mỏng nên tụ điện hóa học có điện dung khá lớn. Tuy nhiên tụ điện hóa học có nhược điểm là chỉ mắc được theo 1 chiều nhất định; nếu vô ý mắc nhầm, tụ điện sẽ bị hỏng. Tụ điện xoay là tụ điện có điện dung biến đổi. Nó gồm 2 hệ tám kim loại đặt cách điện với nhau; 1 hệ cố định, hệ kia có thể quay xung quanh 1 trục (Khôi, Thuần, et al., 2013, Hình 7.4: Tụ điện xoay, p. 34) (Khôi, Thuần, et al., 2013). Khi xoay núm tụ điện, ta làm cho phần diện tích đối diện của các bản thay đổi, do đó điện dung của tụ điện thay đổi. Điện dung lớn nhất của tụ điện xoay thường không vượt quá vài nghìn picofara.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, pp. 33–34

1.7.3 Ghép tụ điện

“Trong thực tế, muốn có tụ điện với điện dung thích hợp hay muốn có hiệu điện thế cần thiết, người ta phải ghép các tụ điện thành bộ tụ điện. Trong bài này ta chỉ nói về 2 cách ghép cơ bản: ghép song song & ghép nối tiếp.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 34

1.7.3.1 Ghép song song

“2 tụ điện được ghép với nhau như ở Fig. 1.26 gọi là *ghép song song*.”



Hình 1.26: 2 tụ điện ghép song song, Khôi, Thuần, et al., 2013, Hình 7.5, p. 34.

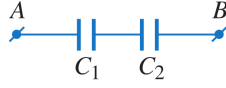
Trong cách ghép này, các tụ điện trong bộ đều được mắc vào cùng hiệu điện thế. Gọi điện dung của 2 tụ điện đó là C_1, C_2 thì điện tích của các tụ điện là $Q_1 = C_1 U$, $Q_2 = C_2 U$. Gọi điện tích của bộ tụ điện là Q thì $Q = Q_1 + Q_2 = (C_1 + C_2)U$. Suy ra: $\frac{Q}{U} = C_1 + C_2$. Thương số $\frac{Q}{U}$ là điện dung tương đương của bộ tụ điện. Ký hiệu điện dung tương đương là C thì $C = C_1 + C_2$. Từ đó suy ra điện dung tương đương của bộ gồm n tụ điện ghép song song với nhau là:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i = C_1 + C_2 + \dots + C_n. \quad (1.7.4)$$

” – Khôi, Thuần, et al., 2013, pp. 34–35

1.7.3.2 Ghép nối tiếp

“2 tụ điện ghép với nhau như Fig. 1.27 gọi là *ghép nối tiếp*.”



Hình 1.27: 2 tụ điện ghép nối tiếp, Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 7.6, p. 35.

Trong cách ghép này, bản thứ 2 của tụ điện C_1 được nối với bản thứ nhất của tụ điện C_2 . Nếu số tụ điện được ghép nhiều hơn 2 thì bản thứ 2 của tụ điện C_2 lại nối với bản thứ nhất của tụ điện C_3, \dots còn bản thứ nhất của tụ điện C_1 được nối với 1 cực & bản thứ 2 của tụ điện cuối cùng được nối với cực kia của nguồn điện. Gọi U là hiệu điện thế của bộ tụ điện đó thì $U = U_1 + U_2$. Gọi điện dung của bộ tụ điện là C thì từ công thức vừa viết ta suy ra: $\frac{Q}{C} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2}$. Giả sử rằng trước khi ghép, các tụ điện không tích điện. Nếu vậy, khi ghép nối tiếp thì điện tích của các tụ điện trong bộ bằng nhau. Người ta coi đó cũng là điện tích của bộ tụ điện: $Q = Q_1 = Q_2$. Từ đó rút ra: $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$. Đối với trường hợp ghép n tụ điện, $n \in \mathbb{N}^*$, $n \geq 2$, ta có thể viết:

