الباب الثالث

ظواهر الانتقال

الظواهر الطبيعية التى تتوقف على الانتقال Transport Phenomena

اذا لم يكن الغاز فى حالة استقرار ديناميكى حرارى يمكن حدوث احد الظواهر الاتية : ـ

١ ـ اذا كان تدفق السرعات مختلفا فى الاجزاء المختلفة من الغاز كأن يكون هناك حركة نسبية بين طبقات الغاز المختلفة تظهر خاصة اللزوجة Transfer of momentum

٢ ـ عندما تكون درجة حرارة الغاز فى أجزائه المختلفة مختلفة كأن يكون هناك ميل حرارى داخل الغاز يظهر التوصيل الحرارى حيث تنتقل الحرارة من الأجزاء الساخنة للباردة transfer of energy

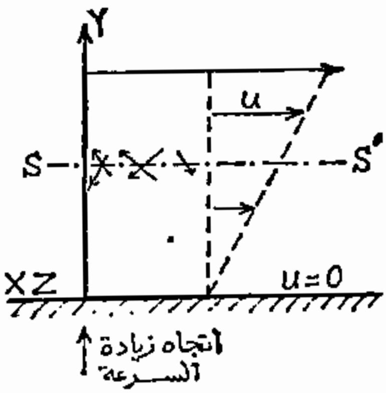
٣ ـ اذا كان تركيز جزيئات الغاز مختلفا فى أجزائه المختلفة تظهر ظاهرة الانتشار حيث تنتقل الجزيئات من مناطق التركيز الاكبر الى الأقل .
transfer of matter

∴ اللزوجة والتوصيل الحرارى والانتشار تمثل على الترتيب انتقال كمية الحركة ، والطاقة الحرارية ، والكتلة .

وتستحث جميع هذه الظواهر الطبيعية عن طريق التهيج الحرارى لجزئيات الغاز Thermal agitation

ظاهرة اللزوجة :

اعتبر حالة غاز او سائل يتحرك على مستوى أفقى X Z تتحرك كتلة الغاز موازية للمستوى الافقى وليست عمودية عليه .



باعتبار الغاز او السائل مكون من طبقات فوق بعض . تزداد سرعة هذه الطبقات كلما ارتفعنا عن المستوى xz اى فى الاتجاه الموجب لـ Y

شكل ٣ — ١

نتيجة للحركة النسبية بين الطبقات نفرض وجود احتكاك داخلى تنشا عنه ظاهرة اللزوجة .

يعرف معامل اللزوجة η بالمعادلة

$$F = \eta \, A. \, \frac{du}{dy}$$

حيث F هى القوة اللزجة وتكون فى اتجاه الحركة وتؤثر على المساحة A حيث يكون ميل السرعة العمودى على المساحة هو

$$\frac{du}{dy}$$

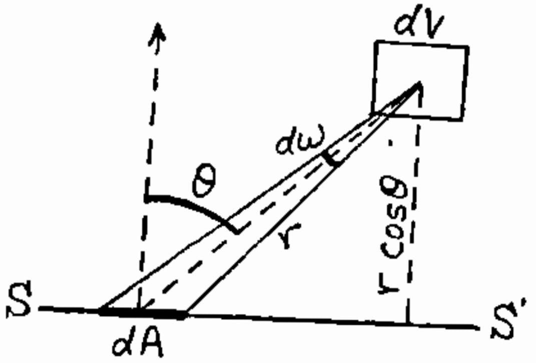
اعتبر الطبقة SS' على ارتفاع من المستوى الثابت وتتحرك بسرعة تدفق u لاتتعارض مع الحركة العشوائية للجزئيات فى جميع الاتجاهات نتيجة للتهيج الحرارى . الغاز هنا ليس فى حالة اتزان ديناميكى حرارى . ولكن بما ان السرعة الجزيئية أكبر بكثير من سرعة التدفق لذلك يمكننا استخدام القوانين التى سبق استنتاجها بفرض وجود الاتزان .

