

ТЕМА 10: МОЛЕКУЛНА ФИЗИКА. ТЕМПЕРАТУРА. ТОПЛИННО РАВШИРЕНИЕ НА ТЕЛАТА

1. Предмет, задачи и методи 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.

Основна задача на молекулната физика е да обясни особеностите и законите на движение на молекулите в газове, течности и твърди тела и физичните свойства на веществата в различните агрегатни състояния.

Основните методи, които използва молекулната физика, са:

1.1. 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.

1.2. 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.

1.3. 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.

2. Молекулно-кинетични представи за веществото

2.1. 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 превръща в положително или отрицателно заредена частица – *йон*.

2.2. 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.

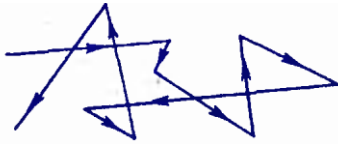
2.3. Движение на градивните частици на веществото. Фактът, че газовете не притежават собствена форма и обем, доказва още една важна особеност на частиците на веществото. Способността на газа да се разпространява в целия обем на съда показва, че молекулите се намират в постоянна движение. Редица свойства 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 пречатства 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.

2.4. 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-голямо от диаметъра ѝ. Едновременно взаимодействие на три или повече молекули се случва изключително рядко. Траекторията на отделната молекула има следния вид (фиг. 10.1а).

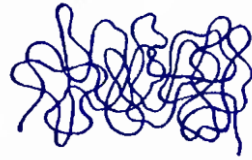
В твърдо агрегатно състояние градивните частици на веществото са здраво свързани поради сили на привличане. Веществото запазва формата и обема си. При деформация възникват сили, стремящи се да възстановят първоначалните форма и обем. Градивните частици са разположени в определени места и образуват *кристална 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. 10.1б).



Фиг. 10.1а



Фиг. 10.1б



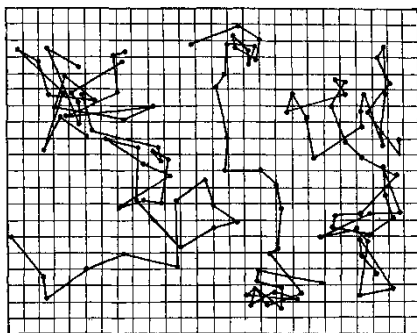
Фиг. 10.1в

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. 10.1в).

2.5. 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 10^{-7} м), поставени в течност или газ, което се дължи на некомпенсирани удари от страна на молекулите на средата.*

!!! N.B. Брауновите частици не са гравитните 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 в 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. 10.2. Траектория на движение на браунова частица

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.

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 формулирана по-точно от белгийския учен Карбонел, който считал, че брауновото

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. В следствие 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 резултантния 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.*

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

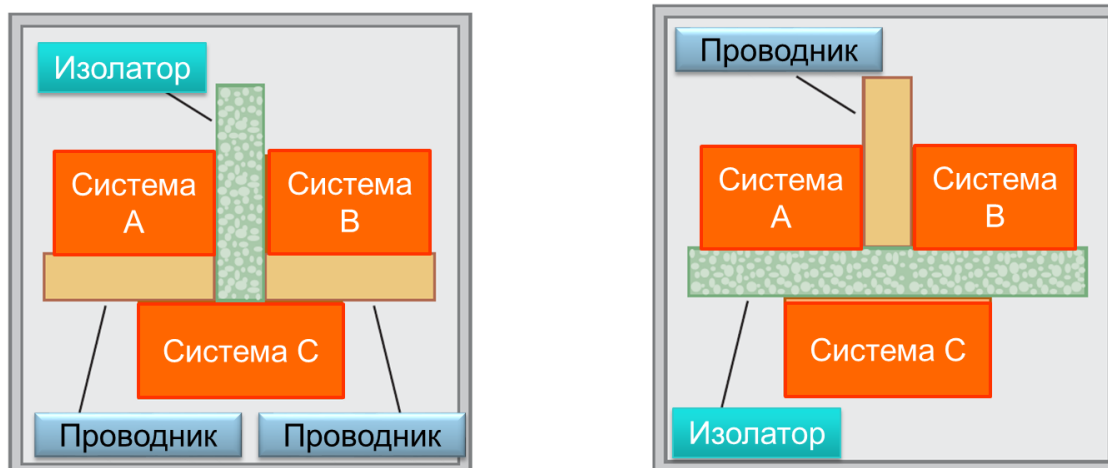
3. Нулев принцип на термодинамиката. Температура