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}. \quad (1.7.5)$$

” – Khôi, Thuận, et al., 2013, pp. 35–36

1.7.4 Chai Leiden – Leiden/Leyden jar

“Chai Leiden là tụ điện cổ nhất. 2 bản của nó là 2 lá thiếc dán sát vào thành chai thủy tinh, 1 lá dán vào thành trong, lá kia dán vào thành ngoài. Vì vậy có thể coi đó là loại tụ điện thủy tinh. Chai Leiden có kích thước lớn, đồng thời khi hiệu điện thế cao, thủy tinh không còn là chất điện môi tốt. Do đó, ngày nay trong kỹ thuật, người ta không dùng chai Leiden & nói chung người ta cũng không dùng tụ điện thủy tinh. Hiện nay chai Leiden chỉ được dùng trong các máy phát tĩnh điện trong nhà trường.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 37

Có thể đọc thêm ở [Wikipedia/chai Leiden](#) & [Wikipedia/Leyden jar](#).

1.8 Năng Lượng Điện Trường

1.8.1 Năng lượng của tụ điện

1.8.1.1 Nhận xét

“Trong bộ đèn của máy ảnh có 1 tụ điện. Tụ điện này được tích điện nhờ bộ pin nhỏ & bộ đổi điện. Khi bấm máy để chụp ảnh trong bóng tối, ta thấy đèn lóe sáng. Năng lượng làm cho đèn lóe sáng là do tụ điện cung cấp. Điều đó chứng tỏ tụ điện tích điện thì có năng lượng. Ta gọi đó là *năng lượng của tụ điện*.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 38

1.8.1.2 Công thức tính năng lượng của tụ điện

“Giả sử, điện tích được đưa dần từ xa đến các bản tụ điện, khi đó, ta cần thực hiện công. Theo định luật bảo toàn năng lượng, công này bằng năng lượng của tụ điện. Vì vậy, để tính năng lượng của tụ điện, ta tính công cần thực hiện để đưa điện tích đến các bản. Đầu tiên điện tích của tụ điện bằng 0, hiệu điện thế của tụ điện cũng bằng 0. Năng lượng của tụ điện lúc đó bằng 0. Sau đó, điện tích của tụ điện tăng dần, hiệu điện thế cũng tăng & luôn luôn tỷ lệ với điện tích. Cuối cùng, điện tích của tụ điện bằng Q , hiệu điện thế của tụ điện bằng U . Giá trị trung bình của hiệu điện thế của tụ điện trong quá trình tích điện là $\frac{U}{2}$. Do đó công mà nguồn điện đã thực hiện là: $A = Q \frac{U}{2}$. Vậy năng lượng của tụ điện là:

$$W = \frac{QU}{2}. \quad (1.8.1)$$

Sử dụng công thức (1.7.1) còn có thể viết W dưới dạng sau:

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{Q^2}{2C}. \quad (1.8.2)$$

” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 38

1.8.2 Năng lượng điện trường

“Khi tụ điện tích điện, thì trong tụ điện có điện trường. Vì vậy, năng lượng của tụ điện chính là *năng lượng của điện trường trong tụ điện*. Sử dụng các công thức (1.7.3) & (1.4.6) để rút ra các biểu thức của C & U . Sau đó, thay các biểu thức của C & U vừa rút ra vào biểu thức $\frac{CU^2}{2}$. Ngoài ra, gọi V là thể tích khoảng không gian giữa 2 bản tụ điện phẳng thì $V = Sd$. Cuối cùng ta được công thức tính năng lượng điện trường trong tụ điện phẳng:

$$W = \frac{\varepsilon E^2}{9 \cdot 10^9 \cdot 8\pi} V. \quad (1.8.3)$$

Vì điện trường trong tụ điện phẳng là điện trường đều, nên từ (1.8.3) có thể suy ra công thức xác định năng lượng điện trường trong 1 đơn vị thể tích, gọi là *mật độ năng lượng điện trường*:

$$w = \frac{\varepsilon E^2}{9 \cdot 10^9 \cdot 8\pi}. \quad (1.8.4)$$

Công thức (1.8.4) có ý nghĩa tổng quát, nó đúng cả cho trường hợp điện trường không đều & điện trường phụ thuộc thời gian.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 39