تعتبر الجزيئات الطبقة 'SS من اعلى لاسفل وبالعكس . ولكل جزىء سرعة تدفق لليمين تتوقف قيمتها على الارتفاع ∵ بما أن الحركة على مستوى افقى ∴ لاتوجد حركة راسية أى ان عدد الجزيئات التى تعبر الطبقة 'SS الى اعلى تساوى حتما عدد الجزيئات التى تعبرها الى أسفل

ولكن سرعات الجزيئات الاتية من الطبقات العليا اكبر من تلك الاتية من أسفل ولذلك تنتقل كمية حركة للجزيئات من اعلى الى أسفل ، اكبر من تلك التى تنتقل من أسفل الى أعلى . ويؤدى هذا الى انتقال مستمر لكمية حركة الجزيئات عبر السطح transfer of momentum

وباستخدام قانون نيوتن يكون معدل نقل كمية الحركة خلال وحدة المساحات مساويا للقوة اللزجه عليها ∴ اللزوجه كظاهره ميكروسكوبية تنشأ عن نقل الجزيئات لكمية الحركة عبر الطبقات أثناء حركتها العشوائية .

ايجاد عدد الجزيئات الذى يعبر ١ سم٢ فى الثانية :



شكل ٣ — ٢

نفرض مساحة صغيرة dA على الطبقة 'SS
نفرض حجما صغيرا dV يبعد مسافة r عن المساحة ويعمل زاوية Θ مع العمودى
z = تردد التصادم
& n = عدد الجزيئات فى وحدة الحجوم

عدد الجزيئات فى الحجم dV = n dV

عدد التصادمات التى تتم داخل dV فى الزمن dt = ½ z n dV dt

« المعامل ½ وضع حيث أن كل تصادم يحتاج لجزئين »

عقب كل تصادم ينتج عدد ٢ مسار حر جديد

∴ عدد المسارات الحرة التى تنتج من داخل الحجم dV فى الزمن dt

$= z\,n\,dV\,dt$

هذه المسارات تتوزع عشوائيا فى الفراغ فى جميع الاتجاهات .

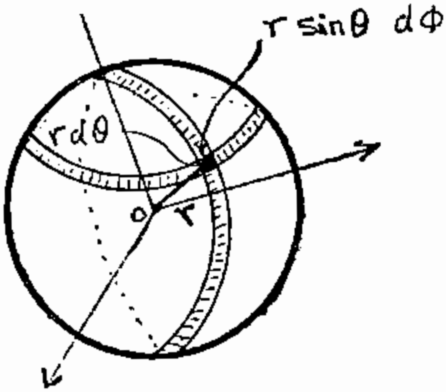
العدد المتجه للمساحة $\frac{d\omega}{4\pi}\, z\, n\, dV\, dt = dA$

حيث $d\omega$ هى الزاوية المجسمة التى يعملها الحجم dV عند المساحه dA وتساوى $dA \cos\Theta / r^2$

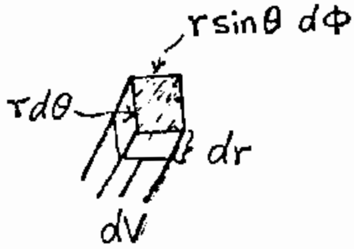
عدد الجزيئات التى تستطيع الوصول للمساحة dA دون تصادم يساوى العدد السابق مضروبا فى $\exp(-r/\lambda)$

وباستبدال قيمة الحجم الصغير dV بما يســاويه باعتبار احداثيات كريه spherical coordinates نحصل على

$$dV = r^2 \sin\Theta \; d\Theta \; d\phi \; dr$$



عدد الجزيئات التى تغادر الحجم dV ويصل للمساحة dA فى الزمن dt بدون أن تعانى اى تصادم هو .



$$\frac{1}{4\pi} z\, n\, dA\, dt \sin\Theta \cos\Theta\, e^{-r/\lambda}\, d\Theta \,.\, d\phi \,.\, dr$$

نحصل على العدد الكلى للجزيئات التى تعبر المساحة dA فى الزمن dt

باجراء التكامل . على Θ من $O \longrightarrow \frac{\pi}{2}$ وعلى φ من $2\pi \longleftarrow O$

وعلى r من $\infty \longrightarrow O$ نحصل على

$$\frac{1}{4} z\, n\, \lambda\, dA\, dt$$

وبمعرفة ان $z = v/\lambda$ يكون :

عدد الجزيئات الذى يعبر SS' من اى ناحية لوحدة المساحات

فى وحدة الزمن $= \frac{1}{4} n\, v$

ويلاحظ ان هذه هى نفس النتيجة التى سبق ان حصلنا عليها مع اهمال تأثير التصادم للجزيئات .