Първоначално температурата е била дефинирана като физична величина, характеризираща топлинното състояние на телата, степента им на нагрятост. Мнението за степента на нагрятост на телата, основаващо се на възприятията, е винаги ограничено и неточно. То зависи от условията, при които до този момент са се намирали нашите органи за възприятие.

Строго и научно обосновано определение на температурата като физична величина е получено въз основа на закона за топлинното (или термодинамичното) равновесие, съгласно който произволна изолирана система с течение на времето достига до състояние, при което температурата на всички тела, участващи в системата, е еднаква. Опитът показва, че в затворена система топлина се придава винаги от по-топлите тела към по-студените тела. След като температурата във всички части на системата се уравни, топлообменът се прекратява и настъпва състояние на топлинно равновесие. По такъв начин *температурата се явява количествен показател, определящ посоката на преноса на топлина.* Равенството на температурата на всички части на системата е условие за топлинното равновесие. За оценка на степента на отклонение на макроскопичните тела от топлинното равновесие, се въвежда понятието температурна разлика. Ако едно от състоянията считаме за нулево, то може да се говори не за температурна разлика, а само за температура. В този случай *температурата е физична величина, която е мярка за отклонението на дадено тяло от топлинното равновесие с другите тела, състоянието на които условно е прието за нулево.*

Да разгледаме три системи – А, В и С, които първоначално не са в термично равновесие – фиг. 10.3. Изолираме системите, така че те да могат да взаимодействат само една с друга. Нека след това да изолираме една от друга системите А и В, като оставим системата С да взаимодейства и с двете системи. Изчакваме докато се постигне термично равновесие, при което всяка от системите А и В е в равновесие със системата С. Тогава възниква въпросът дали системите А и В са в термично равновесие една с друга. За да отговорим на този въпрос, изолираме системата С от системите А и В и след това свързваме системите А и В посредством система, провеждаща топлина. При това експериментът показва, че в системите А и В не настъпват промени. Така стигаме до следния извод: *Ако системата С е в термично равновесие*

със системите А и В, то и системите А и В се намират в термично равновесие по между си. Този резултат се нарича нулев принцип на термодинамиката.



Фиг. 10.3

Да предположим, че системата С представлява термометър, който е в контакт с двете системи А и В. При достигане на термично равновесие, когато показанието на термометъра е стабилно, той измерва температурата на двете системи А и В. Следователно двете системи имат еднаква температура. Експериментите показват, че термичното равновесие не се влияе от добавяне или премахване на изолатор, т.е. следователно показанието на термометъра С няма да се промени ако той се намира в контакт само със системата А или само със системата В. Така стигаме до извода, че *две системи се намират в термично равновесие само ако те имат една и съща температура.*

Този факт прави термометрите приложими. На практика термометърът измерва собствената си температура, но когато той се намира в температурно равновесие с друго тяло, температурите трябва да са равни. Когато температурите на две системи са различни, те не могат да бъдат в термично равновесие.

4. Измерване на температурата

За измерване на температурата се използва факта, че при изменение на температурата на едно тяло се изменят и неговите свойства. Изменят се следователно и величините, характеризиращи тези свойства. Ето защо при създаването на прибор, измерващ температурата, т.е. термометър, се избира произволно вещество (*термометрично вещество*) и определена величина, характеризираща свойство на веществото (*термометрична величина*). Например в битовите термометри за термометрично тяло се избира живак, а за термометрична величина – дължината на живачния стълб. За да може на величината температура да се съпостави определена числена стойност, е необходимо да се зададе зависимост на термометричната величина от температурата. В случая на живачен термометър например се избира линейна зависимост между дължината на живачния стълб и температурата.

