

I. МОЛЕКУЛНО-КИНЕТИЧНА ТЕОРИЯ НА ГАЗОВЕТЕ

ТЕМА 1: Предмет, задачи и методи на молекулната физика. Молекулно-кинетични представи за веществото. Опитна обосновка на молекулно-кинетичната теория. Състояние на веществото, параметри на състоянието.

1. Предмет на молекулната физика

Областта от физиката, която изучава строежът и свойствата на веществата от гледна точка на молекулно-кинетичните представи, се нарича *молекулна физика*. Изучават се следните въпроси:

- Молекулен строеж на газове, течности и твърди тела;
- Явления в газове, течности и твърди тела, дължащи се на движението на молекулите;
- Процеси, възникващи във веществото, при външни въздействия – механични, термични и др.;
- Процеси на прехода от едно агрегатно състояние в друго;
- Явления на границата на вещества в различни агрегатни състояния.

2. Задачи – да обясни особеностите и законите на движение на молекулите в газове, течности и твърди тела и физичните свойства на веществата в различните агрегатни състояния.

3. Методи на молекулната физика. Различните методи за изучаване на системи, състоящи се от голям брой частици, ще бъдат представени при модела „идеален газ”.

3.1. Динамичен метод. Между два съседни удара в стените на съда, градивните частици на идеалния газ се движат праволинейно. Законите, на които се подчиняват ударите им със стените на съда, са известни. Ето защо, познавайки положенията и скоростите на всички частици на газа в даден момент от време, е възможно да се изчислят техните положения и скорости във всеки следващ момент от време. Положенията и скоростите на частиците във всеки един момент от време дават най-пълна и детайлна информация за системата. Въпреки това този подход е неприложим поради огромния брой данни.

Например за записване на координатите и компонентите на скоростта на молекулите въздух, съдържащ се в 1 cm^3 , са необходими 6 милиона години. Ако по тези данни трябва да се определят кинетичните енергии на молекулите, ще са необходими 21 милиона години, без да отчитаме 2 милиона години за записване на кинетичните им енергии.

Основната причина, поради която не се прилага динамичен подход, е фактът, че информацията за една отделна частица в системата не може да бъде подложена на теоретичен анализ и не дава информация за свойствата на системата като цяло.

3.2. Статистически метод. При изучаване на система от голям брой частици информацията трябва да има обобщен характер и да се отнася не към отделна частица, а към съвкупности от голям брой частици. Съответните величини също трябва да се отнасят не към отделна частица, а към големи съвкупности от частици. Новата форма на информация и новите понятия изискват и нов метод на изследване. Такъв метод е *статистическия*. При него се определят и изследват осреднените скорости и енергии на градивните частици, които могат да обяснят поведението на системата като цяло. Статистическите методи във физиката намират широко приложение, тъй като мнозинството физични системи се състоят от огромен брой частици. Освен това квантово-механичните закономерности по своята природа са статистически.

3.3. Термодинамичен метод. Системите от голям брой частици могат да се изследват и чрез друг подход, при който не се отчита вътрешната им структура. При това е необходимо да се използват понятия и физични величини, отнасящи се до системата

като цяло. Например моделът „идеален газ” в равновесно състояние се характеризира само с три величини – обем, температура и налягане. Експерименталните изследвания трябва да установят връзките между тези величини, а теорията се изгражда на някои общи закономерности (закон за запазване на енергията) и обяснява тези връзки. Такава теория е феноменологична. Тя не се интересува от вътрешните механизми на процесите, определящи поведението на изучаваната система. Този метод на изследване се нарича *термодинамичен*.

Статистическият и термодинамичният метод на изследване на системи, състоящи се от голям брой числа, се допълват. Термодинамичният метод се характеризира със своята общност и позволява да се изследват системи без знания за вътрешната им структура. Статистическият метод дава възможност да се обяснят явления, които определят връзката между поведението на системата като цяло и поведението и свойствата на отделните частици.