1.8.3 Năng lượng & công suất phóng điện của tụ điện

“Thông thường, năng lượng điện trường tích trữ trong tụ điện là không lớn. Tuy nhiên, nếu làm cho tụ điện giải phóng năng lượng trong 1 khoảng thời gian rất ngắn thì công suất cũng đáng kể. E.g., trong việc chụp ảnh cực nhanh, thời gian phóng điện của tụ điện trong bộ đèn vào khoảng $2 \cdot 10^{-2}$ s đến 10^{-6} s, thậm chí có thể còn ngắn hơn nữa. Trong khoảng thời gian rất ngắn đó, đèn chiếu phát sáng rất mạnh. Trong y tế, người ta cũng dùng cách phóng điện của tụ điện qua tim để làm ngừng 1 cách nhanh chóng những cơn loạn nhịp tim của người bị bệnh đau tim. Đặt 2 điện cực trên ngực người bệnh ở chỗ gần tim. 2 bản của tụ điện có hiệu điện thế vào khoảng 1000 vôn được nối với 2 điện cực đó. Thời gian phóng điện vào khoảng vài phần nghìn giây. Trong những trường hợp trên, công suất phóng điện tức thời của tụ điện có thể có giá trị vào khoảng hàng chục kilôoát đến hàng trăm kilôoát.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 40

1.9 Bài Tập về Tụ Điện

Bài toán 1.9.1 (Khôi, Thuần, et al., 2013, 1., p. 41). 2 bản của 1 tụ điện phẳng là các hình tròn, tụ điện được tích điện sao cho điện trường trong tụ điện bằng $3 \cdot 10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$. Khi đó điện tích của tụ điện là $q = 100 \text{ nC}$. Tính bán kính của các bản. Cho biết bên trong tụ điện là không khí.

Bài toán 1.9.2 (Khôi, Thuần, et al., 2013, 2., p. 41). Có 2 tụ điện, tụ điện thứ nhất điện dung $C_1 = 3 \mu\text{F}$, tích điện đến hiệu điện thế $U_1 = 300 \text{ V}$, tụ điện thứ 2 điện dung $C_2 = 2 \mu\text{F}$, tích điện đến hiệu điện thế $U_2 = 200 \text{ V}$. (a) Xác định hiệu điện thế giữa các bản của tụ điện khi nối 2 bản mang điện tích cùng dấu của 2 tụ điện đó với nhau. (b) Tính nhiệt lượng tỏa ra sau khi nối các bản.

Bài toán 1.9.3 (Khôi, Thuần, et al., 2013, 3., p. 42). 1 bộ tụ điện gồm $n = 10$ tụ điện có điện dung giống nhau ghép nối tiếp với nhau. Bộ tụ điện được nối với hiệu điện thế $U = 150 \text{ V}$. (a) Xác định độ biến thiên năng lượng của bộ tụ điện sau khi có 1 tụ điện của bộ bị đánh thủng. Có nhận xét gì về kết quả tính được? (b) Khi tụ điện nối trên bị đánh thủng thì năng lượng của bộ tụ điện bị tiêu hao do sự phóng điện. Tìm năng lượng tiêu hao đó. Cho biết điện dung của mỗi tụ điện là $C = 8 \mu\text{F}$.

Xem Sách: Phan Thành Văn, Bài tập nâng cao Vật lý 9.

1.10 Máy Sao Chụp Quang Học (Photocopy)

“Bộ phận quan trọng nhất trong máy sao chụp quang học là 1 mặt trụ mà người ta gọi là *cái trống*. Trống lam bằng nhôm có phủ 1 lớp chất bán dẫn, e.g., selen. Nhôm là chất dẫn điện tốt; còn selen thì khi thiếu ánh sáng nó là chất cách điện, khi được chiếu sáng nó trở thành dẫn điện tốt. Mặt trống ở gần 1 điện cực mà ta gọi là *điện cực trống* (1). Quá trình máy sao chụp văn bản có thể chia thành mấy bước như sau (Khôi, Thuần, et al., 2013, Hình 9.1, p. 44):

1. Tích điện cho trống. Khi trống quay, mặt của nó lướt qua điện cực trống. Điện cực trống là điện cực dương, vì vậy khi quay qua điện cực này thì mặt trống nhiễm điện dương.
2. Hiện ảnh trên mặt trống. Giả sử tài liệu gốc là số 3. Nhờ hệ thống gương & thấu kính (2), ảnh của số 3 được hiện trên mặt trống. Thành ra trên mặt trống có chỗ tối, chỗ sáng. Ở chỗ sáng thì selen trở thành dẫn điện tốt, vì vậy các electron từ nhôm truyền sang selen làm cho chỗ đó trở thành trung hòa. Còn chỗ tối, i.e., ảnh của số 3, vẫn còn nhiễm điện dương.

