전자의 비전하 측정

1. 실험제목

전자의 비전하 측정

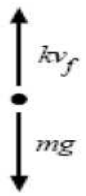
2. 실험목적

밀리컨의 기름방울 실험을 통하여 대전된 기름방울은 균일한 전기장 속에서 운동시켜 관찰된 운동으로부터 기름방울의 전하를 측정하고, 측정한 전하가 전자 전하의 정수배라는 사실로부터 전자하나의 전하를 구한다.

3. 실험이론

1909년 Robert Millikan 은 전자의 전하를 측정하기 위해 oil drop experimen를 실행하였다. 그는 두 개의 금속사이에서 부유하는 약하게 대전된 oil droplet에 전압을 적절히 조절하여 중력과 함께 작용시키는 방법을 사용하였다. 결국 그는 측정값이 특정 값 ($1.6\times10^{-19}coulomd$)의 정수배라는 것을 알아냈으며, 이 값을 전자하나의 전하라고 생각했다. 이 실험에서는 전기장 내에서 매우 천천히 상승하거나 하강하는 droplet중 몇 개를 선택하여 속도를 측정한 후, 각각의 전하를 계산하는 것이다. 또한 전자 전하의 정수배가 되는 것을 확인하는 것이다.

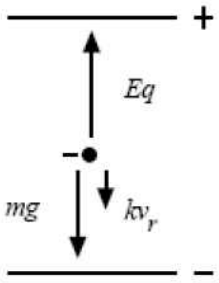
공기 중에서 낙하하는 droplet에는 중력과 공기에 의한 마찰력이 작용한다. droplet이 종단속도에 도달하면, 두 힘은 크기가 동일하고 반대방향으로 작용하므로 다음의 식 (1)이 성립된다.



$$mg = kv_f \qquad (1)$$

v_f : 떨어지는 속도 (대전되지 않고 중력에만 작용할 때의 속도)
k : 공기와droplet 사이의 마찰계수
m : droplet의 질량

droplet이 전기장에 의해 상승할 때에는,droplet의 전기력, 중력,
마찰력이 작용한다. 따라서 식 (2)가 성립한다.



$$Eq = mg + kv_r \qquad (2)$$

E : 전기장의 세기
q : droplet 전하 V_r : 상승속도

위의 두 경우 모두, 공기에 의해 droplet에 작은 부력이 가해지지만 공기의 밀도는 oil의 1/1000정도이기에 무시한다.
식 (1)과 (2)에서 k를 소거하고 q에 대하여 정리하면

$$q = \frac{mg(v_f + v_r)}{Ev_f} \qquad (3)$$

이 된다. 만약, V가 d만큼 떨러진 평판의 전위차라면 전기장 $E = V/d$ 이므로 식 (3)은

$$q = \frac{mgd}{V} \cdot \left(1 + \frac{v_r}{v_f}\right) \qquad (4)$$

d : 축전기 사이 거리
V : 축전기 사이의 전위차

식 (4)에서 질량을 구의 부피와 밀도를 사용하여 표현하기 위해

$$m = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho \qquad (5)$$

a : droplet의 반경
ρ : oil의 밀도

droplet의 반경 a를 계산하기 위해 Stokes' law를 도입한다. (점성이 있는 매질에서 낙하할

때의 속도의 관계)

$$a = \sqrt{\frac{9\eta v_f}{2g\rho}} \qquad (6)$$

η : 점성의 마찰계수
ρ : oil의 밀도

하지만 식(6)의 공식은 낙하속도가 $10^{-3} m/s$보다 낮을 경우에는 잘 맞지 않는다. 그러므로 droplet는 $10^{-4} \sim 10^{-5} m/s$ 범위이므로, 보정계수를 곱해 보정한다.

즉,

$$\eta_{eff} = \eta\left(\frac{1}{1 + b/pa}\right) \qquad (7)$$

b : 일정한 값 (8.20×10^{-3} Pa·m)
p : 대기압력
a : Stokes' law에 의한 droplet 반경

식 (7)을 식 (6)에 대입하고 a에 대하여 정리하면

$$a = \sqrt{\left(\frac{b}{2p}\right)^2 + \frac{9\eta v_f}{2g\rho}} - \frac{b}{2p} \qquad (8)$$

식 (5),(8)을 식 (4)에 대입하면 최종적으로 식 (9)를 얻는다.

