



FARABI UNIVERSITY

Дәріс №2

Термодинамиканың бірінші және екінші заңдарының биологияда қолдану

Дәріскер: **Қайрат Бақытжан Қайратұлы**
философия докторы (PhD), биофизика, биомедицина және
нейроғылым кафедрасы меңгерушісінің ғылыми-
инновациялық және халықаралық байланыстар жөніндегі
орынбасары

Қарастырылатын сұрақтар

- Кіріспе
- Термодинамика ғылымының сипаттамасы
- Биологиялық жүйелердің термодинамикасы
- Энергия, ішкі энергия, жылу
- Термодинамиканың I заңы
- Термодинамиканың II заңы
- Энтропия
- Гесс заңы
- Термодинамикалық күй
- Пригожин принципі

Термодинамика – жүйелердегі макроскопиялық жүйелердің жалпы қасиеттерін, жүйедегі энергияның берілу және айналу қабілеттерін зерттейтін физика бөлімі. Термодинамикалық жүйелерде жүретін процестер макроскопиялық шамалармен (температура, қысым, концентрация – интенсивті; масса, көлем, ішкі энергия, энтальпия – экстенсивті параметрлер) сипатталады

Термодинамика – әртүрлі энергиялардың айналымдарын сапалық және сандық сипаттаумен айналысатын физика ғылымының бір бөлімі.

Термодинамика – макроскопиялық материалдық жүйелердің ортақ қасиеттері, термодинамикалық тепе-теңдік және осы күйлердің арасында жүріп отыратын айналымдар туралы ілім.

Термодинамика заңдарының жалпы сипаты бар және атомдық деңгейдегі заттардың құрылымдық бөлшектеріне тәуелді емес.

Термодинамика – ғылым мен техникада: энергетика, теплотехника, химиялық реакция, фазалық өтулер т.б.; физика және химияда, химиялық технологияда, аэрокосмостық техникада, машинақұрылысында, клеткалық биологияда, биомедициналық инженерияда т.б. кеңінен қолданылады.

Термодинамика зерттейді

Энергиялардың бір формадан екінші формаға, жүйенің бір бөлігінен екінші бөлігіне өтуін



Әр түрлі физикалық және химиялық процестер кезінде түзілетін және осы процестердің жүру жағдайларына тәуелді энергетикалық эффектілерді



Жүйеде энергияның өздігінен өту процесстерінің мүмкіндігін, бағытын және шектерін

Термодинамика қандай шектеулерге ие:

Термодинамика дененің ішкі құрылысын және ондағы процестердің өту механизмін қарастырмайды

Термодинамика тек макроскопиялық жүйелерді ғана қарастырады

Термодинамикада "уақыт" деген түсінік мүлде болмайды

Тарихы:

- Ерте заманда адам суық пен жылуды сезетін, дене жылуы арқылы температураны өздерінше түсінетін.
- Тек 16 ғасырда Галилей алғашқы термометрді енгіздіргенде ғана жылу жайында ғылыми ілім дами бастады.
- Термодинамика – механикалық жұмысты орындауға жұмсалатын ішкі энергияның қалыптасуын зерттейтін ғылым. 18 ғасырдың 2-ші жартысында бірінші пар машинасының пайда болуымен өндірістік революция басталды. Ғалымдар мен инженерлер мұның эффектілерін күшейту мақсатында ізденістер жүргізді, 1824 ж Сади Карно «О движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу» шығармасында жылу машинасының максималды пайдалы әсер коэффициентін анықтады. Осы кезден термодинамика бастамасы басталды.
- 19 ғасырдың 40 жылдары Майер және Джоуль механикалық жұмыс пен жылу арасындағы сандық байланысын анықтады, энергияның сақталу және айналу заңдарын қалыптастырды.
- 50-жылдары Клаузиус және Кельвин жинақталған ілімдерді жүйелей отырып энтропия және абсолютті температура түсініктерін енгіздірді.
- 19 ғасырдың соңында термодинамикалық потенциалдар методын ұсынған, термодинамикалық тепе-теңдіктің жалпы күйін зерттеген, фазалар мен капиллярлық құбылыстар тепе-теңдік заңдарын ұсынған Гиббс жұмыстарында термодинамика дами түсті
- 1906 жылы Нернст теоремасы қалыптасты, ол ғалым атымен аталады және термодинамиканың 3-ші бастамасы болып табылады.
- 1909 жылы Каратеодори еңбектерінде алғаш рет термодинамиканың аксиомалық негіздері қалыптасты.