Остава още да се установи единицата за температура – градус. Стойността на градуса се избира също произволно. Размерът на градуса се установява по следния начин: за построяване на термометрична скала се избира произволен, лесно възпроизводим температурен интервал между две топлинни състояния (*реперни точки*), на които може да се

присвоят определени числени стойности. Например в температурната скала на Целзий, такива реперни точки се явяват температурите на топене на леда и на кипене на водата при атмосферно налягане. Полученият температурен интервал се дели на произволен брой равни части – градуси. В скалата на Целзий този интервал е разделен на 100 части, а реперните точки са обозначени с цифрите 0 и 100. По този начин се получава температурната скала.

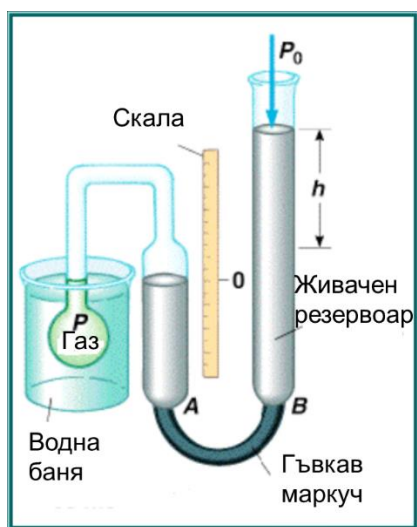
Фаренхайт е температурна скала, наречена така в чест на немския физик Даниел Габриел Фаренхайт, който я предлага през 1724 г. По тази скала температурата на замръзване на водата е 32 градуса по Фаренхайт (записва се като 32 °F), а точката на кипене е 212 °F. Така точките на кипене и топене имат разлика от 180 градуса. По тази причина единицата за тази скала, един градус по Фаренхайт, е 5/9 от един келвин (или от един градус Целзий). Принципът, на който е създадена тази скала (според самия създател), е следният: нулата по Фаренхайт съответства на най-ниската измерена температура през зимата на 1708/1709 г. По този начин физикът е искал да избегне използването на отрицателни температури, които по тогавашните температурни скали са се налагали дори при ежедневна употреба. По-късно той е бил в състояние да достигне отново тази температура (около -17.8 °C) с помощта на смес от лед, амониев хлорид и вода. За 100 градуса по своята скала Фаренхайт е избрал телесната температура на кон, която по това време е смятана за по-стабилна от човешката, а именно 100 °F са около 37.8 °C.

В общи линии, това е температурна скала, лишена от всякаква строга формална логика. Поради тази причина в днешно време тази скала почти не се използва (международно са приети градусите по Целзий и по-строго научните Келвини). За ненаучни цели градусите по Фаренхайт все още се използват в Съединените Щати и в някои други страни

Връзката между температурите, изразени по скалите на Фаренхайт и Целзии, може да се представи във вида:

$$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times \frac{9}{5} + 32 \quad 10.1$$

Съвременната термометрия се основава на скалата на идеален газ, установена с помощта на газов термометър – фиг. 10.4.



Фиг. 10.4

От реалните термометрични вещества най-добре се приближава до идеален газ водородът. Неговият обем при постоянно налягане, или налягане при постоянен обем се изменят линейно с промяна на температурата. Ето защо при установяването на емпирична температурна скала международният комитет по мерки и теглилки в 1877 г. е постановил в качеството на термометрично вещество да се използва водород, термометричната величина да бъде налягането, а термометричната единица – градус Целзий. Във водородния термометър, предназначен за установяване на температурна скала, обемът, зает от водорода, се поддържа постоянен, а плътността на газа – такава, че при температурата на топене на леда 0°C налягането в термометъра да бъде равно на 133 322 Pa.