4. Молекулно-кинетични представи за веществото

4.1. Дискретна структура на веществото. Телата, с които се срещаме в ежедневието, винаги възприемаме като непрекъснати, т.е. изцяло запълнени от изграждащото ги вещество. От друга страна отдавна са известни явления, които доказват дискретната структура на веществото.

Пример: При външно въздействие или при промяна на температурата телата изменят обема си – разширяват се при нагряване и се свиват при охлаждане. Изменението на обема трудно би могло да се обясни, ако считаме, че телата са непрекъснати. От друга страна явлението лесно се обяснява при предположение, че телата се състоят от огромен брой много малки градивни частици, разположени на разстояние една от друга. Тогава изменението на обема може да се обясни като промяна на разстоянието между частиците.

Какво представляват частиците, от които са съставени всички вещества?

Молекула – това е най-малката структурна единица на веществото, запазваща химичните му свойства. Например няма смисъл да се говори за половин молекула вода, не защото молекулата е неделима, а защото при нейното разделяне се получават частици, които вече нямат свойствата на водата.

Молекулите се състоят от по-прости частици – *атоми*. *Атомът се определя като основна градивна частица на материята*. Известни са около 120 различни вида атоми, които се наричат *химични елементи*. Тези малък брой атоми на химичните елементи се комбинират по различни начини и образуват молекулите на огромно разнообразие от вещества в природата. Атомите и молекулите са електронеутрални. При определени състояния на веществото (например плазма, в някои кристали) от молекулата се отделя или към нея се свързва електрон и тогава тя се превръщат в положително или отрицателно заредена частица – *йон*.

4.2. Сили на взаимодействие между молекулите. Множество факти дават основание да считаме, че между молекулите действат сили на отблъскване или привличане в зависимост от разстоянията между тях. По своята природа те имат електромагнитен произход. Например при незначително изменение на обема на твърдо тяло в него възникват съществени сили. Разтягането на тялото се възпрепятства от силите на привличане, а свиването – от силите на отблъскване. Тези сили обясняват еластичните свойства на телата. Съществуването на три агрегатни състояния на веществото – твърдо, течно и газообразно също е доказателство за силите на взаимодействие между градивните частици. В твърдо и течно състояние молекулите се привличат по-силно и тялото запазва обема си, а при твърдото състояние и формата си. В газообразно състояние силите на взаимодействие са значително по-малки, поради което газът изцяло запълва предоставения му обем.

4.3. Движение на градивните частици на веществото. Фактът, че газовете не притежават собствена форма и обем, доказва още една важна особеност на частиците на веществото. Способността на газа да се разпространява в целия обем на съда показва, че молекулите се намират в постоянна движение. Редица свойства на веществото доказват, че тези движения са безпорядъчни и хаотични. Това означава, че не съществува направление в пространството, в което молекулите да се движат преимуществено. Такова хаотично движение се нарича *топлинно движение*. Топлинното движение се явява характеристика на веществото не само в газообразно състояние, но и в течно и твърдо.

И така, *веществото се състои от малки частици – молекули, които взаимодействат по между си и се намират в непрекъснато хаотично движение (топлинно движение)*. Силите на взаимодействие между градивните частици обуславят тяхната потенциална енергия, а топлинното движение – кинетичната им енергия. Силите на привличане се стремят да свържат градивните частици в единно цяло, а наличието на кинетична енергия препятства тази тенденция. Отношението между кинетичната и потенциалната енергия определя агрегатното състояние на веществото. Когато кинетичната енергия е много по-голяма от потенциалната ($E_k \gg E_p$), веществото се намира в газообразно състояние. Ако кинетичната и потенциалната енергия са от един и същи порядък ($E_k \approx E_p$), веществото се намира в течно състояние, а когато потенциалната енергия е много по-голяма от кинетичната ($E_p \gg E_k$) – в твърдо състояние.