- Термодинамика 1-тепе-теңдік (классикалық) және 2-тепе-теңсіздік термодинамикаларына бөлінеді.

1-Тепе-теңдік термодинамикалық жүйелерді және сондағы процестерді зерттейді

2-Жүйелердегі тепе-теңсіздік процестерді зерттейді, ол термодинамикалық тепе-теңдіктен ауытқуы шамамен көп емес және термодинамикалық сипаттамасы беріледі.

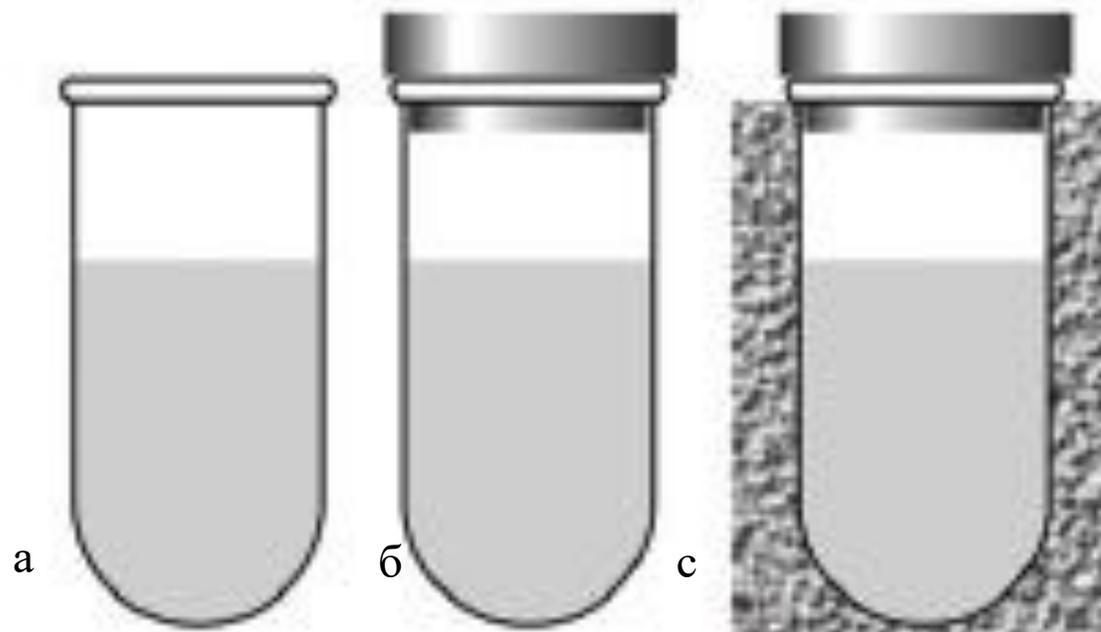
- Тепе-теңдік термодинамикаға айнымалы шамалар – ішкі энергия, температура, энтропия, химиялық потенциал, яғни термодинамикалық параметрлер (шамалар) енгізіледі.
- Классикалық термодинамика термодинамикалық параметрлердің өзара байланысын зерттейді, сондай-ақ физиканың басқа бөлімінде қарастырылатын физикалық шамалармен, мысалы, жүйеге әсер ететін гравитациялық немесе электромагниттік өрістермен байланысын зерттейді. Химиялық реакциялар мен фазалық өтпелерді (переходы) де зерттейді. Химиялық айналымдар әсерінен жүретін термодинамикалық жүйелерді химиялық термодинамикада, ал техникалық өзгерістерді – теплотехникада қарастырады.

Классикалық термодинамикаға келесі бөлімдер кіреді:

- Термодинамиканың бастамалары (заңдар немесе аксиомалар)
- Қарапайым термодинамикалық жүйелердің қасиеттері мен күйінің теңдеулері ([идеалды газ](#), [реальды газ](#), [диэлектриктер](#) және [магнетиктер т.б.](#))
- Қарапайым жүйелері бар тепе-теңдік процестер, термодинамикалық циклдер
- Тепе-теңсіздік процестер және энтропия заңдары
- [термодинамикалық фазалар](#) және [фазалық өткелдер \(переходы\)](#)

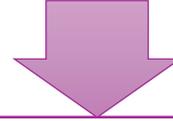
Термодинамиканың негізгі түсініктері

Жүйе (*термодинамикалық жүйе*) – өзара әрекеттескен және қоршаған ортадан оқшауланған макроскопиялық денелердің жиынтығы.