أيجاد متوسط الارتفاع الذى تأتى منه الجزيئات لتعبر المساحة

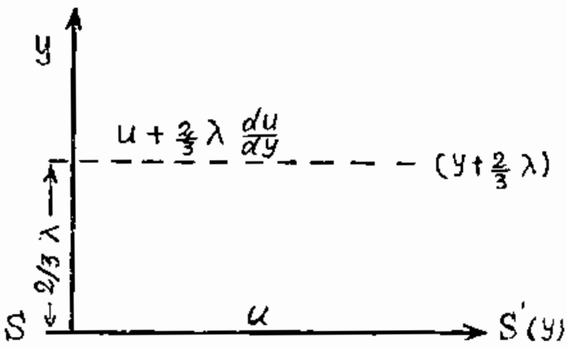
الحجم dV يرتفع عن المستوى SS' مسافة $r \cos\Theta$ وباستخدام الطرق الاحصائية نحصل على متوسط الارتفاع عن SS' لجميع الجزيئات التى تعبر المساحة dA وذلك بايجاد حاصل ضرب الارتفاع $r \cos\Theta$ فى عدد الجزيئات الاتية من الحجم dV والتى تعبر dA ثم اجراء التكامل على r Θ ϕ ثم بالقسمة على العدد الكلى للجزيئات الذى يعبر dA وهذه تساوى

$$\bar{y} = \frac{\int_0^{\pi/2}\int_0^{2\pi}\int_0^{\infty} \frac{1}{4\pi}\, zn\, dA\, dt\, \sin\Theta \cos^2\Theta\, d\Theta\, d\phi\, r\, e^{-r/\lambda}\, dr}{\frac{1}{4}\, z\, n\, \lambda\, dA\, dt}$$

$$\therefore\ \bar{y} = \frac{4\, z\, n\, \lambda^2\, dA\, dt}{6\, z\, n\, \lambda\, dA\, dt} = \tfrac{2}{3}\,\lambda$$

أى ان ، فى المتوسط ، يكون كل جزىء يعبر المساحة من أعلى (أو من اسفل) آتيا من ارتفاع (أو من انخفاض) يساوى ⅔ متوسط طول المسار الحر للجزىء .

ايجاد معامل لزوجة الغاز :



نفرض أن سرعة تدفق الغاز على السطح SS' على الارتفاع y تساوى u

تكون السرعة على ارتفاع $y + \frac{2}{3}\lambda$ هى $u + \frac{2}{3}\lambda \frac{du}{dy}$

تنتقل كمية الحركة للجزيئات فى الاتجاه الافقى وليس الراسى

كمية حركة الجزىء على الارتفاع $y + \frac{2}{3}\lambda$ هى

$$m\left(u + \frac{2}{3} \quad \frac{du}{dy}\right)$$

كمية حركة الجزيئاتفى اتجاه التدفق والتى تنتقل عبر وحدة المساحة فى وحدة الزمن من اعلى لاسفل هى

$$\frac{1}{4} n \bar{v} \ m\left(u + \frac{2}{3} \lambda \frac{du}{dy} \right)$$

وبالمثل كمية حركة الجزيئات التى تنقلها الجزيئات العابرة من اسفل الى اعلى تســـــاوى

$$\frac{1}{4} n \bar{v} \ . \ m\left(u - \frac{2}{3} \lambda \frac{du}{dy} \right)$$

يكون بذلك معدل انتقال كمية الحركة خلال وحدة المساحات فى وحدة انزمن هو الفرق بين الكميتين السابقتين اى

$$\frac{1}{3} n m \bar{v} \lambda \frac{du}{dy}$$

ومن قانون نيوتن الثانى تساوى القيمة السابقة القوة اللزجة F viscous force لوحدب المساحات ، وهذه تساوى بالتالى

$$\eta \cdot \frac{du}{dy}$$

ومن هذا نحصل على قيمة معامل اللزوجة η .