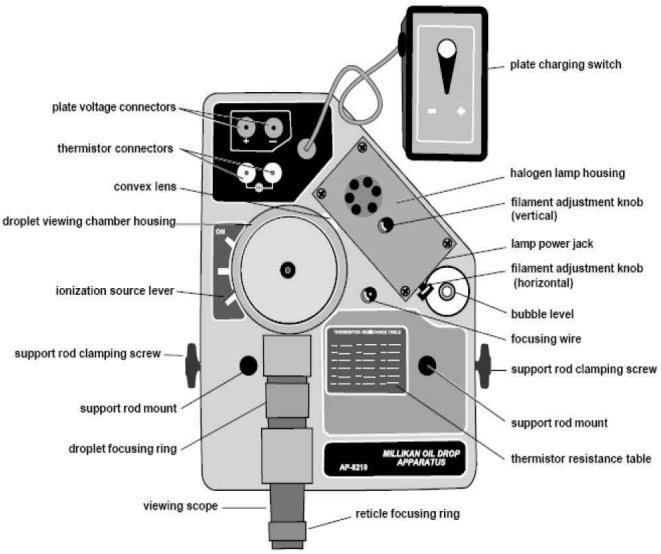
$$q = \frac{4\pi}{3} \cdot \frac{\rho g d}{V}\left[\sqrt{\left(\frac{b}{2p}\right)^2 + \frac{9\eta v_f}{2g\rho}} - \frac{b}{2p}\right]^3 \left(1 + \frac{v_r}{v_f}\right) \qquad (9)$$

이론값과 실험값을 비교하여 오차를 계산하고 오차의 원인에 대하여 생각해 본다.

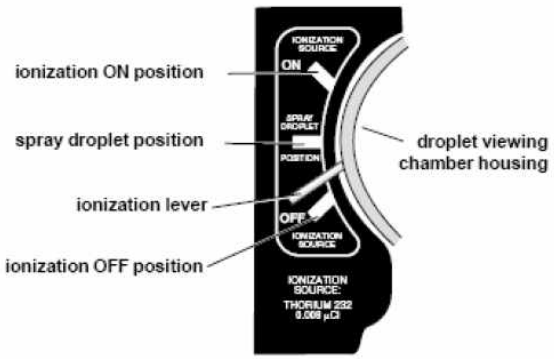
4. 실험기구

Millikan Oil Drop 장치 , 전하스위치 , High voltage power supply, 분무기, 초시계
12 V DC power oil, 지지대, connection lead

<Millikan Oil Drop 장치>

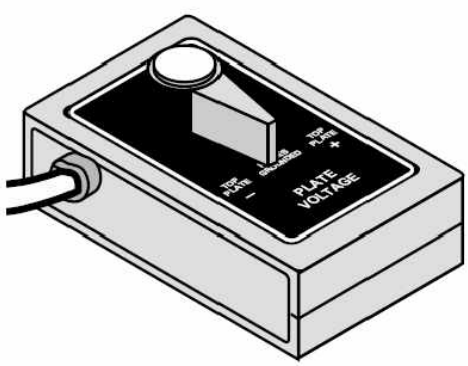


<Ionization source level>



- Lever가 ionization OFF : α입자가 들어가지 못한다. droplet의 속도를 측정할 때 사용한다.
- ON에 있을 경우 ionization : α입자가 노출된다. 그러므로 droplet의 전하를 바꿀 때 사용한다.
- Spray droplet position : droplet이 들어올 때 내부의 공기가 빠져나간다. droplet을 주입할 때 사용한다.

