

Лабораторийн ажил 12

Хийн молекулуудын хөдөлгөөнийг тодорхойлогч үндсэн хэмжигдэхүүнүүд болон зуурамтгайн коэффициентийг тодорхойлох

Ажлын зорилго

Пуазейлийн аргаар агаарын молекулын шинж чанар, зуурамтгайн шинж чанарыг тодорхойлогч хэмжигдэхүүнүүдийг хэмжих

Хэрэглэгдэх багаж

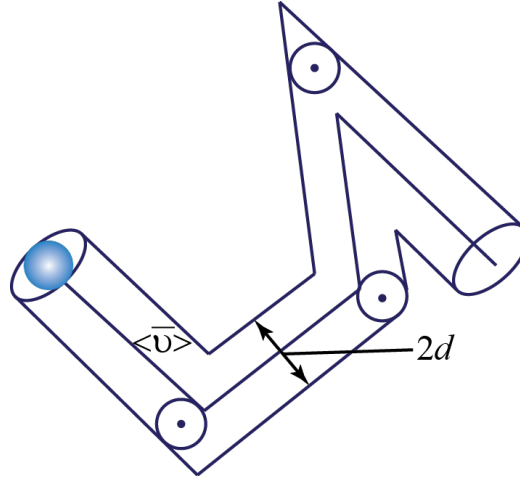
Капилляр ба хоолой бүхий шилэн баллон, ус, шилэн сав, шугам

Товч онол

Молекулуудын мөргөлдөөн. Дулааны хөдөлгөөний үед хийн молекулууд хоорондоо мөргөлдөнө. Нэг молекулын мөргөлдөөний дундаж z давтамжийг олохын тулд молекулыг дулааны хөдөлгөөний дундаж $\langle v \rangle$ хурдтай хөдөлж буй d диаметртэй үрэл, харин бусад молекулуудыг тайван байна гэж үзнэ. Хугацааны Δt завсарт молекул $\langle v \rangle \Delta t$ замыг туулж, d радиустай тахир цилиндрийн дотор төвүүд нь орших бүх молекулуудтай мөргөлдөнө (1-р зураг).

Нэг секунд хугацаан дахь мөргөлдөөний z тоо нь цилиндрийн дотор төв нь орших молекулуудын тоог Δt хугацаанд хуваасантай тэнцүү байна. Молекулуудын концентраци n , тахир цилиндрийг шулуун болгосон гэвэл

$$z = \pi d^2 \langle v \rangle n \quad (1)$$



Зураг 1:

гэж илэрхийлэгдэнэ. Хэрэв бүх молекулуудын хөдөлгөөнийг тооцвол мөргөлдөөний тоог илүү нарийвчлан гаргаж болно. Иймд $\langle v \rangle$ хэмжигдэхүүнийг $\langle v \rangle_{\text{харь}}$ хэмжигдэхүүнээр солих шаардлагатай юм. Максвеллийн тархалтыг ашиглаж, нэг бүрэлдэхүүнт хийн хувьд $\langle v \rangle_{\text{харь}} = \sqrt{2} \langle v \rangle$ болохыг орлуулбал 1-р илэрхийлэл

$$z = \sqrt{2} \pi d^2 \langle v \rangle n \quad (2)$$

хэлбэртэй болно.

Хоёр дараалсан мөргөлдөөний хоорондох дундаж зайг молекулуудын чөлөөт замын дундаж хурд гэж нэрлэдэг.

$$\langle \lambda \rangle = \frac{\langle v \rangle}{z} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n} \quad (3)$$

Ийнхүү молекулуудын чөлөөт замын дундаж урт тэдгээрийн концентрацид урвуу пропорциональ хамааралтай байх бөгөөд n тогтмол (изохор процесс) байх үед температураас хамаарахгүй юм. Гэвч температур нэмэгдэхэд $\langle \lambda \rangle$ хэмжигдэхүүний хэмжээ бага зэрэг өсдөг болохыг туршлагаар тогтоосон. Энэ нь бодит молекул тодорхой d радиустай үрэл биш болохыг илтгэнэ. Молекул нь электронууд ба цөмүүд гэсэн цэнэгт бөөмүүдээс тогтох нийлмэл систем юм. Молекулууд хоорондоо, тэдгээрийн хоорондох зайнаас төвөгтэй байдлаар хамаарах таталцлын болон түлхэлцлийн хүчүүдээр харилцан үйлчилнэ. Иймд мөргөлдөж байгаа молекулуудын төвүүдийн хоорондох хамгийн бага зайгаар молекулуудын диаметрийг тодорхойлдог. Тэдгээрийн харьцангуй хурд их байхын хэрээр энэ зай бага байна. Иймд харилцан үйлчлэлийн дунджилсан хэм-

жигдэхүүн болох молекулуудын эффектив диаметрийг авч үздэг. Температур нэмэгдэхэд молекулуудын хөдөлгөөний дундаж хурд нэмэгдэх ба эффектив диаметр багасна.