Международният комитет по мерките и теглилките предложил зависимостта между налягането на водорода и температурата да се счита линейна. Това допускане позволява да се

запиши равенство между отношенията на наляганията при температурите кипене на водата (p_k) и на топене на леда (p_0) и самите температури:

$$\frac{p_k}{p_0} = \frac{T_k}{T_0} \quad 10.2$$

където T_k и T_0 са съответно температурите на кипене на водата и топене на леда.

По опитен път е установено, че

$$\frac{p_k}{p_0} = \frac{T_k}{T_0} = 1.3661 \quad 10.3$$

За определяне размера на градуса разликата $T_k - T_0$ се разделя на 100 равни части:

$$T_k - T_0 = 100 \quad 10.4$$

$$T_k = 1.3661 T_0 \quad 10.5$$

Така се намира, че

$$T_0 = \frac{100}{0.3661} \approx 273.15 \quad 10.6$$

$$T_k = 373.15 \quad 10.7$$

От тук следва, че при $T = 0$, $p = 0$.

Температурата, съответстваща на нулево налягане на водорода, нарекли абсолютна нула, а температурата, отчитана от абсолютната нула – абсолютна температура.

Въпреки че изказаното предположение не съответства на истината, тъй като при -253°C водородът се втечнява, положението на абсолютната нула чисто случайно се оказва установено правилно. Английският физик Уилям Томсън (лорд Келвин) показал, че температурна скала може да се установи и теоретично. Оказало се, че теоретичната скала е много близка до скалата на водородния термометър и абсолютната нула съответства на -273.15°C .

Термодинамичната (или абсолютната скала) Келвин построява теоретично въз основа на втория принцип на термодинамиката. Тя не зависи от термометричното вещество и има универсален характер. Долната граница на скалата на Келвин считаме точката на абсолютната нула, а единствената експериментално определена точка е *тройната точка на водата*, на която е преписана числена стойност 273.16 K или 0.0100°C . В тройната точка едновременно съществуват и се намират в температурно равновесие три фази – твърда (лед), течна (вода) и газообразна (водна пара).

Термодинамичната температура се означава със символа T и се измерва в Келвин (K) – $1/273.16$ част от термодинамичната температура на тройната точка на водата.

$$t^\circ\text{C} = (T - 273.15)\text{K} \quad 10.8$$

5. Видове термометри и тяхното използване

Процесът на измерване на температурата на произволно тяло се свежда до установяване на топлинно равновесие между термометъра и тялото. Когато е достигнато такова равновесие,

може да се счита, че температурата на тялото е равна на температурата, отчитана от термометъра.

5.1. Газови термометри

С помощта на вече разгледания водороден термометър се измерват температури от -250 до +500 °C. Освен водорода, в газовите термометри се използва хелий (при измерване на ниски температури) и азот (при високи температури). В газовите термометри за изменението на температурата се съди или по изменението на обема при постоянно налягане, или по изменението на налягането при постоянен обем. Точността на измерването на температурата се определя от точността на измерването на обема или налягането и степента на приближения на газа до идеален. Газовите термометри не се използват за технически цели. Рядко се използват в научни лаборатории за измерване на ниски температури. Основното им предназначение се свежда до установяване на температурни скали и градуирането на вторични термометри, в които се използват други термометрични вещества и величини. От вторичните термометри най-широко приложение намират течните термометри, термоелементите и термосъпротивленията.