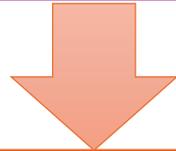


Сурет - Термодинамикалық жүйелердің классификациясы:
а – ашық жүйе; б – жабық жүйе; с – оқшауланған жүйе

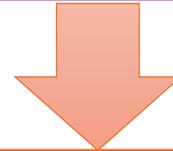
Жүйе – қандай да бір жолмен қоршаған ортадан шектелген материалды объектілердің жиынтығы.



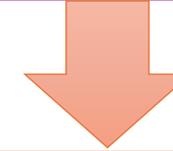
Қоршаған ортамен әсерлесу сипатына байланысты
термодинамикалық жүйелерді үш топқа бөледі:



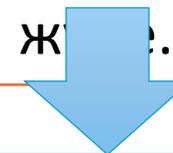
оқшауланған –
қоршаған
ортамен затпен
де, энергиямен де
алмаспайды.



тұйық – қоршаған
ортамен энергиямен
алмаса алатын,
бірақ зат
алмаспайтын
жүйелер.

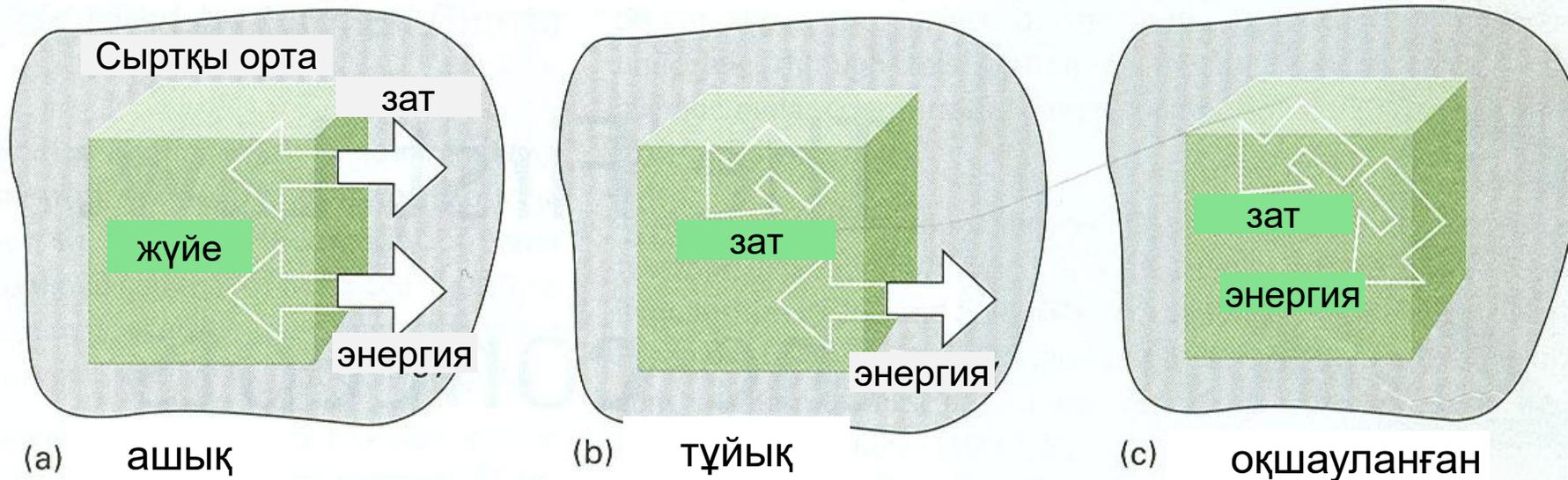


ашық –
қоршаған
ортамен энергия
және зат
алмасатын
жүйелер.

