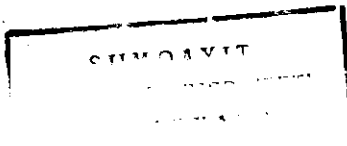


E.Ə.MƏSİMOV, H.Ş.HƏSƏNOV

**BİOLOJİ SİSTEMLƏRİN
TERMODİNAMİKASI**

21807

*Azərbaycan Respublikasının təhsil nazirliyinin 24.04.2007-
ci il 349 sayılı əmri ilə dərs vəsaiti kimi təsdiq edilmişdir*



BAKİ – 2007

53:54:57

M54

Rəy verənlər:

Eyvazov E.Ə. – fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor

Əhmədov F.A. – fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor

Babanlı M.B. – kimya elmləri doktoru, professor

E.Ə.Məsimov, H.Ş.Həsənov. *Bioloji sistemlərin termodinamikası*, Bakı, 2007, 411 s.

Oxuculara təqdim olunan bu kitabda məqsəd bəzi bioloji proseslərin termodinamik baxımdan təhlilini şərh etməkdir. Bütün canlı aləmdə gedən proseslər praktiki olaraq sabit təzyiqli və temperaturda baş verdiyini nəzərə alaraq Gibbs sərbəst enerjisinin dəyişməsinin öyrənilməsinə daha çox yer verilmişdir. Bundan əlavə, kitabda müxtəlif biokimyəvi reaksiyaları öyrənərkən alınan təcrübi nəticələr təhlil edilmişdir.

Kitab Universitetlərin fizika, kimya və biologiya fakültələrinin yuxarı kurs bakalavriatları, magistrantları və aspirantları üçün nəzərdə tutulmuşdur. Eyni zamanda kitabın bəzi fəsiləri elmi işçilər üçün də faydalı ola bilər.

ÖN SÖZ

Canlı orqanizmlərin ən vacib xassəsi ondan ibarətdir ki, onlar xaricdən enerjini alır, çevirir, enerji ehtiyatı toplayır və sonra isə bu enerjini müxtəlif biosintez proseslərdə istifadə edir. Bu sadalanan funksiyaları yerinə yetirən canlı aləmin fəaliyyəti onları idarə edən qanunlara – bioloji termodinamikanın qanunlarına əsaslanır.

Lakin qeyd etmək lazımdır ki, bioloji termodinamikanın məqsədi yalnız canlı orqanizmlərdə gedən proseslərin fizikanın qanunlarına tabe olduğunu göstərmək olmayıb, eyni zamanda konkret bioloji sistemin necə işlədiyini araşdırmaq və bu və ya digər hipotezin düzgünlüyünü yoxlamaq üçün məntiqi təcrübələrin qoyulmasını təmin etməkdir.

Bioloji sistemlərdə enerji çevrilmələrinin mexanizminin öyrənilməsi XX əsrin ən böyük elmi nailiyyətlərindən hesab oluna bilər. Bu mexanizmlərin tədqiqində müvəffəqiyyətlər yalnız termodinamikanın ideyalarının və metodlarının biologiyaya nüfuz etməsi nəticəsində mümkün olmuşdur. Biokimyəçilər dərk etdilər ki, bioenergetikanın mahiyyətini başa düşmək üçün kalorimetrdə entalpiyanın ölçülməsi kifayət deyil və baş verən biokimyəvi prosesləri tam xarakterizə edə bilmək üçün eyni zamanda sərbəst enerjinin dəyişməsinin miqdarını da bilmək lazımdır.

Termodinamika baş verən biokimyəvi proseslərin mahiyyətini rəasional izah etməyə imkan verir. Termodinamikanın II qanununun dərk olunması ATF və onun analoglarının enerjisinin biokimyəvi çevrilmələrində mərkəzi rol oynaması konsepsiyasının yaranmasına gətirib çıxardır.

Təqdim olunan bu kitabda termodinamikanın əsas prinsipləri və onların bioloji sistemlərə tətbiqinin oxuçulara çatdırılmasına cəhd göstərilmişdir.

Kitabın yazılması və nəşrə hazırlanması zamanı öz qeydləri və faydalı məsləhətləri ilə onun səviyyəsinin yüksəlməsinə kömək etmiş AMEA-nın akademiki

B.M.Əsgərova dərin minnətdarlığımızı bildiririk. Dərslinin tərtib prosesində bir çox məsələlərin müzakirəsində fəal iştiraklarına görə aparıcı elmi işçi, f.-r.e.n. A.R. İmaməliyevə, aparıcı elmi işçi, f.-r.e.n. H.F.Abbasova, dos. T.O.Bağirova təşəkkür edirik. Eyni zamanda, kitabın işıq üzü görməsində əməyi olan "Bioloji sistemlər fizikası" ETL- in əməkdaşlarına, o cümlədən kitabın əlyazmasının çapa hazırlanmasında, kömpüter dizaynı işlərinin yerinə yetirilməsində əvəzsiz əməyi olmuş S.Z.İmaməliyevaya təşəkkür edirik. Kitabın korrekte edilməsində böyük əmək sərf etmiş M.R.Həsənovaya öz təşəkkürümüzü bildiririk.

Bütün nəşrlərdə olduğu kimi, bu kitab da nöqsansız deyil. Müəlliflər oxucular tərəfindən göstərilən iradları və edilən təklifləri böyük razılıq və minnətdarlıqla qəbul etməyə hazırdılar.

Müəlliflər ümid edirlər ki, bu kitab öz layiqli oxucu auditoriyasını tapacaqdır.

E.Ə.Məsimov, H.Ş.Həsənov

Giriş

Termodinamika bir neçə qanunlar və münasibətlər üzərində qurulmuşdur. Bu qanunlar və münasibətlər təcrübələr, müşahidələr və sağlam düşüncələrin mühakimələri əsasında yaranmışdır. Odur ki, adətən qəbul olunur ki, termodinamikanın qanunları və münasibətləri doğrudur. Bu qanunlar və münasibətlərdən elmin müxtəlif sahələrində, o cümlədən fizika, geofizika, geologiya, astronomiya, kimya, biologiya və s. geniş istifadə olunur.

Termodinamikanın ilkin tarixi kalorimetriyanın inkişafı ilə sıx əlaqədardır. Kimyəvi və bioloji proseslərin tədqiqində optik ölçülərə nəzərən əvvəlcə istilik ölçüləri aparılmışdır. Hələ XVIII əsrdə bir sıra maddələrin istilik tutumunun və digər fiziki sabitlərin ölçülməsində termometriya sahəsində müəyyən nailiyyətlər əldə olunmuşdur. Kalorimetrik ölçülər müxtəlif bioloji obyektlərdə—məməlilərdə, hüceyrələrdə və s.—də aparılmışdır. Bu istiqamətdə aparılan tədqiqatların kalorimetriyanın inkişaf tarixində böyük rolu olmuşdur. Müasir biokimyəvi laboratoriyalarda spektroskopik ölçülər ən geniş tətbiq olunan analitik metoddur.