3. Phun mực in vào trống. Mực in là loại bột màu đen đã được nhiễm điện âm. Vì vậy, khi các hạt mực này (3) đến mặt trống, chúng sẽ bị hút vào chỗ nhiễm điện dương ở mặt trống, e.g., chỗ có ảnh của số 3.
4. Bước chuyển nét mực trên mặt trống sang trang giấy trắng. Muốn vậy người ta cho trang giấy chuyển động qua 1 điện cực thứ 2 gọi là *điện cực giấy* (4). Điện cực này làm cho trang giấy cũng nhiễm điện dương. Do đó nét mực từ mặt trống bây giờ lại được chuyển sang trang giấy.
5. Trang giấy đã có nét mực di chuyển qua bộ phận làm nóng để các hạt mực chảy ra kết dính vào nhau & kết dính vào giấy.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 44

1.11 Tóm Tắt Chương 1

1.11.1 Định luật Coulomb

“Độ lớn của lực tương tác giữa 2 điện tích điểm trong chân không: $F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$ trong đó $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$. Phương của lực tương tác giữa 2 điện tích điểm là đường thẳng nối 2 điện tích điểm đó. 2 điện tích cùng dấu thì đẩy nhau, 2 điện tích khác dấu thì hút nhau.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 45

1.11.2 Điện trường

“Xung quanh điện tích tồn tại điện trường. Điện trường có tính chất cơ bản là tác dụng lực điện lên điện tích đặt trong nó. Cường độ điện trường là đại lượng đặc trưng cho điện trường về mặt tác dụng lực $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$. Cường độ điện trường gây ra bởi điện tích điểm Q tại điểm cách nó 1 khoảng r được xác định bằng công thức $E = k \frac{|Q|}{r^2}$.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 45

1.11.3 Công của lực điện & hiệu điện thế

“Công của lực điện tác dụng lên 1 điện tích không phụ thuộc vào dạng đường đi của điện tích mà chỉ phụ thuộc vào vị trí của điểm đầu & điểm cuối của đường đi trong điện trường. Công thức định nghĩa *hiệu điện thế* $U_{MN} = \frac{A_{MN}}{q}$. Công thức liên hệ giữa cường độ điện trường & hiệu điện thế trong điện trường đều $E = \frac{U_{MN}}{M'N'}$, M', N' là hình chiếu của M, N lên 1 trục trùng với 1 đường sức bất kỳ.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 45

1.11.4 Tụ điện

“Công thức định nghĩa *điện dung của tụ điện* $C = \frac{Q}{U}$. Điện dung của tụ điện phẳng $C = \frac{\epsilon S}{9 \cdot 10^9 \cdot 4\pi d}$, ϵ là *hằng số điện môi*. Điện dung của n tụ điện ghép song song $C = \sum_{i=1}^n C_i$. Điện dung của n tụ điện ghép nối tiếp $\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$. Năng lượng của tụ điện $W = \frac{QU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{Q^2}{2C}$. Mật độ năng lượng điện trường $w = \frac{\epsilon E^2}{9 \cdot 10^9 \cdot 8\pi}$.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 45

Chương 2

Dòng Điện Không Đổi

Nội dung. Các kiến thức về nguồn điện (đặc biệt là nguồn điện hóa học), máy thu điện & các định luật cơ bản về dòng điện không đổi như định luật Jun–Len-xơ, định luật Ôm đối với toàn mạch, đối với các loại mạch điện.