5.2. Течни термометри

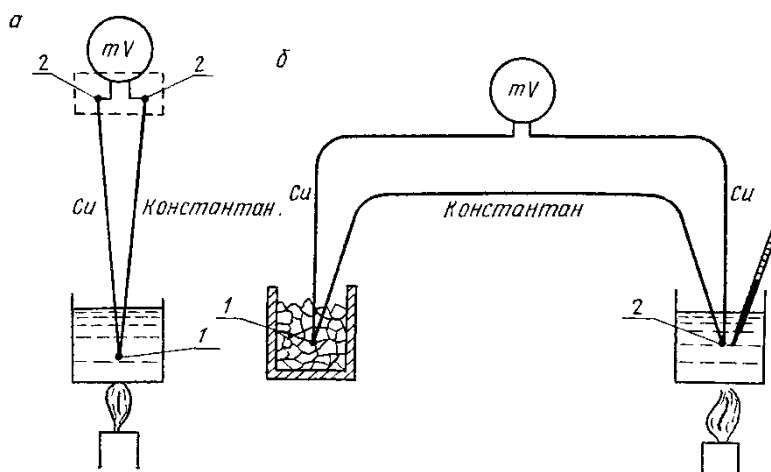
Течните термометри представляват тънки стъклени тръбички, завършващи в долния край с неголеми резервоари, в които се поставя течността. Областта на използване на течните термометри е ограничена от страна на ниските температури поради замръзване на течността, а от страна на високите температури – поради размекване на стъклото. Използват се при изменение на температурата от -200 до +600 °C. използват се следните течности: пентан, живак, толуол, етилов спирт.

Възможностите на газовите и течните термометри са ограничени: те са настроени само за определен температурен интервал, не позволяват наблюдение от разстояние, чувствителността им не е голяма, инертни са, поради което не дават възможност да се следят бързи температурни изменения. За да се избегнат тези недостатъци, за измерване на температурата се използват устройства, в които измервания параметър се преобразува в електрически сигнал. Такива сигнали могат да се придават на произволни разстояния, усилват, преобразуват, резултатът може да се представя в удобен вид – в цифри на светлинен индикатор, на екран на осцилограф и т.н.

За измерване на температурата може да се използва зависимостта на съпротивлението от температурата, възникването на термоелектродвижещи сили и др. На базата на тези явления са създадени термосъпротивления, термодвойки, пирометри и др.

5.3. Термоелементи (термодвойки)

Работата на термодвойките се основава на т.нар. ефект на Зеебек – във ел. верига, състояща се от два различни проводника, възниква термоелектродвижещо напрежение, ако спойките между проводниците се намират при различни температури – фиг.10.5.



Фиг. 10.5

5.4. Термосъпротивления

За измерване и регулиране на температури широко се използват термосъпротивления, в основата на които е приложен принципа за изменение на съпротивлението на проводници и полупроводници при изменение на температурата. Особено точни се явяват полупроводниковите термометри съпротивление – термистор. Известно е, че при полупроводниците броя на токовите носители значително нараства с повишаване на температурата. Затова и съпротивлението на типичните полупроводници рязко намалява при увеличаване на температурата. Поради този факт полупроводниковите термосъпротивления притежават висока температурна чувствителност. Неголемите размери на термосъпротивленията обезпечават малка топлинна инерция на температурния датчик и ползването му за измерване на температурата в трудно достъпни места.

5.5. Деформационни термометри.

Деформационните термометри са основани на принципа на изменение на линейните размери на твърди тела в зависимост от температурата. В качеството на датчик в такива термометри се използва биметална пластина или пружина, състояща се от два здраво свързани един с друг метални слоеве, които рязко се различават по температурен коефициент на разширение. При нагряване биметалната пластина се изкривява така, че металът с по-голям коефициент на температурно разширение образува изпъкналата страна – фиг. 10.6.

		
<p>Фиг. 10.6а Биметална пластина</p>	<p>Фиг. 10.6б Биметална пластина след нагряване</p>	<p>Фиг. 10.6в Биметална пластина в термометър</p>

Чувствителността на термометъра при изменение на температурата с 1 К е толкова по-голяма, колкото по-голяма е разликата в температурните коефициенти на металите, дължината на елемента и колкото по-малка е дебелината му. Обикновено се използват металите инвар-стомана, инвар-никел и т.н.