Biokimyə və biofizikanın qarşısında duran əsas məsələ canlı orqanizmlərdə enerji ehtiyatlarının yaranması və istifadə olunması məsələsidir. Canlı orqanizmdə yaranan kimyəvi enerji sonra mexaniki enerjiyə çevrilir. Buna misal olaraq əzələ sıxılmasını göstərmək olar. Əzələ sıxılması kimyəvi enerjinin mexaniki enerjiyə çevrilməsi nəticəsində baş verir. Belə proseslərin başa düşülməsində termodinamik münasibətlərin əhəmiyyətli rolu vardır. Orqanizmdə kimyəvi proseslər olduqca yavaş baş verdiyindən hər bir hala tarazlıq halı kimi baxmaq olar. Odur ki, termodinamik yolla prosesin sürətini təyin etmək mümkün olmur.

Orqanizmdə baş verən proseslər haqqında əsas informasiyanı kimyəvi tarazlığın parametrlərini ölçməklə almaq mümkündür. Kimyəvi tarazlıq haqqında əsas təsəvvürlər isə müxtəlif proseslərdə udulan və ya ayrılan istilik miqdarının

dəqiq kalorimetrik ölçüləri ilə əlaqədardır.

Tarixən kalorimetriyanın inkişafı Djozef Bleyk və fransız kimyaçısı Lavuazyenin (1743-1797) işləri ilə bağlıdır. Biokimyəvi kalorimetriya oblastında ilkin tədqiqatlara 1784-cü ildə Lavuazye və Laplas başlamışlar. Onlar kiçik məməliləri qlükoza ilə yemlədikdən sonra ayrılan istilik miqdarını ölçmüşlər və göstərmişlər ki, bu istilik miqdarı kalorimetrdə qlükozanın yanması zamanı ayrılan istilik miqdarına bərabərdir.

Termodinamika elminin yaranması istilik maşınının kəşfi ilə əlaqədardır. XVIII-ci əsrin başlanğıcında Tomas Saveri, Denis Papin və Tomas Nyukomanın istilik maşını saxtadan suyu çıxarmaq üçün istifadə olunmuşdur. 1824-cü ildə fransız mühəndisi və fiziki Sadi Karno (1796-1832) ideal istilik maşınının faydalı iş əmsalını hesablamışdır. Karno tsikli P - V diaqramında iki izotermik və iki adiabatik proseslərdən ibarətdir. İşçi maddə temperaturu T_1 olan qızdırıcıdan Q_1 istilik miqdarı alaraq A işi görür və istiliyin Q_2 hissəsi temperaturu T_2 olan soyuducuya verilir. Bu halda maşının maksimal faydalı iş əmsalı

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

düsturu ilə təyin olunur. Maksimal görülməli iş alınan və verilən istiliklərin fərqinə, yəni $A_{max} = Q_1 - Q_2$ -yə bərabərdir. Karnonun işlərindən bilavasitə çıxır ki, mexaniki işi tamamilə istiliyə çevirmək mümkün olduğu halda, istiliyi tamamilə mexaniki işə çevirmək olmaz. Sadi Karnonun vaxtında enerjinin saxlanması qanunu məlum deyildir. Onun ölümündən sonra (O, xolera epidemiyasından 1832-ci ildə 36 yaşında vəfat etmişdir) məlum olmuşdur ki, Karno enerjinin saxlanması qanunu üzərində işləyirmiş.

XIX əsrin 40-cı illərində istilik enerjinin forması kimi təsəvvürlər tam təsdiq olunmuşdur. Həmin illərdə artıq məlum idi ki, enerjinin bir formadan digərinə keçməsi dəqiq kəmiyyət münasibəti ilə əlaqədardır.

Enerjinin saxlanması ideyası alman fiziki Yulius Robert Mayerə (1814-1878) məxsusdur. Mayer müəyyən etmişdir ki, 1 kalori istilik 4,184 C enerjiyə bərabərdir. 1kal=4,184 C münasibəti bir çox hallarda termodinamikanın I qanunu kimi də qəbul olunur. Alman fiziki, riyaziyyatçısı, fizioloqu və psixoloqu Herman Ludviq Ferdinand Helmholtz (1821-1894) Mayerin ideyalarının doğruluğunu dərk etmiş və 1847-ci ildə enerjinin saxlanması qanununu ardıcılıqla əsaslandırmışdır. Gənc yaşlarında hərbi cərrah olan Helmholtz fizika elminə bir sıra yeniliklər gətirmişdir. O, fiziologiya sahəsində də bir sıra işlər görmüşdür. Siner impulsunun yayılma sürətini ilk dəfə Helmholtz təyin etmişdir.

1850-ci illərdən başlayaraq enerjinin çevrilmə mexanizmi biofizikada əsas tədqiqat mövzusu olmuşdur. 1850-ci ildə ingilis fiziki Uilyams Tomson (lord Kelvin) (1824-1907) mütləq temperatur şkalası daxil etmişdir və göstərmişdir ki, ideal maşının maksimal faydalı iş əmsalı

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

düsturu ilə təyin olunur. Kelvin və alman fiziki Rudolf Yulius Emanuel Klauzius (1822-1888) elmə 1865-ci ildə entropiya (yunanca "transformasiya" deməkdir) anlayışını daxil etmişlər və bu istiqamətdəki təsəvvürləri inkişaf etdirmişlər. Enerjiden fərqli olaraq entropiya zamana görə dəyişir. Ətraf mühitlə maddə mübadiləsində olmayan sistemdə, yəni qapalı sistemdə ixtiyari proses entropiyanın artması istiqamətində baş verir. Entropiya prosesin dönməzlik ölçüsüdür.

Bioloji proseslərin xarakterik xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, enerjinin bir formadan başqa formaya keçməsi sabit temperaturda və ya cüzi temperatur fərqi ilə baş verir, yəni proses izotermikdir. XIX əsrin axırlarında məlum olmuşdur ki, əgər əzələyə istilik maşını kimi baxsaq, maksimal temperatur fərqi onların effektiv fəaliyyətinə uyğun gəlmir. Əzələ enerjisinin mövcudluğunun mexanizmi hələlik tam aydın deyildir.

XIX əsrin axırlarında kimyəvi termodinamikanın əsasını qoyanlardan biri də amerikan fiziki Djozayya Uillard Gibbs (1839-1903) olmuşdur. O, ixtiyari sayda kimyəvi komponentdən və fazadan təşkil olunmuş sistem üçün tənlik almışdır. Bu tənlik sistemin tarazlıq halının temperaturdan, təzyiqdən və kimyəvi tərkibdən asılılığını ifadə edir. O, yeni termodinamik funksiya –entalpiya (istilik funksiyası) və Gibbs enerjisi (kimyaçılar Gibbs enerjisini sərbəst enerji adlandırırlar) daxil etmişdir. Gibbs lokanik və riyazi dildə yazmışdır. Odur ki, onun dövründə kimyaçıların əksəriyyəti onu başa düşə bilmirdilər. Lakin Gibbsin işləri Niderland kimyaçısı Yakob Hendrik Vant-Hoff (1852-1911), İsveç fiziki və kimyaçısı, Nobel mükafatı laureatı Svante Avqust Arrenius (1859-1927) və alman fiziki və kimyaçısı, Vilhelm Fridrix Ostvald (1853-1932) kimi alimlərin işinə böyük təkan vermişdir. Bu alimlər 1885-ci ildən başlayaraq məhlulların fiziki kimyasını yaratmışlar və elektrolitik dissosiasiya təsəvvürlərini daxil etmişlər.