$$\eta = \tfrac{1}{3}\, n\, m\, v \qquad ..$$

وبالتعويض بدلا من $\lambda = \dfrac{1}{\sqrt{2}\ \sigma\ n}$ حيث σ = مساحة مقطع التصادم نحصل على

$$\eta = \frac{m\ \bar{v}}{3\sqrt{2}\ \sigma}$$

هذهالمعادلة لاتحتوى على الضغط أو كثافة الغاز ولذلك فلزوجة الغاز لاتعتمد عليهما وان كانت تعتمد على درجة الحرارة خلال .

$$\sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \bar{v}$$

وهذا يعطى n & T

وتستخدم معادلة اللزوجة : ــ

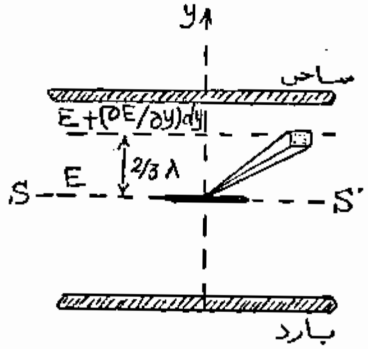
$$\eta = \frac{m}{3\sqrt{2}\ \sigma} \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$$

كطريقه مباشرة لايجاد مقطع التصادم او قطر الجزىء حيث أن η ، T تقاس مباشره

$$\therefore \qquad \sigma = \frac{1}{\eta} \sqrt{\frac{4\, m\, k\, T}{9\, \pi}} = \pi\ D^2$$

حيث D هو قطر الجزىء .

ايجاد معامل التوصيل الحرارى لغاز :



اعتبر لوحين معدنيين بينهما الغاز اذا كان اللوح العلوى فى درجة حرارة مرتفعة بالنسبة للسفلى تنتقل طاقة الحركة للجزيئات من اعلى لاسفل وينتج عن ذلك ظاهرة التوصيل الحرارى .

توجد بين اللوحين طبقات من الغاز ثابتة الدرجة توازى مستوى اللوحين

نفرض أن

T هى درجة حرارة الطبقة SS' وان الميل الحرارى هو dT/dy
حيث y هو ارتفاع الطبقة عن المستوى البارد .

متوسط طاقة الجزيء عند الدرجة T = ½ f kT

حيث f عدد درجات الحرية للجزيء

الطاقة المنقولة عبر المستوى SS' لوحدة المساحات فى وحدة الزمن بواسطة الجزيئات التى تعبرها من اعلى لاسفل هى

$$\frac{1}{4} n \bar{v} . \frac{f}{2} k \left(T + \frac{2}{3} \lambda \frac{dT}{dy} \right)$$

الطاقة التى تنقلها الجزيئات خلال نفس المساحة فى نفس الزمن من اسفل الى اعلى هى :

$$\tfrac{1}{4} n v \;\; f/2\, k \left(T + 2/3 \; \lambda \; \frac{dT}{dy} \right)$$

∴ معدل تدفق الطاقة لوحدة المساحات وهى كمية الحرارة المارة فى وحدة المساحات فى وحدة الزمن هى

$$H = \frac{1}{6}\, n\, \bar{v}\, f\, k\, \lambda \,\frac{dT}{dy}$$

ولكن من تعريف معامل التوصيل الحرارى K

$$H = K\, A\, \frac{dT}{dy}$$

حيث (A) هى المساحة التى تمر خلالها كمية الحرارة (H) ونعتبرها هنا الوحدة

∴ بحذف $\frac{dT}{dy}$ نحصل على :

$$K = \frac{1}{6}\, n\, \bar{v}\, f\, k\, \lambda$$

عندما يكون الغاز تاما تكون عدد درجات الحرية $f = 3$ ــ سبح معادلة التوصيل الحرارى له

$$K = \tfrac{1}{2}\, n\, v\, \lambda\, k$$

وتطبق هذه المعادلة على حالة الغاز الالكترونى الحر فى الفلزات

النســـبة بين K و η :