5.6. Измерване на високи и ниски температури

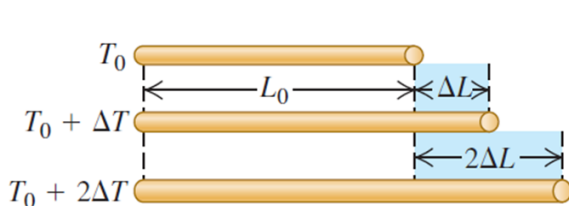
За измерване на много високи температури (от порядъка на хиляди градуси) се използват оптически и електрически пирометри, градуирани с помощта на законите за топлинно излъчване на телата. За измерване на ниски температури в интервала от 0.25 до 3.2 К, се използва скала, градуирана по налягането на парите на He3, а за температури, по-ниски от 0.25 К, когато контактните термометри с охлаждащото се тяло не довеждат до установяване на топлинно равновесие – скала по магнитна възприемчивост, която има обхват в интервала 0.002 до 2 К.

6. Топлинно разширение на телата

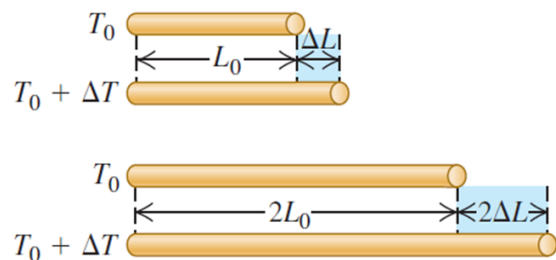
При повишаване на температурата повечето материали се разширяват. Увеличаването на температурата води до разширение на течностите в течните термометри и до огъване на биметалните пластини.

6.1. Линеен разширение

Да предположим, че при температура T_0 даден материал във формата на прът има дължина L_0 . Когато температурата се промени с ΔT , дължината се променя с ΔL . Експериментите показват, че ако ΔT не е много голяма (например по-малка от 100°C), тогава ΔL е пропорционално на ΔT – фиг. 10.7 а. Ако два пръта, направени от един и същ материал, имат една и съща температурна разлика, но единият е два пъти по-дълъг от другия, тогава изменението на дължината е също два пъти по-голямо. Следователно ΔL трябва да бъде пропорционално и на началната дължина L_0 – фиг. 10.7 б.



Фиг. 10.7 а



Фиг. 10.7 б

Въвеждайки коефициент на пропорционалност α (който е различен за различните материали), посочените зависимости могат да бъдат изразени чрез уравнението:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \quad 10.9$$

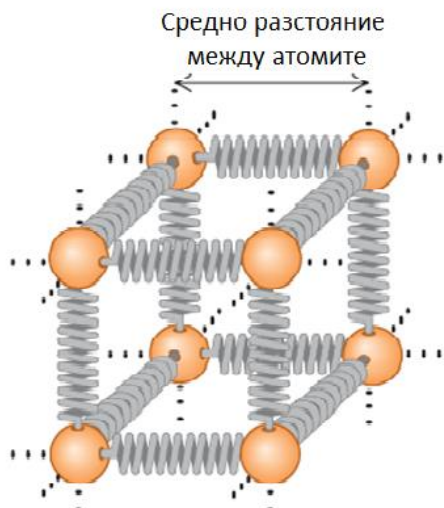
Ако при температура T_0 тялото има дължина L_0 , то неговата дължина L при температура $T = T_0 + \Delta T$ е:

$$L = L_0 + \Delta L = L_0 + \alpha L_0 \Delta T = L_0 (1 + \alpha \Delta T) \quad 10.10$$