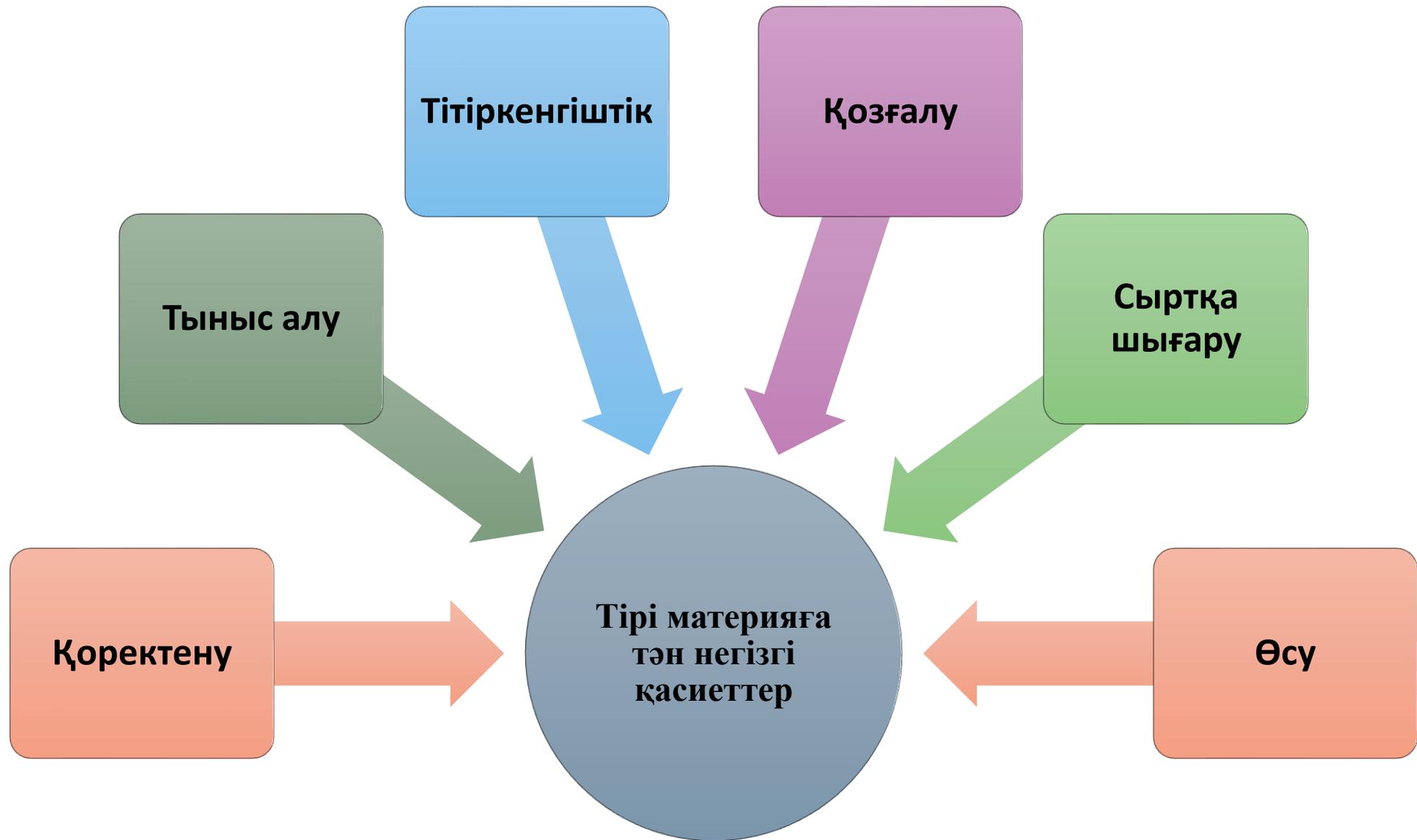


ТІРІ ОРГАНИЗМДЕРДІҢ БАРЛЫҒЫ АШЫҚ ЖҮЙЕГЕ ЖАТҚЫZYЛАДЫ.