Termodinamikanın inkişafında polyak fiziki və kimyaçısı, Nobel mükafatı laureatı Valter Fridrix German Nernstin (1864-1941) «istilik teoremi» həlledici rolunu oynamışdır. Bu teorem termodinamikanın üçüncü qanununu ifadə edir. Bu teoremin əsasında istilik ölçülərinin nəticələrindən istifadə edərək bir çox sistemlərin kimyəvi tarazlıq halının parametrlərini hesablamaq mümkün olmuşdur. Belə ki, bu teoremdən istifadə edərək istilik tutumunun və faza keçidləri zamanı ayrılan və ya udulan istilik miqdarının qiymətini hesablamaq mümkündür. XIX əsrin axırı XX əsrin əvvəllərindən başlayaraq biologiyada enerji çevrilmələri ilə məşğul olan alimlər iki qrupa bölünürlər. Bir qrup alimlər bu enerjinin yaranması (fotosintez, oksidləşdirici və s. proseslər), digər qrup bu enerjinin biosintez, əzələ sıxılması, transport proseslərdə və informasiyanın verilməsində necə istifadə olunması ilə maraqlanmağa başladılar. Bio-energetiklərin əsas tədqiqat predmeti oksidləşdirici fosforensensiyanın və fotosintez proseslərinin mexanizmini öyrənmək olmuşdur.

Məlum olmuşdur ki, oksidləşdirici fosforensensiya və fotosintez prosesləri zamanı ATF (adenozin trifosfat) yaranır. ATF-nin vəzifəsi enerji toplamaq və bu enerjini orqanizmin digər üzvlərinin fəaliyyətinə sərf etməkdir. ATF-nin enerji toplamaq və enerji vermək onun fiziki-kimyəvi xassəsi, xüsusən də onun fosfat efir əlaqəsi ilə əlaqədardır.

Aktiv sinir və əzələ liflərində enerjinin ayrılmasına həsr olunan ingilis fizioloqu A. V. Xillanın klassik tədqiqatları 1912-ci ildən başlayaraq 60 il davam etmişdir. Xillan və onun əməkdaşları göstərmişlər ki, nerv və əzələ liflərində stimulyasiyadan sonra 50 msan müddətində temperaturun dəyişməsi 50 mK-ə bərabərdir. Bu bir daha təsdiq edir ki, canlı orqanizmdə proseslər demək olar ki, sabit temperaturda baş verir.

Əzələ sıxılması prosesində kimyəvi dəyişikləri müşahidə etməyə imkan verən müasir spektroskopik metodlar, həmçinin əzələ sıxılması və ilkin vəziyyətə qayıtma prosesində kimyəvi çevrilmələrdən alınan dəqiq kalorimetrik məlumatlar əzələ aktivliyi mexanizminin və biotermodinamika haqqında təsəvvürlərin inkişafında həlledici rol oynamışdır.

Qeyd etmək lazımdır ki, mürəkkəb sistemlərin tədqiqində istilik ölçülərinin universallığı yeni hadisələrin açılmasına imkan verir. Əgər sistemdə udulan və ya ayrılan istilik miqdarı nəzərdə tutulan prosesin getməsi zamanı istilik dəyişmələrinin cəminə bərabər deyilsə, bu onu göstərir ki, sistemdə əvvəlcədən nəzərə alınmayan əlavə reaksiya da baş verir. Bu hal əzələ sıxılması zamanı müşahidə olunmuşdur.

XX əsrin ortalarında əsas tədqiqatlar zülalın biosintez prosesinin getməsinə sərf olunan enerjinin ölçülməsinə yönəlmişdir, çünki o vaxt elə hesab edirdilər ki, yalnız zülal makromolekulu genetik və kimyəvi spesifikliyə malikdir. Artıq kalorimetrik və digər məlumatlar əsasında amin turşularının, peptidlərin və zülalların termodinamik parametrlərini hesablamaq mümkün olmuşdur.

Bioloji nöqteyi-nəzərdən tarazlıq halında müşahidə oluna bilən aşağıdakı proseslər maraq kəsb edir:

- 1.Osmotik təzyiq
- 2.Həllolma
- 3.Elektrod potensialları
- 4.Oksidləşdirici-reduksiyaedici potensiallar
- 5.Protonların və digər ionların yaranması ilə baş verən ionizasiya
- 6.Substrat molekullarının makromolekullara birləşməsi
- 7.Zülal-zülal qarşılıqlı təsiri
- 8.Kimyəvi tarazlıq

Biokimyayın və fiziologiyayın fiziki kimyası ilə maraqlanan tədqiqatçılar nəinki bu istiqamətdəki işləri stimullaşdırmışdılar, hətta sulu sistemlərdə elektrolitlərin özlərini necə aparmaları, ionlaşmış qrupların xassələri, qeyri-kovalent qarşılıqlı təsirin energetik xarakteristikaları haqqında təsəvvürlərin inkişafına böyük təkan vermişdilər. Biokimyada kimyəvi və fiziki proseslərin tədqiqi termodinamikanın qanunlarına və onlardan çıxan nəticələrə əsaslanmışdır.

Tarazlıq termodinamikası və kalorimetriya makromolekulların yaranması və onların konformasiya dəyişikləri proseslərinin, həmçinin katalitik və molekulların iştirakı ilə liqandaların birləşməsi proseslərinin entalpiyasını, entropiyasını, Helmholtz və Gibbs enerjilərini hesablamağa imkan verir.

I FƏSİL

Termodinamik anlayışlar. Temperatur

§1.1. Sistemlər və effektivlik

Termodinamikada "sistem" anlayışı dəqiq təyin olunmalıdır. Sistem, geniş mənada, hər hansı yolla ayrılmış Kainatın bir hissəsidir. Sistem hündəsi sərhədə malikdir və onun bir çox xassələri bu sərhədin xassələri ilə təyin olunur.

İstilik və maddə üçün keçilməz sərhədə malik olan sistemlər *izolə edilmiş sistem* adlanır. İzolə edilmiş sistemlərdə istənilən proses adiabatik baş verir. Ətraf mühitlə heç bir əlaqə olmadan izolə edilmiş sistemdə ölçülər aparmaq, ciddi desək, mümkün deyil. Lakin müəyyən kənara çıxmaları nəzərə almaqla izolə edilmiş sistem kimi Düar qabından praktiki məqsədlər üçün istifadə etmək olar.

İstilik də daxil olmaqla bütün növ şüalanmalar üçün keçilən, lakin maddə üçün keçilməz sərhədə malik olan sistemlər *qapalı sistem* adlanır. Məhlullarda reaksiyaların öyrənilməsində, bioloji proseslərində termodinamik xassələrinin tədqiqində və s. ən çox qapalı sistem anlayışından istifadə olunur.

Ətraf mühitlə həm istilik və həm də maddələr mübadiləsində olan sistemlər *açıq sistem* adlanır. Açıq sistemlərə adətən canlı orqanizmlərdə daha çox rast gəlmək olar. Doğrudur, bu halda baxılan həcmə sərhədi həllolan müxtəlif maddələr üçün eyni olmaya da bilər. Bioloji obyektlərin tədqiqində sərhədin xassələri ilə yanaşı təzyiğin, temperaturun, həcmə və s. sabitlik şərtini də nəzərə almaq lazımdır.