2.1 Dòng Điện Không Đổi. Nguồn Điện

2.1.1 Dòng điện. Các tác dụng của dòng điện

- “Dòng điện là dòng các điện tích dịch chuyển có hướng. E.g., dòng điện xuất hiện khi có sự dịch chuyển có hướng của các electron tự do trong kim loại, hoặc sự dịch chuyển có hướng của ion dương & ion âm trong dung dịch điện phân. Electron tự do, các ion dương & âm gây nên dòng điện được gọi là các *hạt tải điện*.”
- *Tác dụng đặc trưng của dòng điện là tác dụng từ.* Tùy theo môi trường mà dòng điện còn có thể có tác dụng nhiệt & tác dụng hóa học. Các tác dụng này dẫn tới tác dụng sinh lý & các tác dụng khác.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 48

2.1.2 Cường độ dòng điện. Định luật Ôm

2.1.2.1 Định nghĩa

“Cường độ dòng điện đặc trưng cho tác dụng mạnh, yếu của dòng điện, được xác định bằng thương số giữa điện lượng Δq dịch chuyển qua tiết diện thẳng của vật dẫn trong khoảng thời gian Δt & khoảng thời gian đó:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}. \quad (2.1.1)$$

Nếu $\Delta t = 1$ s, thì $I = \Delta q$. Như vậy, cường độ dòng điện được xác định bằng điện lượng chuyển qua tiết diện thẳng của vật dẫn trong 1 đơn vị thời gian. Nói chung, cường độ dòng điện có thể thay đổi theo thời gian & công thức trên chỉ cho ta biết giá trị trung bình của cường độ dòng điện trong khoảng thời gian Δt . Dòng điện có chiều & cường độ không thay đổi theo thời gian gọi là *dòng điện không đổi*. Đối với dòng điện không đổi, công thức (2.1.1) trở thành:

$$I = \frac{q}{t}, \quad (2.1.2)$$

trong đó q là điện lượng dịch chuyển qua tiết diện thẳng của vật dẫn trong khoảng thời gian t . Trong hệ SI, đơn vị cường độ dòng điện là ampe, ký hiệu là A. Người ta cũng hay dùng các ước của ampe: 1 miliampe (mA) = 10^{-3} ampe (A), 1 microampe (μA) = 10^{-6} ampe (A). “Chiều quy ước của dòng điện là chiều dịch chuyển của các điện tích dương. Như vậy, trong dây dẫn kim loại, chiều dòng điện ngược với chiều dịch chuyển của các electron tự do.” “Trong thực tế, có khi người ta gọi dòng điện không đổi là *dòng điện 1 chiều*. Nhưng cần lưu ý rằng, có những dòng điện không đổi chiều nhưng lại có cường độ thay đổi, như dòng xung điện 1 chiều.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, pp. 48–49

2.1.2.2 Định luật Ôm đối với đoạn mạch chỉ chứa điện trở R

Định luật 2.1.1 (Định luật Ôm đối với đoạn mạch chỉ chứa điện trở R). *Cường độ dòng điện chạy qua đoạn mạch chỉ chứa điện trở R tỷ lệ thuận với hiệu điện thế U đặt vào 2 đầu đoạn mạch & tỷ lệ nghịch với điện trở R :*

$$I = \frac{U}{R}. \quad (2.1.3)$$

“Công thức (2.1.3) còn được viết dưới dạng:

$$U = V_A - V_B = IR, \quad (2.1.4)$$

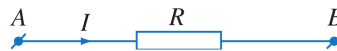
với I là *cường độ dòng điện* chạy từ đầu A đến đầu B của đoạn mạch. Tích IR được gọi là *độ giảm hiệu thế* trên điện trở R . Công thức (2.1.3) có thể viết lại dưới dạng:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (2.1.5)$$

Công thức này giúp ta xác định điện trở R của 1 vật dẫn nếu biết cường độ dòng điện I đi qua vật dẫn, khi hiệu điện thế ở 2 đầu vật dẫn là U . Trong trường hợp điện trở R của vật dẫn có cùng 1 giá trị khi đặt vào nó những giá trị hiệu điện thế U khác nhau, ta nói là *vật dẫn tuân theo định luật Ôm*.”

Dòng điện	I (A)
Bóng đèn dây tóc	$0.1 \div 5$
Bàn là	$3.0 \div 6$
Lò sưởi điện	$5.0 \div 15$
Động cơ của máy công cụ	10
Xe lửa chạy điện	≈ 500
Sét	$6000 \div 50000$

Bảng 2.1: 1 số giá trị cường độ dòng điện hay gặp trong cuộc sống, Khôi, Thuần, et al., 2013, Bảng 10.1, p. 49.