<Plate charging switch>

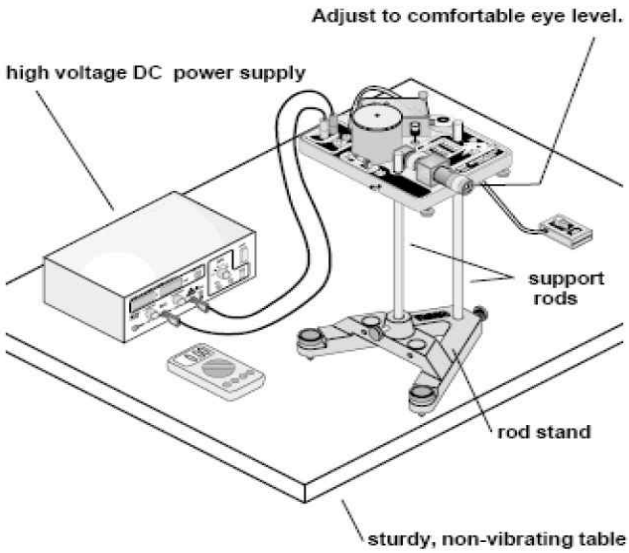


- top plate - : -전하로 대전
- top plate + : +전하로 대전
-Plates Grounded : 전하와 전압이 공급되지 않은 상태

5. 실험방법

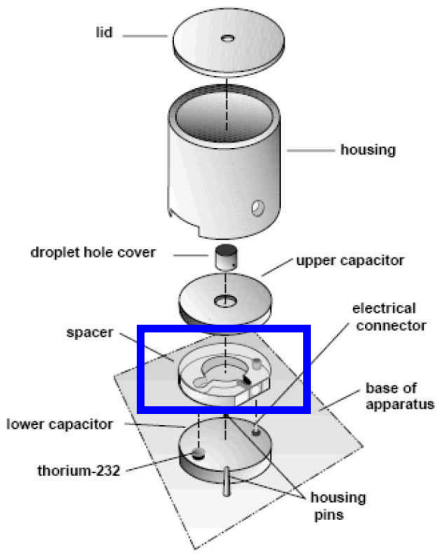
<1> 장비 setup

1. 실험실을 어둡게 유지한다. (특히 오일 드롭 장치 뒤쪽을 어둡게 유지한다.)
2. 스탠드와 지지대를 사용하여 오일 드롭 장치를 적절한 높이에 설치한다.
3. 수평을 조절한다.



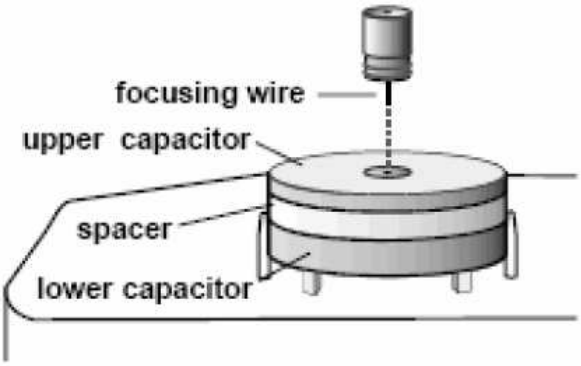
<2> Plate separation 측정

spacer의 두께는 7.6mm로 가정한다.



<3> 현미경과 램프설정

1. focusing wire를 풀어낸 후, 조심스럽게 upper capacitor중앙의 구멍에 집어넣는다.



2. 12V DC 변압기를 램프의 power jack에 연결하고 220V 전원을 연결한다.
3. 현미경의 reticle focusing ring을 돌려서 격자 모양의 눈금에 초점을 맞춘다.
4. 현미경을 사용하여 focusing wire를 관찰하면서,drople focusing ring을 돌려서 상이 선명하게 보이도록 조정한다.

<4> 전압측정

1. 연결 잭을 사용하여 공급되는 높은 전압과 오일드롭장치의 plate voltage connector를 연결하여 100V, 200V, 300V 공급한다.
2. multimeter를 사용하여 축전기에 인가되는 전압을 정확히 측정한다.(전위차 V측정)

<5> 온도측정

1. thermistor connectors에 multimeter를 연결하고 저항을 측정한다.
2. thermistor resistance table을 참고함

<6> Droplets 주입

1) 비휘발성 oil (밀도=886kg/m^3)을 신속하게 분무기에 넣는다.
2) ionization source level를 spray droplet position 바꾼다.
3) 분무기의 분사구를 droplet viewing chamber의 뚜껑 가운데 있는 구멍에 꽂는다.
4) 현미경을 보면서 분무기를 분사한다. 그 후 분사된 droplet이 droplet hole cover의 구멍과 top capacitor의 droplet entry hole을 통과하여 capacitor plate사이로 들어가도록 분무기를 천천히 분사한다.(oil없이 공기만 분사되도록 천천히 분사함)
5) 현미경에서 droplet이 쏟아져 내리는 것이 보이기 시작하면 ionization source level의 위치를 OFF로 변경한다.