Termodinamikada effektivlik adətən müəyyən faydalı iş əmsalına malik olan buxar maşınının və ya yüklənməsi istilik itkisi ilə müşayiət olunan qalvanik element misalında öyrənilir. Lakin hər hansı bioloji sistemdə gedən prosesin effektivliyini müəyənləşdirdikdə bu sistemlərin spesifik xüsu-

siyyətlərini nəzərə almaq lazımdır. Təbiidir ki, canlı orqanizmin funksiyaları və xassələri insan əli ilə yaradılmış maşının xassələrindən kəskin fərqlənir. Məsələn, iki amin-turşuları arasında peptid əlaqəsinin yaranması üçün lazım olan minimum enerji bir çox hallarda dəqiq ölçülmüşdür. Lakin zülallarda peptid zəncirinin sintezi mürəkkəb mərhələlərdən ibarətdir və bu prosesin getməsi üçün bir peptid əlaqəsinin yaranmasına sərf olunan enerjiden 10-20 dəfə çox enerji tələb olunur. İlk baxımdan belə görünə bilər ki, təbiət zülalların sintezi üçün enerjinin xərclənməsi nöqtəyindən nəzərdən olduqca ifratçı olan metod hazırlamışdır. Lakin sərf olunan enerjinin hesabına orqanizm özünün əsas ehtiyaclarından birini təmin etmiş olur. Orqanizmin böyük enerji sərf etməsi onun spesifik xüsusiyyətlərinin yaranmasına yönəlmişdir. Zülalın müəyyən funksiyaları yerinə yetirməyə imkan verən bu spesifik xüsusiyyətlər olmadan, məsələn, amin-turşularının mövcud ardıcılığı yarana bilməzdi. Termodinamik təsəvvürlər baxımından demək olar ki, orqanizm öz enerjisini bütün spesifik məhsulların entropiyalarını azaltmağa sərf edir. Məlumdur ki, entropiyanın kiçik qiyməti nizamlılığın artmasına, böyük qiyməti isə xaotikliyin artmasına uyğundur.

§1. 2. Müxtəlif enerji formalarının qarşılıqlı çevrilmələri

Bioloji sistemlər mexaniki, elektrik, kimyəvi, işıq və maqnit sahəsinin enerjilərinin bir-birinə çevirmə qabiliyyətinə malikdirlər. Özlərinin hissedici və rəqulyar funksiyalarına görə bu sistemlərə olduqca həssas cihaz kimi baxmaq olar. Bioloji sistemlərdə enerjinin ehtiyatının saxlanması ilə informasiyanın verilməsi arasında da əlaqə mövcuddur. Enerjinin saxlanması məsələsi müzakirə olunduqda yadda saxlamaq lazımdır ki, söhbət bütün enerji formalarının (mexaniki, istilik, elektrik və s.) cəminin sabitliyindən gedir.

İş və enerji kəmiyyətləri sistemdə təsir edən müxtəlif qüvvələrin təbiəti haqqında məlumat almağa imkan verir. Bununla əlaqədar olaraq bir sıra fiziki kəmiyyətlərini nəzərdən keçirək. Hər hansı F qüvvəsinin təsiri altında zərərçik $r_2 - r_1 = l$ məsafəsi qədər yerini dəyişdikdə görülən iş

$$A = \int_{r_1}^{r_2} F dr \quad (1.1)$$

düsturu ilə təyin olunur. BS sistemində işin vahidi C ouldur (C). $1C = 1N$ qüvvənin $1m$ yolda gördüyü işdir, yəni $1C = 1N \cdot m$. Təbiidir ki, enerji də coullarla ölçülür, bu kinetik enerjinin

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 \quad (1.2)$$

ifadəsindən də görünür.

Cismə təsir edən təzyiqlik vahid səthə normal istiqamətdə təsir edən qüvvənin ədədi qiyməti ilə təyin olunur:

$$P = \frac{F}{S} \quad (1.3)$$

Təzyiqlik, temperatur və həcm arasında münasibət

$$\frac{PV}{T} = R \quad (1.4)$$

düsturu ilə ifadə olunur. Bu tənlikdə V -bir mol qazın həcmi, R -universal qaz sabitidir. Universal qaz sabiti $C/mol \cdot K$ vahidi ilə ölçülür.

Bir çox bioloji proseslərin enerji balansını mayələrin özlülüyündən (η) də asılıdır. Özlü mayədə həm stasionar, həm turbulent axın baş verə bilər. Stasionar axında təbəqələrin bir-birinə nisbətən yerdəyişməsi baş verir. Belə axından fərqli olaraq turbulent axın qeyri-requlyardır və onu analiz etmək çətindir. Özlü mühitdə təbəqələrin bir-birinə nəzərən yerdəyişməsi üçün qüvvə tətbiq etmək lazımdır.

Bu qüvvə təbəqənin səthinin sahəsi (S) və sürətin qradiyenti ($\Delta v / \Delta l$) ilə düz mütənasibdir:

$$F = \eta S \frac{\Delta v}{\Delta l} f, \quad \eta = \frac{F/S}{\Delta v / \Delta l} \quad (1.5)$$

Özlülüğün vahidi

$$\eta = \frac{N/m^2}{m/san / m} = Pa \cdot san$$

Ölçü vahidi baxımından enerji ilə özlülük arasındakı əlaqəni aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\text{enerji } (C) = \text{özlülük } (Pa \cdot san) m^3 \cdot san^{-1}$$

Bu əlaqəni aşağıdakı kimi izah etmək olar:

$$\text{özlülük} = \frac{\text{axını təmin etmək üçün lazım olan enerji}}{\text{mayenin həcmi / axma müddəti}}$$

Özlülük sistemdən kənar vahidlə (puaz) verilir:

$$1 \text{ puaz} = 0,1 Pa \cdot san$$

Verilmiş işin görülmə müddətini xarakterizə edən güc vahid zamanda görülən işdir:

$$P_{\text{güc}} = \frac{A}{t} \quad (1.6)$$

BS sistemində gücün vahidi $C/san = Vt$ (vatt). Elektrik cərəyanının gücü-cərəyan şiddəti (I) ilə gərginliyin (U) hasilinə bərabər olan kəmiyyət kimi təyin olunur:

$$P_{\text{güc}} = I \cdot U \quad (1.7)$$

BS sistemində cərəyan şiddətinin vahidi –amper (A), gərginliyin vahidi –Volt (V), elektrik yükünün vahidi – Kulon (Kl) olduğundan $1A = 1Kl \cdot san^{-1}$, $1V = 1C \cdot Kl^{-1}$ olar. Ölçü vahidlərinin analizindən alınır ki, $1Vt (C \cdot san^{-1}) =$

$=1A \cdot V$, yəni $1Vt$ elə cərəyanın gücünə deyilir ki, naqilin uclarında gərginlik $1V$ olduqda ondan $1A$ cərəyan keçsin. Əgər elektrik enerjisi tamamilə istilik enerjisinə çevrilərsə, onda $1C$ enerji $25^\circ C$ -də 1 qram suyun temperaturunu $0,238K$ qaldırır ($Q = cm\Delta T$, $c = 4200 C/(kq \cdot K)$, $m = 10^{-3} kq$, $Q = 1C$).