من معادلتى لزوجة الغاز ومعامل توصيله :

$$\frac{K}{\eta} = \frac{1/6\ f\ v\ k\ \lambda}{⅓\ m\ n\ v\lambda} = \frac{f}{2} \cdot \frac{k}{m}$$

لكن للغاز التام :

$$m = \frac{M}{N_0} \qquad k = \frac{R}{N_0} \quad \& \quad Cv = \frac{f}{2} R$$

حيث M هو الوزن الجزيئى ، No هو عدد افوجادرو .

$$\therefore \quad \frac{K}{\eta} = \frac{Cv}{R} \cdot \frac{k}{m} = \frac{Cv}{N_0 m} = \frac{Cv}{M}$$

$$\therefore \quad \frac{K \cdot M}{\eta \cdot Cu} = 1$$

هذه النيتجة وان كانت قريبة من الصحة عمليا لبعض الغازات الا انها تحيد عن ذلك للغازات المعقدة جزيئيا حيث لاتنطبق فروض الغاز التام عليها

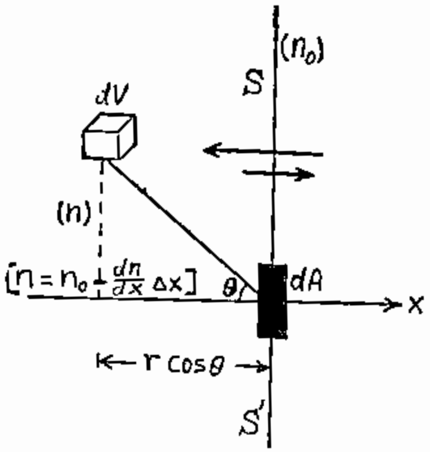
الانتشـــــار فى الغازات :

يحدث الانتشار نتيجة للحركة الجزيئية العشوائية داخل المادة ، كلما كان هناك ميل تركيزى concentration gradient لأى نوع من الجزيئات أى عندما يكون عدد الجزيئات فى وحدة الحجوم على احد جانبى سطح ما داخل المادة اكبر من العدد المناظر على الجانب الاخر .

اذا لم يوجد سوى نوع واحد من الجزيئات داخل المادة فان حركتها تحدث مايسمى بالانتشار الذاتى ويدرس عادة هذا النوع من الانتشار بواسطة المواد المشعة الاقتفائية radio tracers « الايسو توبس »

اعتبر SS' سطح وهمى داخل خليط من جزيئات مشعة وغير مشعة من غاز ما . نفرض ان كثافة الغاز فى كل مكان واحدة ويكون بذلك ضغط الغاز منتظما .

نفرض ان درجة الحرارة ثابتة ومنتظمة .



شكل — ٦

نفرض أن n هو عدد الجزيئات المشعة فى وحدة الحجوم عند نقطة ما داخل الغاز وتتغير فى الاتجاه السينى فقطوهو العمود على المستوى الراسى

نفرض ان ميل التركيز concentration gradient $\frac{dn}{dx}$ منتظما وموجبا

بحيث تزداد n من اليسار الى اليمين . آذا كانت no هى عدد الجزيئات المشعة فى وحدة الحجوم عند المستوى الراسى SS' يكون التركيز على بعد x من هذا المستوى هو .

$$n = no + x\frac{dn}{dx}$$

يكون تيار الجزئيات المشعة الذى يعبر المستوى SS' من اليمين لليسار اكبر من تيار الجزيئات المشعة العابرة من اليسار لليمين .

نفرض أن العدد الفعلى (net number) للجزيئات التى فى الاتجاه الموجب لـ x خلال وحدة المساحات فى وحدة الزمن هو J يعرف معامل الانتشار D بالمعادلة .

