

### 3-1. 장전기 실험

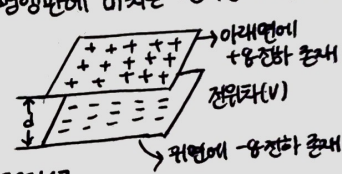
#### 1. 실험목적

쿨롱의 법칙은 두 전하의 크기에 비례하고 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례하는 힘으로 나타낸다. 두 전하 사이의 힘을 측정하여 쿨롱의 법칙을 확인한다.

#### 2. 실험이론

- 전기현상의 원리를 전하라고 부르며, 전하는 양과 같은 한 속성이다. 전하를 띤 물체를 대전체라고 하며, 이러한 대전체 사이에도 힘이 작용한다. 같은 종류의 전하 사이에는 서로 밀어내는 힘이, 다른 종류의 전하 사이에는 서로 끄는 힘이 작용한다. 쿨롱은 이와 같은 전하력이 두 대전체가 띤 전하량과 대전체 사이의 거리에 의해 어떻게 다른지를 조사했고, 그 결과 전하적 힘의 크기는 두전하량의 곱에 비례하고 대전체 사이의 거리제곱에 반비례한다는 쿨롱의 법칙을 알아냈다. ( $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$ )
- 전하적 힘 상수  $1/4\pi\epsilon_0$ 는  $9.9 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$ 이며,  $\epsilon_0$ 는 진공의 유전상수로 값은  $8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{N}\cdot\text{m}^2)$ 이다.
- 중력과 같이 전하적 힘도  $r$ 의 제곱에 반비례한다.

- 단면적이 A인 도체 평행판이 대전되어 d만큼 떨어져 전위차가 V가 되었을 때, 두 판 사이의 전장장은  $E = \frac{V}{d}$ 이며, 하나의 전하를 구할 때는 특정장량이  $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$ 가 된다. 한쪽 평행판의 전하에 의해 다른 쪽 평행판에 미치는 전기장의 세기는  $E' = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ 이다. 다른쪽 평행판 전하에 가해지는 전하적 힘의 크기는  $F = \frac{\epsilon_0 A V^2}{2d^2}$ 로 나타낼 수 있다. (그림1참고)
- 본 실험에서는 그림1과 같이 단면적이 A인 두 도체 평행판에 전압 V를 가하여 전하를 대전시켰을 때 평행판에 가해지는 힘은 저울 무게 망으로 측정하여  $F = \frac{\epsilon_0 A V^2}{2d^2}$ 로 계산되는 힘과 비교한다. 이 힘을 비교하여 위식으로부터 두 평행판 사이에 생기는 양의 유전체에 대한 유전율도 계산 가능하다. [그림1]



#### 3. 실험 장비 및 실험 과정

- (1) 실험장비
- 직류 고압 전원 장치
  - 전하 거울
  - 도체 평행판
  - 마이콤미터
  - 전압계
  - 줄자
  - 수평 조절 장치

#### (2) 실험과정

- ① 전극이 무거운 상자 안쪽 바닥에 안정되게 놓여있는지 확인한다. 만약 불안정하다면 수평으로 안정되게 놓이도록 한다.
- ② 전원장치의 스위치는 OFF상태로 있어야 한다. 전원장치의 스위치를 ON으로 하게 되면 전압 조절 손잡이를 조심조심 돌려준다.
- ③ 평행판의 간격을 측정하여 단면적을 계산한다.
- ④ 고전압용 전선을 전원장치의 고압단자와 접지 단자를 평행판 각각에 연결한다. (단, 이 선들이 전극을 위에 놓이거나 평행판의 수평 상태를 방해하지 않도록 배치한다.)
- ⑤ 상단 평행판에 부착된 아이즈로더를 천천히 약하게 돌려서 위판을 아래 판 쪽으로 밀착시켜 서로 평행을 이루도록 맞춘다. 두 평행판이 서로에게 평행하지 않을 경우로 확인한다. 판이 휘어있거나 평행하지 않으면 판이 서로 평행하도록 조절한다.
- ⑥ 평행 상태를 확인한 후 아이즈로더를 안쪽으로 돌려서 높은 무게 두 판 간의 사이 간격 d를 조절한다. 두 평행판 사이의 판 내부 사이의 간격을 측정한다. 두 판 사이의 간격을 수 mm정도로 맞춘다.
- ⑦ 전하 저울의 전선을 경추 무게 상자의 앞쪽을 잡고, 간격이 벌어지지 않은 상태에서 전하 저울이 나타내는 무게를 기록한다.
- ⑧ 전원장치의 스위치를 ON으로 하고 전압을 서서히 증가시켜 측정하고자 하는 전압으로 조절한다. (간격이 2mm일 때에는 가하는 전압을 5kV 이상을 넘지 않도록 한다. 간격이 좁을 때 높은 전압을 가하면 두 전극판 사이에 방전이 일어나 저울기에 손상을 줄 수 있다.)
- ⑨ 전압을 변화시키면 전하저울의 표시된 값이 달라진다. 이때 전압과 저울 눈금을 기록한다. (이 변화는 무게가 줄어드는 것을 나타내는 "-"값을 가한다. 이것은 두 극판 사이에 끌어당기는 힘이 작용하기 때문이다.) 이때 전하저울에 항상 영점을 삼아야 하면 전하적 힘의 크기는  $F = \Delta mg$ 이다. 전압을 증가시키면서 저울의 무게를 측정하고 또, 낮추어도 무게를 측정하여 높은 전압에서도 여러번 반복 측정하여 오차범위가 작아지도록 한다.
- ⑩ 평행판을 바꿀 때 전압을 이용해 전압을 +극판에 연결시켜 판에 남아있는 전하를 없애주고 평행판의 거리를 변화시키면서 위와 같은 과정으로 측정을 계속한다.
- ⑪ 단면적이 다른 평행판으로 교환하여 같은 실험을 한다.