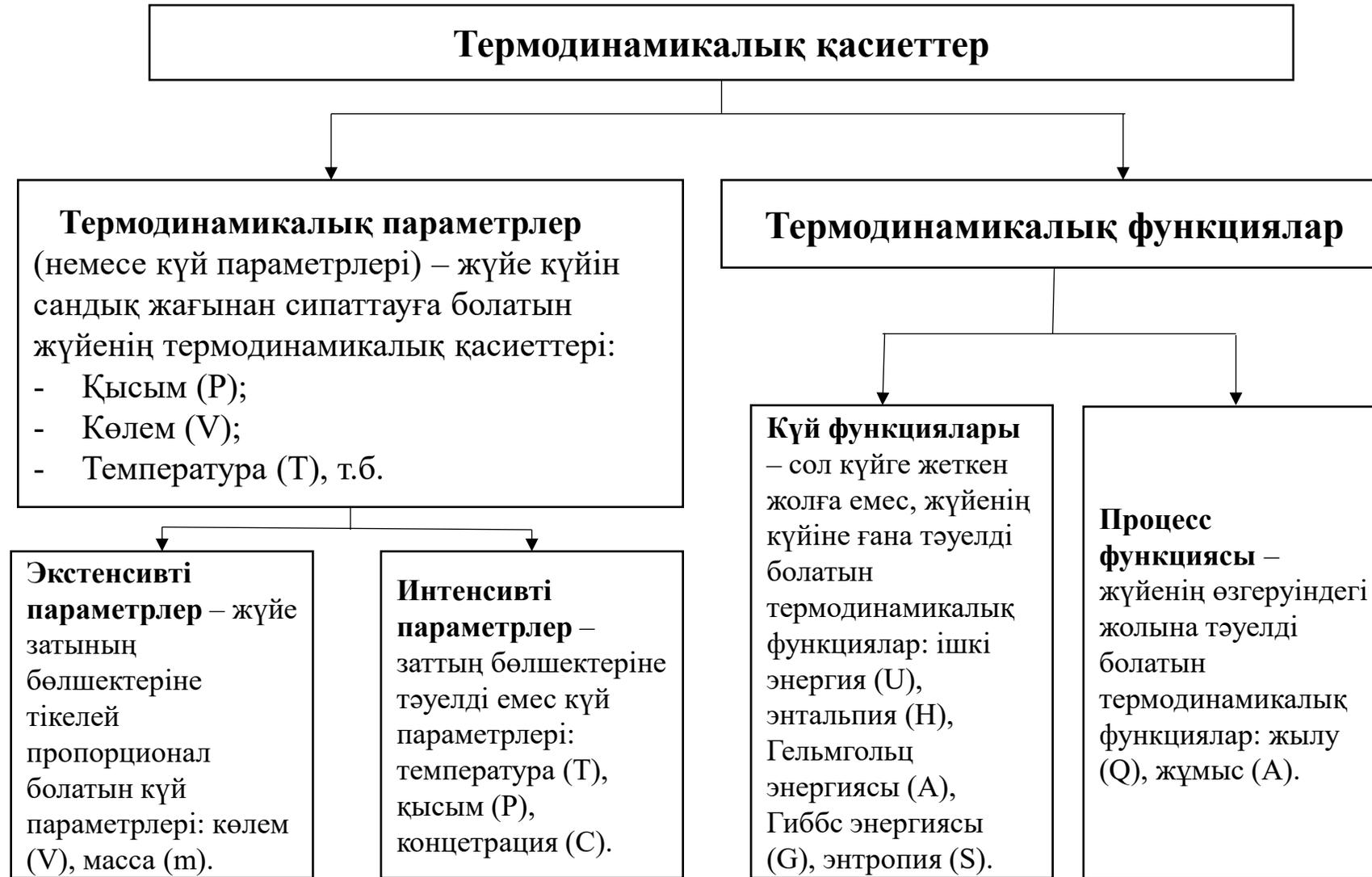
Термодинамикалық жүйе типтері



Жүйе энергиясы – жүйенің жұмыс атқару қабілеттілігі.



Термодинамиканың негізгі түсініктері



Кесте - Термодинамикалық қасиеттердің жіктелуі

Кез-келген термодинамикалық жүйе параметрлердің екі тобымен сипатталады:

**Интенсивті
термодинамикалық
параметрлер**

қысым, температура,
концентрация және т.б.

жүйедегі бөлшектердің саны
мен массасына тәуелсіз, толық
жүйе мен кез келген бөлігі
біркелкі мәнге тең

**Экстенсивті
термодинамикалық
параметрлер**

жалпы энергия, энтропия, ішкі
энергия, масса, көлем

жүйедегі бөлшектердің саны
мен массасына, көлеміне
тәуелді.

Термодинамиканың негізгі түсініктері



Кесте - Термодинамикалық қасиеттердің жіктелуі



Сурет - Термодинамикалық параметрлер

Термодинамика деген не?

Термодинамика физиканың бір бөлімі ретінде **энергия** мен **жұмыстың** арасындағы қатысты қарастырады. Кейде жылудың жалпы теориясы деп те атайды.

Термодинамикалық жүйе деп белгілі бір көлемге ие болатын затты айтады. Термодинамикалық жүйе **3 параметрмен**: температура T , көлем V , қысым P – сипатталады.

Жүйенің бір күйден екінші күйге өтуін **термодинамикалық процесс** деп атайды.