4.4. Основни характеристики на агрегатните състояния

Газообразното агрегатно състояние възниква в резултат на интензивно топлинно движение на градивните частици и много малки сили на взаимодействие между тях. Веществата в газообразно състояние не запазват формата и обема си. Техните форма и обем се определят от съда, в който са поставени. При отсъствие на съд веществото се стреми да заеме цялото пространство. През по-голямата част от времето всяка молекула се движи без взаимодействия, за кратък период от време в резултат на удар с друга молекула променя посоката на движението си. Разстоянието, което изминава молекулата между два удара, е хиляди пъти по-голяма от диаметъра ѝ. Едновременно взаимодействие на три или повече молекули се случва изключително рядко. Траекторията на отделната молекула има следния вид (фиг. 1а).

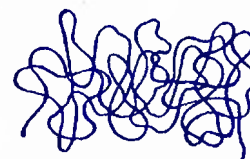
В твърдо агрегатно състояние градивните частици на веществото са здраво свързани поради сили на привличане. Веществото запазва формата и обема си. При деформация възникват сили, стремящи се да възстановят първоначалните форма и обем. Градивните частици са разположени в определени места и образуват *кристална решетка*. Те трептят около равновесни положения, наречени *възли на кристалната решетка*. Направлението, по което става трептенето, и амплитудата на трептенето се изменят с течение на времето, но за интервали от време, много по-големи в сравнение с периода на трептенето. Траекторията на отделната молекула може да се изобрази като последователност от отделни линейни трептения с различна амплитуда и в различни направления (фиг. 1б).



Фиг. 1а



Фиг. 1б



Фиг. 1в

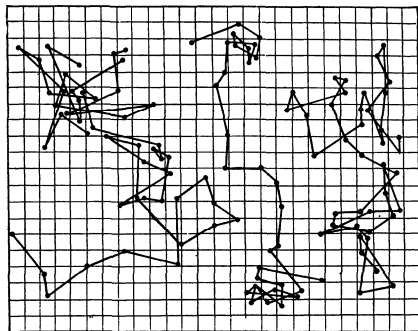
Течното агрегатно състояние се характеризира с това, че веществото се стреми да запази обема си, но не и формата си. Молекулите в течността се намират близо една до друга, но техните относителни положения не са фиксирани и те относително бавно

променят положението си една спрямо друга. Траекторията на отделната молекула може да се представи в следния вид (фиг. 1в).

4.5. Опитна обосновка на молекулни-кинетичната теория. Брауново движение. Важен факт, служещ за доказателство на молекулното движение, е брауновото движение. *Брауново движение се нарича хаотичното движение на малки частици (с размери от порядъка на μm), поставени в течност или газ, което се дължи на некомпенсирани удари от страна на молекулите на средата.*

!!! N.B. Брауновите частици не са градивните частици на веществото.

През 1827 г. английският ботаник Браун, наблюдавайки под микроскоп цветен поленов прашец във вода, забелязал непрекъснато хаотично движение на частиците на прашеца. След много повторения на наблюдението Браун достигнал до извода, че движението се дължи не на потока на течността или на изпарението ѝ, а е характеристика на самите частици. Движението имало ясно изразен хаотичен характер и приличало на движение на живи организми. Първоначално Браун предположил, че поради органичния си произход поленовите частици се движат за сметка на присъщите им жизнени сили и че е открил ново проявление на живота. За да се убеди с това Браун силно нагрял препарата, като очаквал, че живите организми ще загинат. Но характерът на движение на частиците не се изменил. Многократните опити, проведени от Браун и други учени, показали, че брауновото движение е невъзможно да се прекрати: неговата интензивност се увеличава при повишаване на температурата, намаляване на вискозитета на течността, в която се намират частиците, и масата на частиците.



Фиг. 2. Траектория на движение на браунова частица

формулирана по-точно от белгийския учен Карбонел, който считал, че брауновото движение е следствие от ударите на молекулите на средата с брауновата частица. Това обяснение е в съответствие със съвременните представи за природата на брауновото движение.