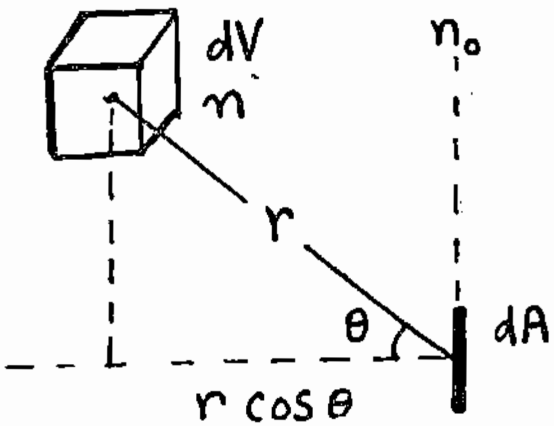
$$J = -D \frac{dn}{dx}$$

والاشارة السالبة هنا تعنى انه عندما يكون الميل التركيزى $\frac{dn}{dx}$

موجبا فى اتجاه تزايد x يكون التيار الجزيئى J سالبا اى فى اتجاه تناقص x .

نفرض أن n' هو العدد الكلى للجزيئات فى وحدة الحجوم مشعة وغير مشعة . (يلاحظ أن هذا العدد ثابت فى جميع النقط) ولكن نسب المشع الى غير المشع هى التى تختلف

العدد الكلى للجزيئات التى لها مسارات حره تبدأ من الحجم dV وبعضها يصل للمساحة dA فى الزمن dt هى : — $z\, n'\, dV\, dt$



(سبق أن اثبتنا ذلك)

نسبة عدد الجزيئات المشعة الى العدد الكلى للجزيئات $= \frac{n}{n'}$

∴ عدد الجزيئات المشعة التى مساراتها الحرة تبدأ من dV وبعضها يصل dA فى زمن dt يساوى

$$\frac{n}{n'} \cdot z\, n'\, dV\, dt = z\, n\, dV\, dt$$

عدد الجزيئات المشعة التى تعبر dA بدون أن تعانى اى تصادم وتكون قادمة من الحجم dV تساوى

$$\frac{1}{4\pi} zn\, dA\, dt \sin\Theta \cos\Theta\, e^{-r/\lambda} p\ \Theta\, d\varphi\, dr$$

لكن من هندســـة الشـــكل

$$n = n_o - r\cos\Theta \frac{dn}{dx}$$

وبالتعويض

∴ عدد الجزيئات المشعة التى تعبر dA فى الزمن dt هى

$$\frac{1}{4\pi} z\, n_0\, dA\, dt \sin\Theta \cos\Theta\, e^{-r/\lambda} d\Theta d\varphi dr$$

$$- \frac{1}{4\pi} z \frac{dn}{dx} dA\, dt \sin\Theta \cos^2\Theta \,.\, r\, e^{-r/\lambda} d\Theta d\varphi dr$$

وباجراء التكامل على Θ من $\pi/2 \longrightarrow o$ وعلى φ من $2\pi \longrightarrow o$

وعلى r من $\infty \longrightarrow o$ نحصـــــــل على :

$$\frac{1}{4} z\, n_0\, \lambda\, dA\, dt - 1/6\, z\, \lambda^2 \frac{dn}{dx} dA\, dt$$

التيار الجزيئى من اليسار لليمين خلال وحدة المساحة فى وحدة الزمن

هو

$$\vec{J} = \frac{1}{4} z\, n_0 \lambda - 1/6\, z\, \lambda^2 \frac{dn}{dx}$$

التيار الجزيئى من اليمين لليسار خلال وحدة المساحة فى وحدة الزمن

هو

$$\overleftarrow{J} = \frac{1}{4} z\, n_0 \lambda + \frac{1}{6} z\, \lambda^2 \frac{dn}{dx}$$

مدد الجزيئات الفعلى الذى يتدفق من اليسار لليمين يساوى

$$J = -\frac{1}{3} z \lambda^2 \frac{dn}{dx}$$

ومن معادلة الانتشار $J = -D \frac{dn}{dx}$ نحصل على : ــ

$$D = \frac{1}{3} z \lambda^2$$

لكن $z = \frac{\bar{v}}{\lambda}$

$$\therefore D = \tfrac{1}{3} \bar{v} \lambda$$

وباستخدام معادلة اللزوجة :

$$\eta = \tfrac{1}{3} n m \bar{v} \lambda = \rho \cdot D$$

وبمعرفة ان ($\rho = n m$) نحصل على معامل الانتشار D على الصوره

$$D = \frac{\eta}{\rho}$$