### (3) 쌍극자 쌍의 사항

1. 전하를 위에 평행판을 설치한 상태에서 위 판과 아래 판 사이에 고전압의 스파크가 발생하게 되면 전자 저항에 이상이 발생할 수 있으므로, 주의해야 한다. 실험 시작 전에 평행판과 전도체에 묻은 먼지나 이물질을 깨끗이 닦아 이들에 의한 방전이 일어나지 않도록 해야 한다.
2. 고압 단자를 직접 만지지 않도록 한다.
3. 평행판의 +판에는 충전된 전하가 있을 수 있으므로, 전도체를 사용하여 -단자와 접촉시켜 중성화시키도록 한다.
4. 때로는 단자의 접촉 상태가 불량할 수 있으므로, 평행판이 중성화되고 전압이 걸리지 않은 상태에서 몇 밀리미터의 용이터를 사용하여 평행판과 연결선의 다른 끝단을 연결하여 저항이 없는 정상적인 접촉 상태인지를 확인한다.

### 4. 예비과제

두 판 사이에 인력이 작용하게 되어 전압을 가하지 않았을 때에 비해 전압을 가했을 때의 저항의 절댓값은 작게 측정될 것이다.

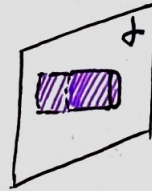
전기적 힘의 크기는  $F = \Delta mg$ 와 동일하게 되고 이는  $\frac{\epsilon_0 A V^2}{2d^2}$  과도 동일하다. 따라서 단면적  $A$ , 전압  $V$ , 두 판 사이 거리  $d$ 를 안다면 유전율  $\epsilon_0$ 도 구할 수 있다. 다른 쪽 평행판에 가해지는 전기적 힘의 크기는  $\frac{\epsilon_0 A V^2}{2d^2}$  이므로, 두 판 사이의 거리가 짧아지고, 단면적이 커지고 전압  $V$ 가 더 커질수록  $F$ 가 커진다는 것, 즉, 인력이 더 크게 작용하여  $\Delta m$ 이 커진다는 사실을 알 수 있다.

$E = \frac{Q}{A\epsilon_0}$  와  $F = \frac{\epsilon_0 A V^2}{2d^2}$  식은 어떻게 유도된 것일까? 전압  $V$ 를 먼저 가우스 법칙을 이용해 구하자.

면적하밀도  $\sigma$ 인 균일하게 대전된 평면에 가우스 면으로 채워를 설정하자.

전기장과 면적하밀도가 수직이므로 0이고, 가우스면의 양쪽 단면에 대해

$$E = \frac{Q}{2A\epsilon_0} \text{가 된다.}$$



그러면 가우스면 (채워)의 둘레 측면은

$$\oint \epsilon_0 \mathbf{E} \cdot d\mathbf{a} = \int_{\text{채워}} E da = 2EA = \frac{Q}{\epsilon_0} \text{ 이므로}$$

이제  $F$  식을 유도하자.  $F = QE$  이므로  $E$ 에  $\frac{Q}{2A\epsilon_0}$ 를 대입하면  $F = \frac{Q^2}{2A\epsilon_0}$  이다.  $Q = CV$ 이고  $C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$  이므로  $Q = \epsilon_0 \frac{VA}{d}$ 로 나타낼 수 있다. 이를  $F$ 에 대입하면  $F = \frac{\epsilon_0 A V^2}{2d^2}$  라는 결과를 얻을 수 있다.

이 실험에서의 오차 원인은 무엇이 있을까?

먼저 평행판이 서로 평행한 것을 확인으로 판단하게 됨으로써 정확히 평행하지 않아, 전기력에 영향을 줄 수 있다.

또 정공 상태에서 실험을 진행하는 것이 아니기 때문에 이론값  $F$ 와 측정값  $F_{\text{실험}}$ 에서의 차이가 발생했을 것이다.

실험의 정확도를 높이기 위해서는 같은 도체 판이라도 실험을 여러 번 진행하여 평균값으로 측정값을 기록해야 한다.

### 5. 참고문헌

1) 인하대학교 물리학과 「기초물리실험II」, 부수월, 2020

2) 천인정 외 11인, 「대학물리학 5판」, 부수월, 2020, 제15장

3) 한국 물리학회, 권위와 자기의 밀도평가, 동아사이언스, 2006, ISBN 89-91344-09-X, 65~66쪽