Хийн зуурамтгайн чанар. Хий цилиндр хэлбэртэй саваар урсахдаа түүний тэнхлэгийн дагуу хамгийн их хурдтай, харин цилиндрийн гадарга орчмоор тэг хурдтай үелэн хөдөлнө. Их хурдтай үе нь бага хурдтай хөдөлж буй үеийг хурдасган хөдөлгөнө. Дулааны хөдөлгөөний улмаас хийн үеүд хооронд молекулууд шилжин солилцох тул урсгалын хурдууд тэнцүү болно. Энэ процессыг дотоод үрэлт (зуурамтгайн чанар) гэж нэрлэдэг.

Зуурамтгайн чанарын үндсэн хууль (Ньютоны хууль) нь дараах хэлбэртэй байна:

$$\frac{dp}{dt} = -\eta \frac{du}{dx} S_n \quad (4)$$

Энд: dp нь dt хугацаанд S талбайгаар зөөгдсөн импульс, $\frac{du}{dt}$ -хурдны градиент, S_n -импульс зөөгдөж буй чиглэлд перпендикуляр байрлах хавтгай дээрх S талбайн проекц, η -зуурамтгайн коэффициент.

Зуурамтгайн коэффициент кинетик онол ёсоор дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ:

$$\eta = \frac{1}{3} mn < v > < \lambda > \quad (5)$$

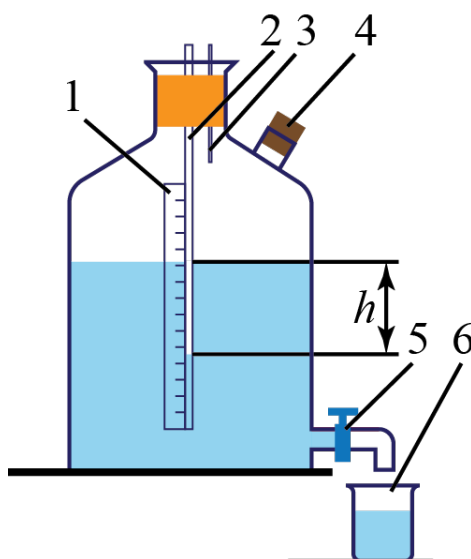
η хэмжигдэхүүн зөвхөн T температураас хамаарна, харин $\rho \sim n \sim p$ ба $< \lambda > \sim \frac{1}{n} \sim \frac{1}{p}$ байх учраас p даралтаас хамаарахгүй юм. Энд ρ -хийн нягт. Хэрэв $d \approx \text{const}$ гэж үзвэл $\eta \sim < v > \sim \sqrt{T}$ болно.

Туршилтын төхөөрөмж. Туршилтад Мариоттын савыг ашиглана. Саванд урт нарийн шилэн хоолой болон богино капиллярыг суулгаж байрлуулсан байна. Капиллярын доод төгсгөл саван дахь усны гадаргуугаас дээш байрлах ба шилэн хоолойн зарим хэсэг усанд дүүрэгдсэн байна. Хаалтыг нээвэл цоргоор шилэн сав руу ус гоожих боломжтой байна. (2-р зураг).

Онолын үндэслэл. Хаалтыг нээхэд савнаас ус гоожих ба агаар капилляраар дамжин сав руу орно. Саван дахь усны төвшин ба шилэн хоолой дахь усны төвшиний h зөрүү тогтмол байхаар усны гоожих хурдыг тохируулж болно. Энэ нь савны гаднах даралт болон саван доторх даралтын ялгавар, улмаар капиллярын төгсгөлүүд дэх даралтуудын ялгавар тогтмол хэвээр байхыг илэрхийлэх ба

$$\Delta p = p - p_1 = \rho_0 g h \quad (6)$$

байна. Энд: p ба p_1 -савны гаднах даралт ба саван доторх даралт, ρ_0 -усны нягт.



Зураг 2: Туршилтын төхөөрөмж. Үүнд: 1 -хуваарь бүхий шугам, 2 -усанд дүрсэн шилэн хоолой, 3 -капилляр, 4 -сав руу ус хийх нүх, 5 -хаалт, 6 -ус тосох шилэн сав.

$\Delta p \ll p$ байх учраас савны гаднах агаарын нягт болон саван доторх агаарын нягтыг ойролцоогоор ижил гэж тооцож болно. Иймд t хугацааны турш капилляраар орох агаарын V эзлэхүүнийг Пуазейлийн томьёогоор тодорхойлж болно:

$$V = \frac{\pi \Delta p r^4 t}{8 \eta l} \quad (7)$$

Капиллярын r радиус болон l урт өгөгдсөн байна.