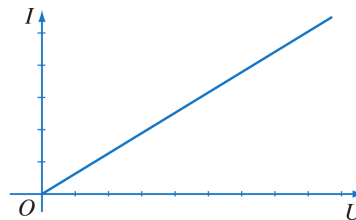


Hình 2.1: Đoạn mạch chỉ có điện trở R , Khôi, Thuần, et al., 2013, Hình 10.1, p. 49.

“Dòng điện chạy từ đầu A có điện thế V_A cao, đến đầu B có điện thế V_B thấp hơn. Điện trở R của vật dẫn còn được gọi là *điện trở thuần* gọi tắt là *điện trở*, nó biểu thị tác dụng nhiệt của dòng điện.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 49

2.1.2.3 Đặc tuyến vôn–ampe

“Đường biểu diễn sự phụ thuộc của cường độ dòng điện I chạy qua vật dẫn vào hiệu điện thế U đặt vào vật được gọi là *đường đặc trưng vôn–ampe* hay *đặc tuyến vôn–ampe* của vật dẫn. Đối với dây dẫn kim loại, ở nhiệt độ nhất định, đặc tuyến vôn–ampe là 1 đoạn thẳng (Fig. ??), vì R không phụ thuộc hiệu điện thế U . Vậy dây dẫn kim loại ở nhiệt độ không đổi là vật dẫn tuân theo định luật Ôm.” – Khôi, Thuần, et al., 2013, pp. 49–50



Hình 2.2: Đặc tuyến vôn–ampe của 1 đoạn dây dẫn ở nhiệt độ không đổi, Khôi, Thuần, et al., 2013, Hình 10.2, p. 50.

“Với vật dẫn không tuân theo định luật Ôm, đặc tuyến vôn–ampe có dạng đường cong, vì điện trở phụ thuộc hiệu điện thế U hoặc cường độ dòng điện I (xem Khôi, Thuần, et al., 2013, Chap. II).” – Khôi, Thuần, et al., 2013, p. 50

2.1.3 Nguồn điện

“Nguồn điện là thiết bị để tạo ra & duy trì hiệu điện thế, nhằm duy trì dòng điện trong mạch.

- (a) Nguồn điện nào cũng có 2 cực, là *cực dương* (+) & *cực âm* (–), luôn được nhiễm điện dương, âm khác nhau; giữ 2 cực đó có 1 hiệu điện thế được duy trì. Để tạo ra các điện cực như vậy, trong nguồn điện phải có lực thực hiện công để tách các electron ra khỏi nguyên tử trung hòa, rồi chuyển các electron hoặc ion dương được tạo thành như thế ra khỏi mỗi cực. Khi đó, 1 cực sẽ thừa electron được gọi là *cực âm*, cực còn lại thiếu electron hoặc thừa ít electron hơn cực kia gọi

là *cực dương* của nguồn điện. Vì lực điện tác dụng giữa electron & ion dương là lực hút tĩnh điện, nên để tác chúng ra xa nhau như thế, bên trong nguồn điện cần phải có những lực mà bản chất không phải là lực tĩnh điện; người ta gọi đó là *lực lạ*.

- (b) Khi ta nối 2 cực của nguồn điện bằng 1 vật dẫn, tạo thành mạch kín, thì trong mạch có dòng điện. Các hạt tải điện dương từ cực dương của nguồn điện (có điện thế cao) chạy đến cực âm (có điện thế thấp) (Fig. 2.3a). Nếu vật dẫn làm bằng kim loại thì chỉ có sự dịch chuyển của các electron tự do từ cực âm, qua vật dẫn, đến cực dương (Fig. 2.3b).



Hình 2.3: Chuyển động của hạt tải điện ở bên trong & bên ngoài nguồn điện (\vec{F}_l là lực lạ bên trong nguồn), Khôi, Thuận, et al., 2013, Hình 10.3, p. 50.

Bên trong nguồn điện, dưới tác dụng của lực lạ, các hạt tải điện dương lại dịch chuyển ngược chiều điện trường từ cực âm đến cực dương. Khi đó, lực lạ thực hiện 1 công thắng công cản của trường tĩnh điện bên trong nguồn điện.