1 күйден 2-ші күйге өткен жүйе 2-ші күйден 1-ші күйге қайтып келгенде, барлық күйлерді басынан кешіре отырып жүйенің өзінде де және оны қоршаған ортада да ешқандай өзгеріс байқалмаса, онда ондай процесті **қайтымды процесс** деп атайды.

Ал, егер жүйе 2-күйден 1-күйге өткенде не жүйенің өзінде, не оны қоршаған ортада өзгеріс болатын болса, ондай процесті **қайтымсыз процесс** деп атайды. Өмірде болып жататын процестер қайтымсыз процесс болып саналады.

Термодинамиканың даму тарихы

Авторлар	Енгізілген дәлелдемелердің маңызы
Д. Фаренгейт (1685 – 1736), АҚШ физигі	1710- 1714 жылдары термометр шкаласын ұсынды: 0° - су, мұз және ас тұзы қоспасының температурасы, 32° - мұз бен су қосындысының температурасы, 212° - судың қайнау температурасы, 96° - адамның дене температурасы
А. Цельсий (1701- 1744), швед физигі, асторном	1742 ж жүз градустық температура шкаласын ұсынды: 0° - мұздың еру температурасы, 100° - судың қайнау температурасы
Ж. Понселе (1788 – 1867), француз физигі және	1826 ж жұмыс түсінігін және оның өлшем бірлігін анықтады
Р. Майер (1818-1878), неміс дәрігері	1842 ж ең алғаш рет энергияның сақталу және айналу заңын тұжырымдады.
Дж. Джоуль (1818 – 1889), ағылшын физигі	1843ж жылудың механикалық эквивалентін есептеді және одан энергияның сақталу заңына келіп тоқтады.
Г. Гельмгольц (1821 – 1894), неміс физигі	1847 ж Майер мен Джоуль идеяларын толықтыра отырып, энергияның сақталу заңын математикалық түрде анықтады.
Р. Клаузиус (1822 – 1888), неміс физигі теоретик	1850 ж термодинамиканың екінші бастамасына тұжырымдама берді,

Қазіргі таңда термодинамиканың екі негізгі бөлімі бар:

Тепе-теңдік термодинамикасы
(оқшауланған жүйелер
термодинамикасы)

Тепе-теңсіздік термодинамикасы
(ашық жүйелер термодинамикасы)

XIX ғ.орт. – XX ғ.бас. негізі қаланды және үш негізгі заңы – үш «бастамасы» бар.

XIX ғ.орт. Ю.Р.Майер, Дж.Джоуль және **Г.Гельмгольц** сияқты ғалымдар алғаш рет термодинамиканың бірінші заңын – «*Термодинамиканың бірінші бастамасын*» тұжырымдады.

1850 жылы Р.Клаузиус, сонымен қатар **1851 жылы У.Томсон** бір-біріне тәуелсіз «*Термодинамиканың екінші бастамасын*» тұжырымдады.

- **1906 жылы В.Нернст** «*Термодинамиканың үшінші заңын*» тұжырымдады.

XX ғасырда жасалды. Екі негізгі тармақтары бар:

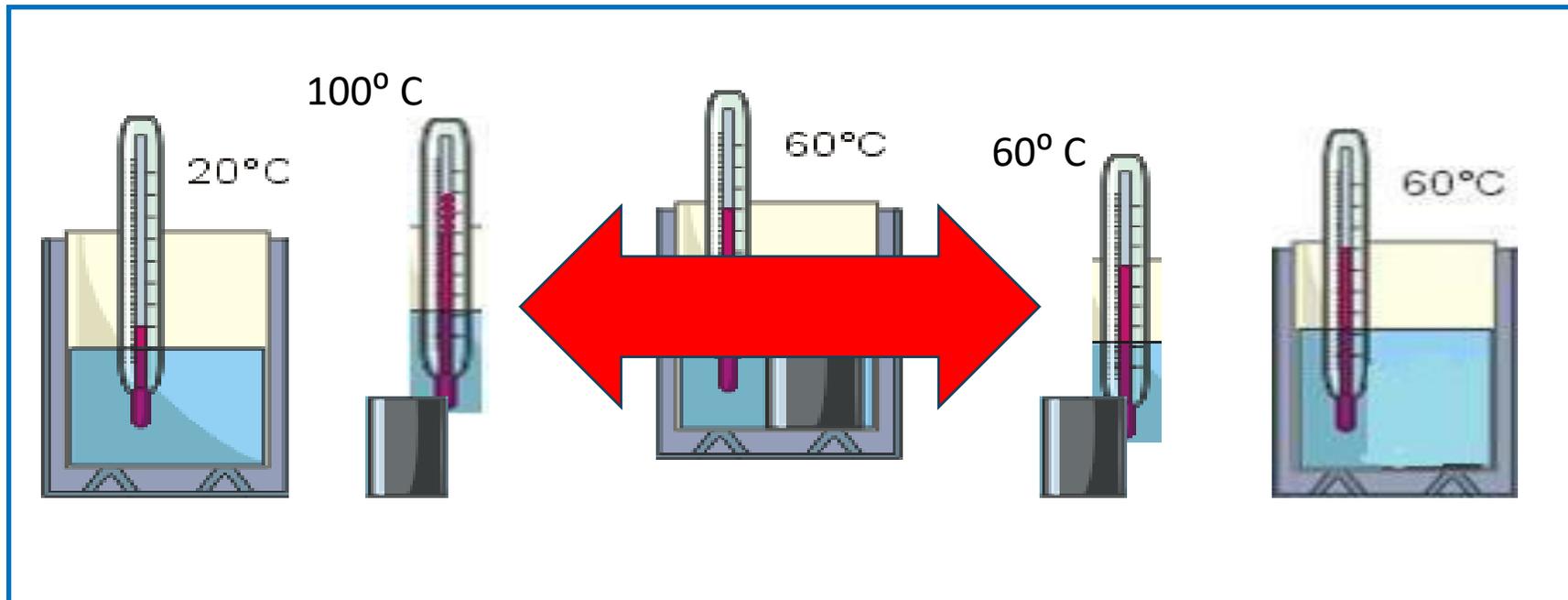
- **1931 жылы Л.Онсагер** негізін қалаған *әлсіз тепе-тең емес термодинамика*;

- **XX ғ.орт. Г.Хакен, И.Пригожин** және **Р.Том** сияқты ғалымдар негізін салған – *қатты немесе күшті тепе-тең емес термодинамика*.

Биологиядағы тепе-теңсіздік термодинамикасы саласында алғашқы еңбек **1935 жылы** жарыққа шықты. Ол **Э.Бауэрдің «Теориялық биология»** еңбегі еді, өзінің бұл жұмысында Бауэр «**Биологияның жалпыға ортақ заңдылығын**» тұжырымдады.

Күй параметрлерінің уақытқа байланысты өзгеріссіз сақталуын **термодинамикалық тепе-теңдік** деп атайды.

Егер оқшауланған жүйе тепе-теңдік күйден шығарылса, онда ол тепе-теңдік күйге өздігінен ұмтылады.



Термодинамикалық процесс

- Термодинамикалық жүйеде параметрлердің өзгеруін **термодинамикалық процесс** деп атайды.
- **Жүйе энергиясын** (W) екі бөлшектін қосындысы ретінде қарастыруға болады: жүйенің қозғалысы мен орнына тәуелді – толық (W_t) және бұл факторларға тәуелсіз (U).

$$W = W_m + U$$

U – жүйенің ішкі энергиясы.

Ішкі энергия

Макроденелерде механикалық энергиямен қатар, өздерінің іштеріне тұйықталған энергияға ие. Ол – *ішкі энергия*.

Ішкі энергия барлық энергетикалық түрленулердің балансына кіреді. Механикалық жұмыс жасамай-ақ денелерді қыздырғанда, олардың ішкі энергиясы ұлғаяды. Ішкі энергияның механикалық энергияға айналуы кері процесі болады.