Bu münasibət elektrik cərəyanının köməyi ilə kalorimetrik cihazların kalibrovkası üçün istifadə olunur. Müəyyən miqdar maddəni qızdırmaq üçün tələb olunan güc həmin maddənin xüsusi istilik tutumundan asılıdır. Bununla əlaqədar olaraq qeyd edək ki, elektrik naqilində ayrılan istilik miqdarını bilavasitə bu naqilin müqavimətinin qiymətinə və tətbiq olunan gərginliyin qiymətinə görə hesablamaq olar. BS sistemində naqilin müqavimətinin vahidi omdur (Om): sabit cərəyan dövrəsi üçün $1Om = 1V/1A$. (1.7) düsturuna əsasən $1Vt = 1Om \cdot (1A)^2$. Xüsusi müqaviməti ρ olan naqilin müqaviməti onun uzunluğu (l) ilə düz, en kəsiyinin sahəsi (S) ilə tərs mütənasibdir:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1.8)$$

(1.8) düsturuna görə xüsusi müqavimət ($Om \cdot m$)⁻¹ vahididir.

İstiliyin mexaniki ekvivalenti ($1kal = 4,184C$) aşağıdakı kimi təyin olunur. Tutaq ki, $1N$ qüvvəyə qarşı cismin $1m$ yerdəyişməsinə $1C$ enerji sərf olunmuşdur. Digər tərəfdən, dəniz səviyyəsindən ($g = 9,8m/san^2$) kütləsi $1kq$ olan cismi $1m$ hündürlüyə qaldırmaq üçün $9,81N$ qüvvəyə qarşı $9,81C$ enerji sərf etmək lazımdır. Yuxarıda göstərdik ki, $1C$ enerji $1q$ suyun temperaturunu $0,238K$ qədər artırır. Onda $9,81C$ enerji $1q$ suyun temperaturunu $2,34K$ qədər artıracadır. $1q$ suyu $1^\circ C$ qızdırmaq üçün lazım olan enerjinin 1 kalori olduğunu nəzərə alsaq, BS sistemində $1kcal$ istiliyin enerjinin $4,184kC$ işə ekvivalent olduğunu taparıq.

Aydındır ki, 1 kkal (4, 184 kC) 1 kq suyun temperaturunu 1 K qədər artıracaqdır.

Bioloji proseslərdə müxtəlif enerji formalarının rolunu müzakirə etdikdə elektromaqnit şüalanmasının enerjisini də nəzərə almaq lazımdır. Fotosintetik və görmə sistemlərində fotoreseptorlar tərəfindən şüalanmanın udulmasında, bezi orqanizmlərin şüasaçmasında, müxtəlif enerji formalarının bir-birinə keçməsi proseslərində enerji balansını termodinamik analiz etmək lazımdır. Elektromaqnit şüalanmasının enerjisi Eynşteyn vahidi ilə ifadə olunur. 1 Eynşteyn vahidi 1 mol fotonun enerjisinə deyilir. Bir fotonun (kvantın) enerjisi

$$E = h\nu = hc/\lambda \quad (1.9)$$

düsturu ilə təyin olunur. Burada $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ C} \cdot \text{san}$ - Plank sabiti, $c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{san}^{-1}$ - işığın vakuumda sürəti, ν - tezlik, λ - dalğa uzunluğudur ($\nu = c/\lambda$). Dalğa uzunluğunun görünən oblastında (məsələn, $\lambda = 600 \text{ nm}$) bir Eynşteynə, yəni bir mol fotonun ($6,03 \cdot 10^{23}$) şüalanmasına uyğun gələn enerji

$$\frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 2,9979 \cdot 10^8 \cdot 6,03 \cdot 10^{23}}{600 \cdot 10^{-9}} = 2,00 \cdot 10^{-5} \text{ C}$$

kimi təyin olunur. Bu tənlikdən istifadə edərək işığın udulması zamanı istiliyə çevrilən enerjinin qiymətini hesabmaq olar.

Biokimyada istifadə olunan enerji vahidlərindən biri də elektron-voltdur (eV). $1eV$ - 1 elektronun elektrik sahəsinin potensiallar fərqi $1V$ olan 2 nöqtəsi arasındakı hərəkəti zamanı qazandığı enerjidir. Onda

$$1eV = 6,03 \cdot 10^{23} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 96,4 \text{ kC} \cdot \text{mol}^{-1} = 23 \text{ kkal} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Oksidləşmə-reduksiya reaksiyaları, əksər hallarda, qeyd olunan enerji vahidləri ilə xarakterizə olunur. Oksidləşmə-reduksiya reaksiyasının potensialının daha müsbət olması bu proseslərdə elektrona hərisliyin böyük olmasına uyğundur.

Bioloji sistemlərdə sərf olunan enerjinin istilik ekvivalentini tapaq. Sadə hesablamalar göstərir ki, əgər insanın bir gündə qəbul etdiyi qidanın enerjisi 2400 kkal olarsa, bu enerji gücü 100 Vt olan elektrik lampasında ayrılan enerjiyə (istiliyə) ekvivalentdir.

Doğrudan da $2400 \text{ kkal} \approx 10^4 \text{ kC}$, 1 gün $\approx 86400 \text{ san} \approx 10^5 \text{ san}$ oldubunu nəzərə alsaq, insanın 1 saniyədə istifadə ediyi enerji $10^4/10^5 = 0,1 \text{ kC} \cdot \text{san}^{-1}$ və ya $100 \text{ C} \cdot \text{san}^{-1}$ olar. $100 \text{ Vt} = 100 \text{ C} \cdot \text{san}^{-1}$ olduğundan, alınır ki, insanın «gücü» təxminən 100 Vt -lıq elektrik lampasının gücünə bərabərdir.

Bioloji sistemlərdə enerji çevrilmələrindən ən maraqlılarından biri əzələ sıxılması zamanı baş verən enerji çevrilməsidir. Məsələn, əzələ sıxılmasında enerji mənbəyi olan ATF-nin miozinlə reaksiya maksimum $50 \text{ C} \cdot q^{-1}$ enerji almaq olar. Bu göstərir ki, ideal əzələ sistemi (yəni faydalı iş əmsalı 100% olan) 1 kq yükü 5 m hündürlüyə qaldırmaq üçün $2 \cdot 10^{-3}$ mol ATF sərf etməlidir. Həqiqətdə isə, əzələnin faydalı iş əmsalı təxminən 30% -ə bərabərdir, enerjinin qalan hissəsi istilik şəklində ayrılır.

Bundan başqa, ideal fiziki sistemlərdə yükü verilmiş hündürlükdə saxlamaq üçün iş görülməsi tələb olunmur. Bu ideal ifratkeçirici elektromaqnit halına da aiddir. Lakin real elektromaqnit və əzələ hallarında yükü müəyyən hündürlükdə saxlamaq üçün iş görülməlidir.