▶ 주위

1) 이 실험은 단 한 개의 droplet를 관찰하는 것이므로 신속히 분사해야한다.
2) 다수의 droplet이 보이면 3~4분정도 기다린다.

<7> Droplet 선택

관찰할 수 있는 Droplet 중에서 plate charging switch가 Plates Grounded Position에 있을 때 천천히 떨어지고 plate voltage를 바꾸었을 때 위아래로 조종할 수 있는 droplet을 선택한다.

<8> Droplet을 기록하기

1) 선택한 droplet에 대해, 10차례 정도 plate voltage switch를 적절히 조작하여 올라가는 속도(plates charged)와 낙하하는 속도(plates not charged)를 잘 조정한다. 즉, 밝게 빛나는 작은 점이 첫 번째 칸을 지나가는 순간부터 다음의 칸을 지나가는 순간까지의 시간을 측정하면 된다. (칸의 간격 0.5mm)

2) droplet의 식(9)를 이용하여 전하를 계산한다. 측정한 droplet의 전하가 3초보다 빠르면 더 천천히 움직이는 것으로 선택한다.

3) 앞에서 설명한 순서대로 다시 분무기를 사용해서 oil을 장비 안으로 분사하고 다른 droplet을 선택한다.

4) 선택한 droplet에 대해 3회 rise 속도와 fall속도를 측정한다.

5) 100V 200V 300V의 전압을 가하면서 위의 방법들을 토대로 반복한다.

6. 참고자료

℃	$\times 10^6\Omega$	℃	$\times 10^6\Omega$	℃	$\times 10^6\Omega$
10	3.239	20	2.300	30	1.774
11	3.118	21	2.233	31	1.736
12	3.004	22	2.169	32	1.700
13	2.897	23	2.110	33	1.666
14	2.795	24	2.053	34	1.634
15	2.700	25	2.000	35	1.603
16	2.610	26	1.950	36	1.574
17	2.526	27	1.902	37	1.547
18	2.446	28	1.857	38	1.521
19	2.371	29	1.815	39	1.496

<thermistor resistance table>

<결과 report>

저항측정 :

	$V_{f.ave}$ $10^{-5}(m/s)$	$V_{r.ave}$ $10^{-4}(m/s)$	$Charge_{ave}$ $10^{-18}(C)$	$Charge_{Th}$ $10^{-19}(C)$	relative error (%)
100V				1.6×10^{-19}	
				1.6×10^{-19}	
				1.6×10^{-19}	

저항측정 :

	$V_{f.ave}$ $10^{-5}(m/s)$	$V_{r.ave}$ $10^{-4}(m/s)$	$Charge_{ave}$ $10^{-18}(C)$	$Charge_{Th}$ $10^{-19}(C)$	relative error (%)
200V				1.6×10^{-19}	
				1.6×10^{-19}	
				1.6×10^{-19}	

저항측정 :

	$V_{f.ave}$ $10^{-5}(m/s)$	$V_{r.ave}$ $10^{-4}(m/s)$	$Charge_{ave}$ $10^{-18}(C)$	$Charge_{Th}$ $10^{-19}(C)$	relative error (%)
300V				1.6×10^{-19}	
				1.6×10^{-19}	
				1.6×10^{-19}	

- oil의 반경계산

$$a=\sqrt{\left(\frac{b}{2p}\right)^2+\frac{9\eta v_f}{2g(\rho)}}-\frac{b}{2p}$$

$p : 1.013\times10^5 Pa{\cdot}m$

$g=9.8m/s^2, \rho=886kg/m^3$

$b=8.20\times10^{-3}Pa{\cdot}m$

- oil의 질량 $m=\frac{4}{3}\pi a^3\rho$

- 전하계산 $q=\frac{mg(v_f+v_r)}{Ev_f}$