N_2 GAS 의 충돌단면적에 관한 해석

Analysis of Collision Cross Section in N_2 Gas.

백 용 현 인하대학
김 희 택* 인하대학
이 승 태 인하대학

전계를 인가시킨 기체중에서의 전자군, 이온군의 특성을 구하기 위해서는 각각의 하전입자의 이동속도(v_d) 특성에너지 (D_L/μ: D_L 은 종방향 확산계수, μ 는 이동도) 등의 수송계수가 중요한 파라메터가 된다.

전리기체중에 관해서는 하전입자 상호간 및 하전입자와 중성원자분자와의사이에 각종 비탄성충돌이 일어나고 있다.

비탄성충돌에는 충돌에 따른 입자에너지상태가 높은 준위로 천이되는 여기와 원자에 속해있던 전자가 자유공간으로 달아나는 전리등의 각종 충돌과정이 있다. 탄성충돌을 포함해서 이러한 모든 충돌과정은 충돌단면적에 따라 정량적으로 취급할수 있다.

그런데 충돌단면적을 구하려면 먼저 기체의 수송계수를 구하여야 하므로 본 연구에서는 N_2 Gas 의 수송계수를 double shutter drift tube 를 이용하여 구하였고 Engelhardt, Schultz 등의 측정치와 비교한 다음 충돌단면적을 구하였다. 순수 N_2 Gas 에서의 이론계산은 N_2 Gas 의 전자 수송계수 (v_d, D_L/μ) 에 대한 이해를 한층 높여주는 것으로 그 이론적인 식은 다음과같다. 즉 LUCAS 의 계산식에서

$$v_d = \sqrt{\frac{2e}{m}} \int \frac{E}{3P} \frac{d}{d\varepsilon}\left(\frac{\varepsilon}{N_o Q_m}\right) f(\varepsilon)\, d\varepsilon \qquad (1)$$

$$D_L/\mu = \frac{\int \frac{\varepsilon}{N_o Q_m} f(\varepsilon)\, d\varepsilon}{\int \frac{1}{3} \frac{d}{d\varepsilon}\left(\frac{\varepsilon}{N_o Q_m}\right) f(\varepsilon)\, d\varepsilon} \qquad (2)$$

(정규화 조건 $\int \varepsilon^{\frac{1}{2}} f(\varepsilon)\, d\varepsilon = 1$

이며 각종 충돌 빈도

$$\frac{\alpha_j v_d}{P} = \sqrt{\frac{2e}{m}} \int N_o Q_j \varepsilon f(\varepsilon)\, d\varepsilon \qquad (3)$$

여기에서

P	:	기체압력 [torr]
No	:	압력 1 torr 당의 기체분자수
Qm	:	운동량 변환 단면적 [m^2]
Qj	:	각종 비탄성 충돌단면적 [m^2]
α_j/p	:	각종 충돌계수 [$m^{-1} \cdot torr^{-1}$]
$f(\varepsilon)$	:	전자의 에너지 분포함수

한편 에너지 분포함수 $f(\varepsilon)$ 를 구하기 위해서는 Holstein 에 의한 볼츠만 수송방정식을 풀면 된다. 수송방정식을 써보면

$$\frac{d}{d\varepsilon}\left\{\frac{e^2E^2\varepsilon}{3N Q_m(\varepsilon)} \cdot \frac{df(\varepsilon)}{d\varepsilon}\right\} + \frac{2m}{M}\frac{d}{d\varepsilon}\left\{\frac{\varepsilon^2 N Q_m(\varepsilon)}{\varepsilon}\left(f(\varepsilon) + kT\frac{df(\varepsilon)}{d\varepsilon}\right)\right\}$$
$$+ \sum_j \left[(\varepsilon+\varepsilon_j) f(\varepsilon+\varepsilon_j) N Q_j(\varepsilon+\varepsilon_j) - \varepsilon f(\varepsilon) N Q_j(\varepsilon)\right]$$
$$+ \sum_j \left[(\varepsilon-\varepsilon_j) f(\varepsilon-\varepsilon_j) N Q_{-j}(\varepsilon-\varepsilon_{-j}) - \varepsilon f(\varepsilon) N Q_{-j}(\varepsilon)\right] = 0 \qquad (4)$$

이고 backward Prolongation 에 의한 분포함수는

$$f(\varepsilon) = f_o \exp\left[\int_0^{\varepsilon} D(\varepsilon)\, d\varepsilon\right] \qquad (5)$$

이다. (4)식과 (5)식을 이용하여 D 를 구해보면

$$D(\varepsilon) = \frac{-\frac{2m}{M}\varepsilon^2 N Q_m f + \int_{\varepsilon}^{\infty}(\Sigma T_j + T_i)\, d\varepsilon}{\left(\frac{e^2E^2}{3NQ_m}\varepsilon + \frac{2m}{M}\varepsilon^2 N Q_m kT\right) f} \qquad (6)$$

여기서 ΣT_j 는 (4)식의 비탄성충돌항, Ti 는 전리항이다.

또 $D(\varepsilon)$ 와 $D(\varepsilon-h)$ 의 관계에서

$$f(\varepsilon-h) \simeq f(\varepsilon)\exp\left[-\left\{3D(\varepsilon)-D(\varepsilon+h)\right\}\times\frac{h}{2}\right] \tag{7}$$

으로 표현되며 Gauss-Seidel 법에 의하여 $f(\varepsilon)$ 에서 $D(\varepsilon)$ 를 결정하고 다시 $D(\varepsilon)$ 에서 $f(\varepsilon)$ 를 결정하는 조작은 $f(\varepsilon)$ 가 수렴할때까지 반복하여 $f(\varepsilon)$ 를 결정한다.

이 분포함수를 다시 (1) (2) (3)에 대입하여 v_d, D_L/μ, $\bar{\varepsilon}$, ν 등을 $0.1 \leq E/p \leq 50$ V/Cm. torr 에서 계산하여 본실험의 측정치와 일치되었을때의 충돌단면적을 구한다.