Агаарын V эзлэхүүн савнаас гоожсон усны эзлэхүүнтэй ойролцоогоор тэнцүү гэж үзэх тул хэмжээст шилэн савыг ашиглан хэмжинэ.

Бэлтгэх асуулт

1. Хийн молекулуудын чөлөөт замын дундаж урт даралт болон температураас хэрхэн хамаарах вэ?

.....

2. Хийн зуурамтгайн чанар юунаас үүдэн бий болдог вэ?

.....

3. Хийн зуурамтгайн чанар температураас хэрхэн хамаарах вэ?
.....
.....
4. Молекулуудын эффектив диаметр температураас хэрхэн хамаарахыг тайлбарлана уу?
.....
.....
5. Яагаад хийн зуурамтгайн чанар нь хийн молекулуудын импульс, молекулуудын концентраци, тэдгээрийн чөлөөт замын уртад шууд пропорциональ байдаг вэ?
.....
.....
6. Капиллярын радиусыг 1% -аар өөрчлөхөд агаарын зуурамтгайн коэффициент хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
.....
.....

Ажил гүйцэтгэх дараалал

1. (6) ба (7) илэрхийллүүдийг ашиглан зуурамтгайн η коэффициентийг тодорхойлох томъёог гаргана уу.
2. Термометр болон барометр ашиглан тасалгааны агаарын температур, даралтыг хэмжинэ үү.
3. (5) илэрхийлэлд идеал хийн төлөвийн тэгшитгэлийг тооцож, чөлөөт замын дундаж $\bar{\lambda}$ уртыг тодорхойлох томъёог гаргана уу.
4. (3) илэрхийлэлд $p = nkT$ болохыг тооцож, молекулуудын эффектив d диаметрийг тодорхойлох томъёог гаргана уу. Энд k -Больцманы тогтмол.
5. Мариоттын савны дор хэмжээст шилэн савыг байрлуулж, хаалтыг бага зэрэг эргүүлж онгойлгоно. Саван дахь усыг үр дүнтэй ашиглана уу. Тодорхой V эзлэхүүнтэй ус гоожих t хугацаа болон уг хугацаан дахь төвшиний h зөрүүг хэмжиж, хүснэгтэд тэмдэглэж,

агаарын зуурамтгайн η коэффициент, молекулуудын чөлөөт замын дундаж $\langle \lambda \rangle$ урт, эффектив d диаметрийг тооцоолж бодно уу.

6. Хэмжилтийг 5 удаа давтан гүйцэтгэж, дээрх хэмжигдэхүүн тус бүрийн хувьд дундаж утга, абсолют алдаа, харьцангуй алдааг үнэлнэ үү.

Хүснэгт 1: Хэмжилт ба тооцооны хүснэгт

Капиллярын радиус $r = 0,35 \text{ мм}$

Капиллярын урт $l = 17,8 \text{ см}$

Больцманы тогтмол $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ж/К}$

Хийн универсаль тогтмол $R = 8,31 \text{ Ж/(моль} \cdot \text{К)}$

Агаарын молийн масс $\mu = 0,029 \text{ кг/моль}$

1 мм.м.у.б $= 133,3 \text{ Па}$

Тасалгааны агаарын температур: $T = 273 + t = \dots \text{ } ^\circ\text{К}$

Тасалгааны агаарын даралт: $p = \dots \text{ Па}$

Молекулуудын давших хөдөлгөөний дундаж хурд:

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} =$$

Хэмжилт				Тооцоо		
№	$t(\text{с})$	$V(\text{м}^3)$	$h(\text{м})$	η	$\langle \lambda \rangle$	d
1						
2						
3						
4						
5						

Хэмжилт хийсэн: ... он ... сар ... өдөр Багшийн гарын үсэг.....

Хэмжилтийн алдааг тооцоолох

n -хэмжилтийн тоо, $i = 1, 2, 3, \dots, n$

Арифметик дундаж утга: $\langle \eta \rangle = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4 + \eta_5}{5} =$

Стандарт итгэлт муж: $S_{\langle \eta \rangle} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\eta_i - \langle \eta \rangle)^2} =$

$p = 0,95$ үед абсолют алдаа: $\Delta\eta = t(n, p) \cdot S_{<\eta>} =$

Харьцангуй алдаа: $\varepsilon_{\eta} = \frac{\Delta\eta}{<\eta>} \cdot 100\% =$

Ажлын (тооцоололт ба хамгаалалтын) ерөнхий үнэлгээ...../ /