Trong các loại nguồn điện khác nhau, lực lạ có bản chất khác nhau. E.g., trong pin, acquy thì lực lạ là lực hóa học; trong các máy phát điện, lực lạ là lực từ tác dụng lên các electron chuyển động trong từ trường. Ở bên trong nguồn điện phải có 1 nguồn năng lượng nào đó cho phép nó thực hiện công lên các điện tích & buộc chúng chuyển động theo chiều đã nói. Công của lực lạ thực hiện khi đó được gọi là *công của nguồn điện*.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 50

2.1.4 Suất điện động của nguồn điện

“Để đặc trưng cho khả năng thực hiện công của nguồn điện người ta đưa vào đại lượng gọi là *suất điện động* của nguồn điện, thường ký hiệu là \mathcal{E} .

Định nghĩa 2.1.1 (Suất điện động của nguồn điện). Suất điện động \mathcal{E} của nguồn điện là đại lượng đặc trưng cho khả năng thực hiện công của nguồn điện \mathcal{E} đo bằng thương số giữa công A của lực lạ thực hiện khi làm dịch chuyển 1 điện tích dương q bên trong nguồn điện từ cực âm đến cực dương \mathcal{E} độ lớn của điện tích q đó.

$$\mathcal{E} = \frac{A}{q}. \quad (2.1.6)$$

“Đơn vị của suất điện động là vôn, ký hiệu là V. Mỗi nguồn điện có 1 suất điện động nhất định, không đổi. Ngoài suất điện động \mathcal{E} , nguồn điện là vật dẫn nên còn có điện trở, gọi là *điện trở trong* của nguồn điện. Số vôn ghi trên pin, acquy cho biết suất điện động của nó. Suất điện động của nguồn điện có giá trị bằng hiệu điện thế giữa 2 cực của nó khi mạch ngoài hở.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, pp. 50–51

“Cường độ dòng điện gây ra hiện tượng “điện giật” có giá trị nhỏ nhất I_c phụ thuộc vào thời gian tác dụng Δt . Bảng 2.2 là kết quả đã thu được khi có “điện giật” xảy ra trong các điều kiện được biết. Nếu vượt quá các giá trị này, thì sự kiện “điện giật nguy hiểm chết người” là có thực.

Δt (s)	30	3	1	0.1
I_c (mA)	10	100	150	500

Bảng 2.2: Khôi, Thuận, et al., 2013, Bảng 10.2, p. 52.

Ngoài ra, những rủi ro vì “điện giật” phụ thuộc không chỉ vào giá trị của cường độ dòng điện chạy qua, mà còn vào đường đi của dòng điện qua cơ thể. 1 dòng điện chạy xuyên qua cánh tay từ đầu ngón tay tới khuỷu tay có thể gây đau nhói & khó chịu. Nhưng cũng dòng điện ấy mà chạy từ bàn tay nọ sang bàn tay kia thông qua lồng ngực, thì có thể gây tai nạn “điện giật” chết người. Lý do là, lúc chạy ngang qua lồng ngực, dòng điện tác động trực tiếp tới sự hoạt động của các cơ điều khiển sự thở & đặc biệt là tới các cơ tim. 1 dòng điện 20 mA có thể gây khó thở, nếu tăng tới 75 mA có thể gây ngưng thở hoàn toàn.” – Khôi, Thuận, et al., 2013, p. 52

2.2 Pin & Acquy**2.3 Điện Năng & Công Suất Điện. Định Luật Jun–Len-xơ****2.4 Định Luật Ôm Đối với Toàn Mạch****2.5 Định Luật Ôm Đối với Các Loại Mạch Điện. Mắc Các Nguồn Điện Thành Bộ****2.6 Bài Tập về Định Luật Ôm & Công Suất Điện****2.7 Điện Tâm Đồ****2.8 Thực Hành: Đo Suất Điện Động & Điện Trở Trong của Nguồn Điện****2.9 Tóm Tắt Chương 2**