Доколкото брауновите частици са видими със светлинен микроскоп, то те съдържат 10^{10} - 10^{11} атома. В течността или газа те непрекъснато са подложени на удари от обкръжаващите ги молекули с честота от порядъка на 10^{12} удара в секунда. Вследствие на тези удари в произволен момент от време сумарният импулс, предаден на брауновата частица в една посока, се оказва по-голям, отколкото в друга. Частицата под действие на резултантния импулс се премества в определено направление. В следващия момент от време резултантният импулс може да бъде насочен в друга посока. Под негово действие частицата отново се премества на някакво разстояние в друга посока и т.н. По такъв начин *причината за брауновото движение се явява топлинното движение на частиците на средата и отсъствието на точна компенсация на ударите, т.е. флуктуации в концентрацията на молекулите.*

В продължение на много десетилетия учените се опитвали да разгадаят тайната на брауновото движение. Опитите им да го обяснят чрез конвекционни течения, сили на повърхностно напрежение, химични процеси, се оказали несъстоятелни.

През 1863 г. Винер изказал предположение, че причината за брауновото движение е „скрито“ движение на молекулите на средата. По-късно тази идея била

Теорията за брауновото движение, която получила експериментална обосновка, нанесла окончателен удар върху доатомските представи. След тези опити вече било невъзможно да се отрича съществуването на молекулите.

5. Състояние на веществото. Параметри на състоянието.

Съвкупността от тела, ограничена от затворена повърхност (която може да бъде и въображаема), се нарича система. Тела, невлизащи в системата, но способни да оказват влияние върху нея, се нарича среда.

Пример: Газ, намиращ се в цилиндър под бутало, може да се разглежда като система. Тогава цилиндърът и буталото следва да се отнасят към заобикалящата среда. Те не участват в системата, но свойствата на газа (обема и налягането му) зависят от положението на буталото.

Всяка система може да се разглежда от *макроскопична* и *микроскопична* гледна точка. *Макроскопичните състояния* на системата се характеризират със свойства, които непосредствено могат да бъдат измерени (налягане, обем, температура, плътност, химичен състав и др.), а *микроскопичните състояния* се определят от скоростите на молекулите, техните координати и др. Разглеждането на микроскопичните свойства се основава на определени представи за строежа на материята и процесите, протичащи на молекулно ниво. Тези представи се използват в статистическата механика и кинетичните теории за да обяснят макроскопичните свойства на веществата.

Опитът показва, че едно и също вещество в зависимост от състоянието притежава различни свойства. *Величините, с помощта на които се характеризират свойствата на системата, се наричат параметри. Система, състоянието на която се характеризира от макроскопични параметри, се нарича термодинамична.* В случая на най-прости системи, при отсъствия на силови полета в качеството на макроскопични параметри се избират *обема V, температурата T и налягането p*. Тези параметри не са независими – ако един от тях се измени, изменя се и състоянието на системата като цяло.

Обем на системата V: $[V]=m^3$. Обемът на единица маса се нарича *специфичен обем*

$$V_m = \frac{m}{V}; [V_m]=m^3/kg.$$

Налягане p – въвежда се при изучаването на механиката на флуидите като скаларна характеристика на степента на свиване на флуида; $[p]=Pa$.

Температура T – нов параметър за описване състоянието на термодинамичните системи.

Смисълът на температурата се изяснява от молекулно-кинетичната теория и от термодинамиката.

За пълно описание на състоянието на системата е необходимо да са зададени налягане и температура, или температура и обем, или налягане и обем. *Връзката между налягане, специфичен обем и температура за дадената система се нарича уравнение на състоянието.*

$$F(p, T, V_{cn}) = 0 \tag{1.1}$$

Когато масата на системата е постоянна,

$$F(p, T, V) = 0 \tag{1.2}$$

където V е обема на дадената газова система.

Уравнението на състоянието се определя или експериментално или чрез методите на статистическата механика въз основа на представите за строежа на веществото. Засега са известни уравненията на състоянието газовите системи.