2021

§1.3. Komponent və faza

Termodinamik sistemlərdə "faza" və "komponent" anlayışlarını təyin edək. *Sistemin başqa hissələrindən kəskin sərhədi ilə ayrılan, fiziki bircins və makroskopik hissələr faza* adlanır. Faza yalnız bir komponentdən və çox komponentdən təşkil oluna bilər. Məsələn, təmiz su maye halında bir fazalı, suda və buz parçaları qarışığından ibarət olan sistem isə ikifazalı misal ola bilər. Belə sistemdə bütün buz parçalarının hamısı ölçülərindən asılı olmayaraq eyni tərkibə və struktura malik olduqlarından bir faza təşkil edirlər. Qazlar bir-birinə sərbəst diffuziya etdiklərindən istənilən qaz sisteminə yalnız bir faza mövcud olur. Kiçik yağ damcılarının suda emulsiyasına ikifazalı sistem kimi baxmaq lazımdır; belə sistem dayanıqlı olmur: yağ damlaları birləşərək suyun səthində yağ təbəqəsi yaradırlar, nəticədə sistemin ikifazalı olması tam aydın görünür. Bəzən yağın suda uzun müddət dayanıqlı olan emulsiyasını düzəltmək mümkün olur: bu halda yağ və su fazalarını ayıran səth olduqca böyük olur və səth enerjisi sistemin ümumi enerjisinə nəzərə çarpacaq dərəcədə pay verir. Biz bu hala baxmayacağıq. Sistemdə fazaların yalnız təzyiq, temperatur, həcm və tərkiblə müəyyən olduğunu qəbul edəcəyik. Bu həlda səth enerjisi sistemin ümumi enerjisinə nisbətən çox-çox kiçik olduğundan onu nəzərə almamaq olar.

Sistemin təşkil edən maddələr onun komponenti adlanır. Sisteminin tərkibini düzgün ifadə etmək üçün lazım olan minimal ədəd bu sistemin komponentlərinin sayı adlanır. Maye suda H_2O molekulları ilə yanaşı H^+ və OH^- ionlarının da mövcud olmasına baxmayaraq, təmiz su birkomponentli sistemdir. Verilmiş şəraitdə bu ionların konsentrasiyası fiksə olunubdur, odur ki, «su» komponenti ionlar və molekullar qarışığının tərkibini birqiymətli təyin edir. Sistemdəki komponentlərin sayı və sistemin kimyəvi tərkibi bir-birindən fərqli anlayışlardır. Məsələn, $NaCl$ və $MgSO_4$ duzlarının birlikdə sulu məhlulu üçkomponentli sistemdir. Bu məhlul-

da dörd növ ion var, lakin onlar iki komponentə uyğundur, çünki $[Na^+] = [Cl^-]$ və $[Mg^{2+}] = [SO_4^{2-}]$ (kvadrat mötərizə ilə ionların konsentrasiyası işarə olunmuşdur). Bir növ ion komponent sayıla bilməz, çünki onu digər ionun iştirakı olmadan nə sistmə daxil etmək, nə də sistemdən çıxarmaq olar. Əgər komponentə ayrılıqda baxılırsa, onda o elektroneytral olmalıdır. Təmiz zülalın natrium duzunun sulu məhlulu üçkomponentli sistemdir. Bu sistemin sudan, neytral zülaldan və müəyyən miqdar $NaOH$ maddəsindən təşkil olduğunu qəbul etmək olar. Bu halda $NaOH$ maddəsinin miqdarı elə götürülür ki, həmin miqdar $NaOH$ zülal məhlulunu tələb olunan pH -a çatdırmaq üçün kifayət olsun. Bu baxımdan $NaOH$ maddəsinin tələb olunan miqdarı əvəzinə pH -a üçüncü dəyişən kimi baxmaq olar. Bu halda pH sistemin komponentlərindən birinə ekvivalent olur. Lakin pH -a komponent kimi baxdıqda sistemin tərkibinin təyini tam dəqiq olmur.

§1.4. Ekstensiv və intensiv parametrlər

Verilmiş təzyiq və temperaturda n komponentdən ibarət olan sistmə baxaq. Əgər bizi sistemin ölçüsü yox, yalnız onun kimyəvi tərkibi maraqlandırırsa, onda onu $n-1$ dəyişənin köməyi ilə təyin etmək olar. Bir komponent müqayisə üçün istifadə olunur: digər komponentlərin miqdarı ona nəzərən təyin olunur. Su sistemlərində müqayisə komponenti olaraq əsasən su seçilir: həllolan maddənin miqdarı onun mollarının sayının bir kiloqram suya olan nisbəti kimi və ya digər əlverişli vahidlərlə ifadə olunur.

Beləliklə, ekstensiv və intensiv parametrlər arasında kəskin fərqin varlığı aydın olur. Verilmiş tərkibli sistemdə sistemin ölçüləri ilə düz mütənasib olan parametrlər *ekstensiv parametrlər* adlanır. Həcm, daxili enerji, entalpiya, Gibbs enerjisi və hər bir komponentin kütləsi ekstensiv parametrlərdir. Təzyiq və temperatur kimi intensiv xassələr

sistemin ölçüsündən asılı deyillər. Həmçinin i -ci komponentin mollarının sayının 1 komponentinin (müqayisə komponenti) mollarının sayına olan nisbəti də sistemin ölçüsündən asılı deyildir. Beləliklə, sistemin ölçüsündən asılı olmayan parametrlər *intensiv parametrlər* adlanır. Eyni təzyiq və temperaturda yerləşən qazın iki həcmi arakəsməni götürməklə birləşdirsək, onda təzyiq və temperatur əvvəlki kimi qalacaqlar, entropiya, entalpiya və digər ekstensiv parametrlər isə additiv toplanacaqlar.

§1.5. Temperatur və termodinamik tarazlıq

Temperatur cismin qızma dərəcəsinə təyin edən parametrdir. Temperatur anlayışı bizim hiss üzvlərimizin vasitəsilə yaranmışdır. Hiss üzvlərimiz qızmanın dərəcəsinə keyfiyyətə müəyyən etməyə imkan verir: isti, soyuq, qaynar və s. Lakin hiss üzvləri subyektivdir, cismin qızmasını birmənalı təyin edə bilməz. Temperaturun kəmiyyətə təyini hiss üzvlərimizdən asılı olmayan fiziki proseslərə əsaslanmalıdır. Temperatur anlayışına müxtəlif baxımdan yaxınlaşmaq olar. İstilik haqqında fenomenoloji təlimdə temperatur istilik və ya istilik tarazlıq anlayışı vasitəsilə daxil edilir. Daha ümumi anlayış termodinamik tarazlıq anlayışıdır. Termodinamik tarazlıq anlayışı təcrübi faktların ümumiləşməsi nəticəsində yaranmışdır.

Əgər bizim hiss üzvlərimizin təyin etdiyinə görə temperaturları müxtəlif olan iki cismi kontakta gətirsək (məsələn, közərmiş metalla soyuq suyu), onda təcrübə göstərir ki, bu cisimlərdən birinin qızması və digərinin soyuması o vaxta kimi davam edir ki, sistemdə termodinamik tarazlıq yansın. Termodinamik tarazlıq halında hər iki cisim eyni temperatura malik olurlar. Təcrübə göstərir ki, termodinamik tarazlıq yalnız iki cismə aid olmayıb, istənilən sayda cisimlərin kontaktı zamanı da yaranır. Əgər kontaktda olan cisimlər arasında kimyəvi reaksiya baş verərsə, onda reak-

siyanın enerjisindən asılı olaraq, əlavə qızma və ya soyuma müşahidə oluna bilər. Lakin kimyəvi reaksiyalar qurtarıldıqdan sonra yekunda yenə də termodinamik tarazlıq yaranır. Termodinamik tarazlıq halında sistemdə heç bir makroskopik proses baş vermir. Kontaktda olan cisimlər sistemində termodinamik tarazlıq yaranması üçün onların ətraf mühitlə əlaqəsi olmamalıdır, yəni proseslər izolə edilmiş sistemdə baş verməlidir.