Chương 3

Dòng Điện Trong Các Môi Trường

- 3.1 Dòng Điện Trong Kim Loại
- 3.2 Hiện Tượng Nhiệt Điện. Hiện Tượng Siêu Dẫn
- 3.3 Dòng Điện Trong Chất Điện Phân. Định Luật Faraday
- 3.4 Bài Tập về Dòng Điện Trong Kim Loại & Chất Điện Phân
- 3.5 Dòng Điện Trong Chân Không
- 3.6 Dòng Điện Trong Chất Khí
- 3.7 Dòng Điện Trong Chất Bán Dẫn
- 3.8 Linh Kiện Bán Dẫn
- 3.9 Thực Hành: Khảo Sát Đặc Tính Chỉnh Lưu của Diot Bán Dẫn & Đặc Tính Khuếch Đại của Tranzito
- 3.10 Tóm Tắt Chương 3

Chương 4

Từ Trường

- 4.1 Từ Trường
- 4.2 Phương & Chiều của Lực Từ Tác Dụng Lên Dòng Điện
- 4.3 Cảm Ứng Từ. Định Luật Ampe
- 4.4 Từ Trường của 1 Số Dòng Điện Có Dạng Đơn Giản
- 4.5 Bài Tập về Từ Trường
- 4.6 Tương Tác Giữa 2 Dòng Điện Thẳng Song Song. Định Nghĩa Đơn Vị Ampe
- 4.7 Lực Lo-ren-xơ
- 4.8 Khung Dây có Dòng Điện Đặt trong Từ Trường
- 4.9 Sự Từ Hóa Các Chất. Sắt Từ
- 4.10 Từ Trường Trái Đất
- 4.11 Bài Tập về Lực Từ
- 4.12 Từ Trường & Máy Gia Tốc
- 4.13 Thực Hành: Xác Định Thành Phần Năm Ngang của Từ Trường Trái Đất
- 4.14 Tóm Tắt Chương 4

Chương 5

Cảm Ứng Điện Từ

- 5.1 Hiện Tượng Cảm Ứng Điện Từ. Suất Điện Động Cảm Ứng
- 5.2 Suất Điện Động Cảm Ứng Tron 1 Đoạn Dây Dẫn Chuyển Động
- 5.3 Dòng Điện Fu-cô
- 5.4 Hiện Tượng Tự Cảm
- 5.5 Năng Lượng Từ Trường
- 5.6 Bài Tập về Cảm Ứng Điện Từ
- 5.7 1 Số Mốc Thời Gian Đáng Lưu Ý Trong Lĩnh Vực Điện Từ
- 5.8 Tóm Tắt Chương 5

Phần II

Quang Hình Học

Chương 6

Khúc Xạ Ánh Sáng

6.1 Khúc Xạ Ánh Sáng

6.2 Phản Xạ Toàn Phần

6.3 Bài Tập về Khúc Xạ Ánh Sáng & Phản Xạ Toàn Phần

6.4 Bài Đọc Thêm. Hiện Tượng Ảo Ảnh

6.5 Tóm Tắt Chương 6

Chương 7

Mắt. Các Dụng Cụ Quang

7.1 Lăng Kính

7.2 Thấu Kính Mỏng

7.3 Bài Tập về Lăng Kính & Thấu Kính Mỏng

7.4 Mắt

7.5 Các Tật của Mắt & Cách Khắc Phục

7.6 Kính Lúp

7.7 Kính Hiển Vi

7.8 Kính Thiên Văn

7.9 Bài Tập về Dụng Cụ Quang

7.10 Thực Hành: Xác Định Chiết Suất của Nước & Tiêu Cự của Thấu Kính Phân Kỳ

7.11 Tóm Tắt Chương 7

Tài liệu tham khảo

- Hân, Bùi Quang et al. (2006). *Giải Toán Vật Lý 11, Tập 1: Điện & Điện Từ*. Tái bản lần thứ 12. Nhà Xuất Bản Giáo Dục, p. 392.
- Khôi, Nguyễn Thế, Nguyễn Phúc Thuận, et al. (2013). *Vật Lý 11 nâng cao*. Tái bản lần thứ 6. Nhà Xuất Bản Giáo Dục Việt Nam, p. 292.
- Khôi, Nguyễn Thế, Phạm Quý Tư, et al. (2008). *Vật Lý 10 nâng cao*. Tái bản lần thứ 4. Nhà Xuất Bản Giáo Dục Việt Nam, p. 333.
- Thái, Đỗ Đức et al. (2022). *Toán 10, tập 1*. Nhà Xuất Bản Đại Học Sư Phạm, p. 107.