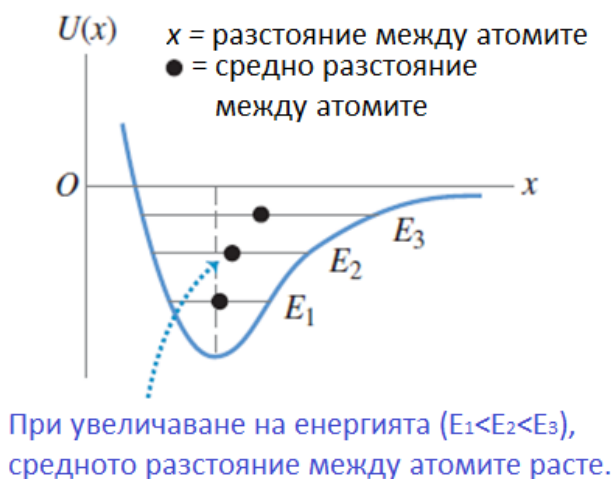
Коефициентът α , който описва топлинното разширение на даден материал, се нарича *коефициент на линейно разширение*. Мерната единица за α е K^{-1} или $(^{\circ}C)^{-1}$ (температурният интервал е еднакъв в скалите на Келвин и Целзий).

За много материали, всеки линеен размер се променя според уравнения (10.9) или (10.10). Така L може да бъде дебелината на прът, страничната дължина на квадратен лист, или диаметъра на отвор. Някои материали, като дърво или монокристали, се разширяват по различен начин в различни посоки.

Топлинното разширение може да бъде обяснено качествено на молекулно ниво. За тази цел между атомните сили, действащи на телата в твърдо агрегатно състояние, могат да бъдат представени чрез пружини – фиг. 10.8 а.



Фиг. 10.8 а



Фиг. 10.8 б

Всеки атом трепти около равновесното си състояние. Когато температурата нараства, енергията и амплитудата на трептене също нарастват. Между молекулните сили са несиметрични относно равновесното положение: обикновено те се държат като пружини, които е по-лесно да бъдат разтегнати, отколкото свити. Като резултат при нарастване на амплитудата на трептене средното разстояние между атомите също нараства. Тъй като атомите се отдалечават един от друг, всички размери на тялото нарастват.

Правопропорционалната зависимост (10.10) не е напълно точна; тя е относително вярна за неголеми изменения на температурата. За даден материал коефициент на линейно разширение зависи от началната температура и от големината на температурния интервал.

6.2. Обемно разширение

Увеличаването на температурата обикновено води до увеличаване на обема както за твърдите, така и за течните материали. Точно както при линейното разширение, експериментите показват, че ако температурната промяна не е прекалено голяма (по-малко от $100^{\circ}C$), увеличението на обема е приблизително пропорционално както на температурната разлика ΔT , така и първоначалния обем V_0 :

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T \quad 10.11$$

Константата β характеризира обемното разширение на материала и се нарича *коефициент на обемно разширение*. Мерните единици за β са K^{-1} или $(^{\circ}C)^{-1}$. Както и при линейно разширение,

β варира до известна степен с температурата и уравнение (10.11) е приблизителна връзка, която е валидна само за малки температурни промени. За много вещества β намалява при ниски температури. Стойностите на β за течности обикновено са много по-големи от тези за твърдите тела.

При твърдите материали е налице проста зависимост между коефициентите на линейно и обемно разширение. За да установим тази връзка, нека предположим, че материалът е под формата на куб със страна L и обем $V = L^3$. При начална температура T_0 дължината на страната и обемът на куба са съответно L_0 и V_0 . Когато температурата нарасне с dT , дължината на страната на куба се увеличава с dL , а обемът нараства с dV , като е в сила зависимостта:

$$dV = \frac{dV}{dL} dL = 3L^2 dL \quad 10.12$$

Да заменим L и V с началните стойности L_0 и V_0 . От уравнение (10.9)

$$dL = \alpha L_0 dT \quad 10.13$$

Тогава:

$$dV = 3L_0^2 \alpha L_0 dT = 3\alpha V_0 dT \quad 10.14$$

Сравняваме израз (10.14) с $dV = \beta V_0 dT$. Двата израза могат да бъдат равни само ако

$$\beta = 3\alpha \quad 10.15$$