İzolə olunmuş sistemi təşkil edən cisimlərin başlanğıc halının necə olmasından asılı olmayaraq yekunda termodinamik tarazlıq halı yaranır və sistemdə bütün makroskopik proseslər dayanır. Bu müddəə termodinamikanın ümumi başlanğıc postulatı və ya termodinamikanın sıfırıncı qanunu kimi qəbul olunur.

Termodinamik tarazlığın yaranmasına aid bir neçə misallara baxaq. Fərz edək ki, istilik keçirməyən örtük özü istilik keçirməyən arakəsmə ilə iki yerə bölünmüşdür. Arakəsmənin bir tərəfində maye yerləşir, digər tərəfində vakuum yaradılmışdır. Arakəsməni sürətlə götürsək, maye qaynayacaq. Örtüklə məhdudlanan fəzada mayenin və onun buxarının hərəkətləri mürəkkəbləşir. Lakin son halda mürəkkəb hərəkət və mayenin buxarlanması dayanacaqdır. Yekunda sistem ya yalnız buxardan (əgər maye azdırsa), ya da mayedən və onun doymuş buxarından ibarət olacaqdır. Hər iki halda son hal termodinamik tarazlıq halıdır. Bununla belə, sistem iki fazadan (maye və onun doymuş buxarı) ibarət olduqda termodinamik tarazlıq halı heç də mütləq sükunət halı deyildir. Molekulyar baxımından bu hal maye və buxar arasında arasıkəsilmədən intensiv molekullar mübadiləsi ilə xarakterizə olunur. Bu onu göstərir ki, arasıkəsilmədən mayenin buxarlanması və buxarın mayeyə kondensasiya olunma prosesi baş verir. Termodinamik tarazlıq halında bu proseslər bir-birini kompensasiya edirlər: vahid zamanda buxarlanan molekulların sayı kondensasiya olunan molekulların sayına bərabər olur. Beləliklə, termodinamik tarazlıq dinamik xarakter daşıyır. Dinamik tarazlıqda molekulyar

miqyasda intensiv proseslər gedə bilər, lakin bütün makroskopik proseslər dayanır. Dinamik tarazlıq istənilən termodinamik tarazlığa aiddir. Əgər qabdakı suya bir parça qənd atsaq, onda qənd mayədə eriməyə başlayacaqdır və sistemin başlanğıc halı termodinamik tarazlıqda olmayacaqdır. Lakin müəyyən zamandan sonra qəndin erimə prosesi dayanacaqdır və termodinamik tarazlıq yaranacaqdır. Termodinamik tarazlıq halında ya bircinsli məhlul, ya da qənd parçasından və doymuş məhluldan ibarət olan qeyri-bircins sistem yaranacaqdır. Axırını halda tarazlığın dinamik xarakteri onunla xarakterizə olunur ki, molekulyar baxımından qəndin eriməsi heç vaxt dayanmayacaqdır. Lakin tarazlıq halında qəndin erimə prosesi onun əksi olan proseslə, yəni məhluldan qəndin kristallaşması prosesi ilə müşayiət olunacaqdır.

Sistemin özbaşına termodinamik tarazlıq halına gəlməsi prosesi *relaksasiya*, buna sərf olunan zaman müddəti isə *relaksasiya müddəti* adlanır. Relaksasiya müddəti dəqiq təyin oluna bilməyən anlayışlara aiddir. Onun ölçülməsində sistemin tam termodinamik tarazlıq hala gəlməsi gözlənilmir. Odur ki, relaksasiya müddətinin təyini təxminidir. Termodinamik tarazlıq halında kontaktda olan cisimlər öz aralarında mexaniki və kimyəvi tarazlıqda olurlar. Bu isə o vaxt mümkündür ki, hər iki cismin təzyiqi və temperaturu eyni olsun və kontakt zamanı onlar kimyəvi təsirə məruz qalmasınlar. Əgər kontakt zamanı tarazlıq yaranmırsa və tarazlığın yaranması üçün müəyyən vaxt lazımdırsa, bu onu göstərir ki, kontakta kimi cisimlərin temperaturları fərqli imiş. Temperaturun belə təyini onu subyektivlikdən azad edir. Qeyd edək ki, temperatur cismin yalnız daxili halından asılı olan makroskopik parametrdir. Bu anlayışın bir və ya az sayda atomlardan və molekullardan təşkil edilmiş sistem üçün mənası yoxdur. Doğrudur, temperatur anlayışı termodinamik tarazlıqda olan sistemlərə tətbiq olunur, lakin ondan sistem termodinamik tarazlıqda olmayan hallarda da istifadə olunur. Məsələn, qızdırılmış cismin ayrı-ayrı hissələri müxtəlif temperatura malik ola bilər. Bu ona görə mümkündür.

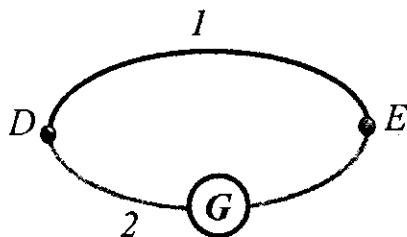
dür ki, sistemin ölçüləri azaldıqca relaksasiya müddəti də azalır. Tarazlıqda olmayan sistemi xəyalən kifayət qədər kiçik makroskopik hissələrə ayıraraq. Hissələrin relaksasiya müddəti kiçik olduğundan onların hər biri termodinamik tarazlıq halına gələcəkdir. Bu onu göstərir ki, bu hissələrdən birini ani adiabatik örtüklə əhatə etsək, onun halı praktiki olaraq tarazlıqda olacaqdır və zaman keçdikcə dəyişməyəcəkdir. Ona görə belə kiçik hissənin temperaturundan danışmaq olar. Sistem bu halda bütövlükdə tarazlıqda olmur, lakin zaman keçdikcə onun ayrı-ayrı hissələrinin temperaturları bərabərləşir. Lakin elə güclü qeyri-tarazlıq hal ola bilər ki, sistemi ani tarazlığa gələn hissələrə ayırmaq mümkün olmasın. Belə hala temperatur anlayışı tətbiq olunmur.

§ 1.6. Termoskop və temperatur nöqtələri

A və B cisimlərinin eyni və ya müxtəlif temperaturlara malik olduqlarını yoxlamaq üçün onları kontakta gətirməyə ehtiyac yoxdur. Bu məqsədlə üçüncü C cismindən istifadə olunur. C cismi ardıcıl olaraq A və B cisimləri ilə kontakta gətirilir. C sınaq cisminin ölçüsü elə seçilir ki, onun A və B cisimlərinin temperaturuna təsirini nəzərə almamaq mümkün olsun, lakin bu halda C cisminin özünün temperaturu kəskin dəyişə bilər. Əvvəlcə C cismi A cismi ilə kontakta gətirərək və istilik tarazlıq halı yaranana kimi gözləyək. Bu halda C cismi A cisminin temperaturunu alır, A cisminin temperaturu isə praktiki olaraq dəyişməz qalır. Sonra C cismi B cismi ilə kontakta gətirərək. Əgər bu halda C cisminin temperaturu dəyişmirsə, onda deyirlər ki, A və B cisimləri eyni temperaturla malikdirlər, əks halda onların temperaturları fərqlidir.

İki və daha çox cisimlərin eyni və ya müxtəlif temperaturla malik olmalarını müəyyən etmək üçün istifadə olunan C sınaq cismi "termoskop" adlanır.

Termoskopun özünün temperaturu onun fiziki xassələrini xarakterizə edən kəmiyyətlərin dəyişməsinə görə təyin olunur. Təcrübə göstərir ki, onun bütün fiziki xassələri temperaturdan asılı olaraq dəyişir. Məsələn, temperaturun artması ilə əksər cisimlərin həcmi artır. Temperaturun artması ilə metalların elektrik müqaviməti artır, yarımkeçiricilərin müqaviməti azalır. Müxtəlif metallardan olan iki naqilin uclarını qaynaq edib, şəkil 1-də göstəriləni kimi qalvanometr birləşdirək. Əgər D və E birləşmə nöqtələrində naqillərin temperaturu eynidirsə, onda qalvanometr elektrik cərəyanı göstərmir. Əgər birləşmə nöqtələrindən birini qızdırmaq və ya soyutsaq, onda dövredə elektrik cərəyanı yaranır. Bu cərəyan termoelektrik cərəyanı adlanır. Müxtəlif növ naqillərin uclarının qaynaq edilməsi ilə alınan sistemə *termoelektrik cütü* və ya *termocüt* deyilir. Bütün bu növ fiziki hadisələr termoskopun hazırlanmasında istifadə olunur.



Şəkil 1.1. Termocüt

Termoskopun köməyiylə bir sıra temperatur nöqtələrini təyin etmək mümkündür. Temperatur nöqtələri temperatur şkalalarının qurulmasında istifadə olunur. Bu nöqtələrdən mühümlərini müəyyən edək.

Əgər eyni maddədən ibarət olan bərk cisim və maye kontakta gətirilərsə, onda onların temperaturundan asılı olaraq ya bərk cisim əriyəcəkdir, ya da maye donacaqdır. Bu halda qəbul olunur ki, sistemdə təzyiq sabit qalır. Təcrübə göstərir ki, yalnız müəyyən temperaturda hər iki proses – ərimə və qaynama – bir-birini kompensasiya edirlər. Bu hal-

da maye və bərk cisim faza tarazlıqda olurlar. Eyni bir maddənin bərk və maye fazalarının normal atmosfer təzyiqində (101325 H/m^2) tarazlıqda olduqları temperatur həmin maddənin normal ərime temperaturu adlanır (NƏT).

Qaynama və sublimasiya temperaturlarının təyini də həmin qayda ilə aparılır (sublimasiya–bərk fazanın aralıq maye fazaya keçmədən qaz fazaya keçməsinə deyilir). Normal atmosfer təzyiqdə mayenin öz doymuş buxarı ilə tarazlıqda olduğu temperatura normal qaynama temperaturu deyilir (NQT). Eyni qayda ilə normal sublimasiya temperaturu (NST) təyin olunur. Sublimasiya prosesinə misal olaraq bərk karbon turşusunu göstərmək olar. Bərk karbon turşusu normal atmosfer təzyiqdə ərimeyən buxar halına keçir.

Nəhayət, eyni bir maddənin üç fazası –bərk, maye və buxar – tarazlıqda ola bilərlər. Lakin bu hal temperaturun dəqiq müəyyən qiyməti ilə yanaşı təzyiqin də dəqiq müəyyən qiymətinə uyğun gəlir. Su üçün, məsələn, təzyiq $4,58 \text{ mm}$ -dir. Maddənin bərk, maye və qaz fazalarının tarazlıqda olduğu temperatur onun *üçlük nöqtəsi* adlanır.

§1.7. Empirik temperatur şkalası

İndi temperaturun kəmiyyətə təyininə baxaq. Bu məsələnin həlli temperatur şkalasının yaradılması ilə əlaqədardır. Temperatur şkalasını istənilən termoskopun köməyi ilə yaratmaq olar. Müəyyən qayda ilə dərəcələnməmiş termoskop termometr rolu oynayacaqdır. Termometr temperaturu kəmiyyətə təyin etmək üçün istifadə olunan cihazdır. Termometrə qoyulan əsas tələb onun həssaslığı, ölçü dəqiqliyi, yenidən onun bərpa olunması və temperaturu ölçülən cisimlə sürətlə istilik tarazlıq halına gəlməsidir.

Əksər termometrlərin əsas hissəsi termometrik cisimdir. Termometrik cisim temperaturu ölçülən cisimlə kontaktda olur. Temperaturun indikator rolunu oynayan fiziki kəmiyyət *termometrik kəmiyyət* adlanır. Maye termometrlərdə

termometrik cisim termometrin rezervuarında olan maye (məsələn, civə), termometrik kəmiyyət isə həcmidir. Müqavimət termometrlərində termometrik cisim metallik naqillər və ya yarımkeçiricilərdir, termometrik kəmiyyətlər – onların elektrik müqavimətidir. Termocüt termometrlərdə termometrik cisim termocütdür, termometrik kəmiyyət isə termocütdə yaranan elektrik hərəkət qüvvəsidir.

İxtiyari termometr götürək və termometrik kəmiyyəti (mayenin həcmi, elektrik müqaviməti, elektrik hərəkət qüvvəsi və s.) a hərfi ilə işarə edək. a kəmiyyəti temperaturla monoton dəyişməlidir. Əks təqdirdə a ilə temperatur T arasında birqiymətli uyğunluq yaranmaz. Məsələn, suyun həcmi termometrik kəmiyyət kimi götürülə bilməz, çünki onun həcmi 4°C -də minimumdan keçir. Beləliklə, a ilə T arasında aşağıdakı $T = f(a)$ funksional asılılıq olmalıdır.

Lakin bu və ya digər temperatur şkalası seçilmədən $f(a)$ funksiyasının formasını təyin etmək olmaz. Temperatur şkalası isə öz növbəsində $f(a)$ funksiyasının seçilməsi ilə əlaqədardır. Burada ən sadə üsul $f(a)$ funksiyasını xətti bir-cinsli funksiya kimi götürməkdir:

$$T = A \cdot a \quad (1.8)$$

A sabitini ixtiyari seçmək mümkün olsaydı temperaturun vahidi olan dərəcə birqiymətli təyin olunardı. Lakin A -nı (1.8) düsturu əsasən hesablamaq üçün müəyyən temperatur fərqiə malik olan iki temperatur nöqtələrindən istifadə olunur. Belə temperatur nöqtələri *reper nöqtələri* adlanır. 1954-cü ilə kimi temperatur şkalası iki reper nöqtələrinə – suyun normal qaynama temperaturu T_q və buzun normal erimə temperaturu T_{er} –görə qurulurdu. Qəbul edilmişdir ki, $T_q - T_{er} = 100^{\circ}$. Onda (1.8) düsuruna görə

$$A = \frac{T_q - T_{er}}{a_q - a_{er}} = \frac{100}{a_q - a_{er}} \quad , \quad (1.9)$$