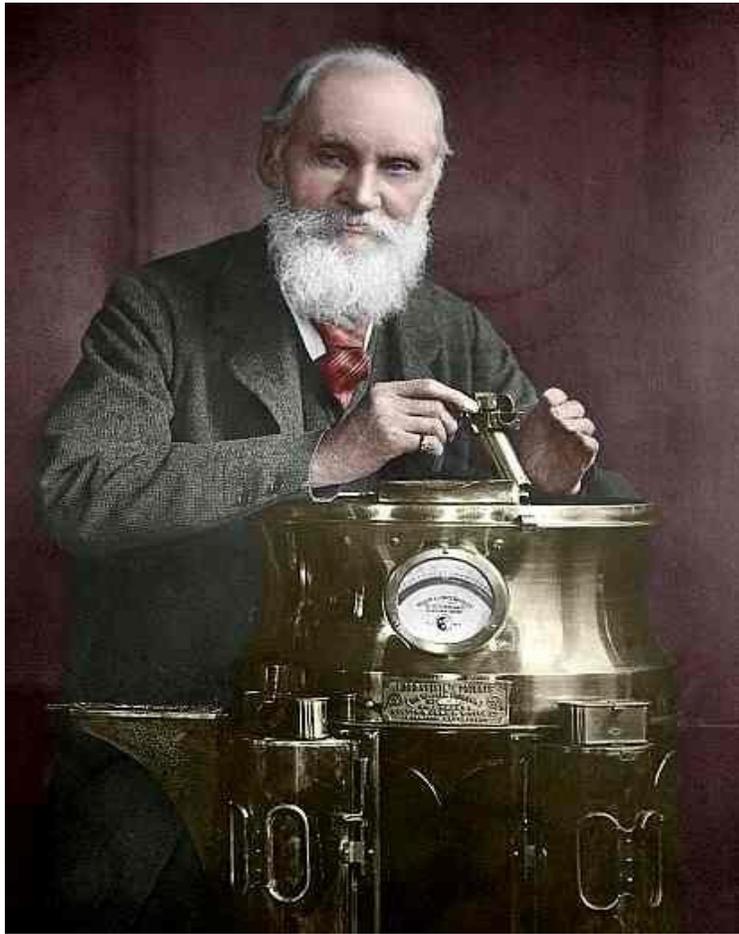
- Ішкі энергияны (U) өз кезегінде **бос энергия** және **байланысқан энергия** деп екіге бөледі.
- **Бос энергия** (G) – жұмыс атқаруға жұмсалатын ішкі энергияның бөлігі.
- **Байланысқан энергия** ($W_{\text{байл}}$) – жұмысқа айналдырылмайтын ішкі энергияның бөлігі.

$$U = G + W_{\text{байл}}$$

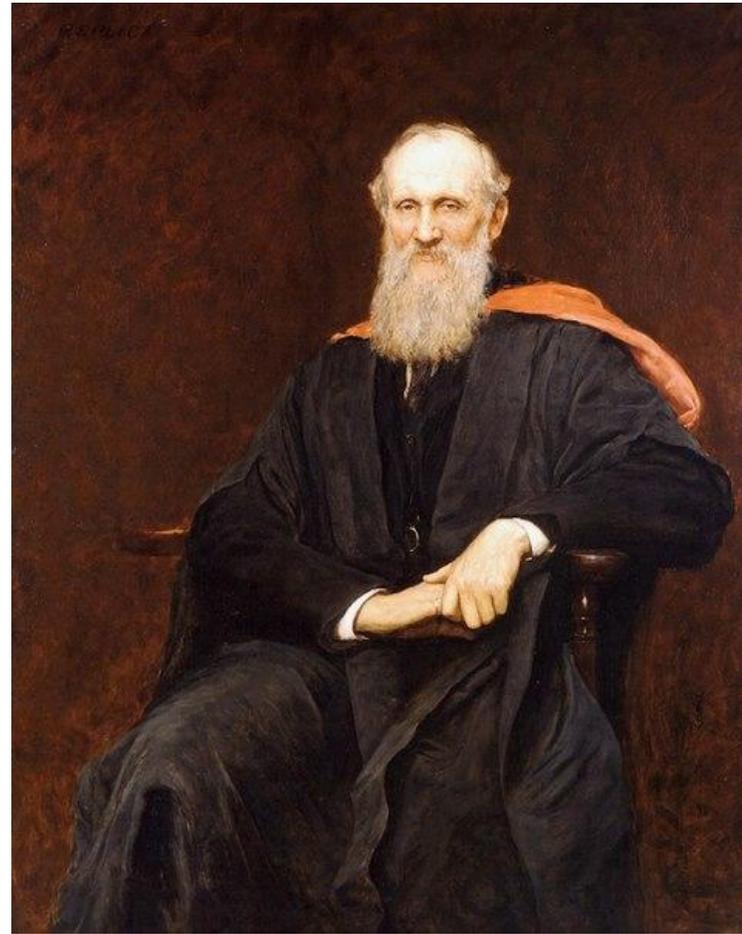
Ішкі энергия

Ішкі энергия – жылулық қозғалысқа байланысты энергия

- Ішкі энергия XIX ғасырда молекула-кинетикалық теорияға (МКТ) байланысты энергияның сақталу заңының ашылу заңына тәуелді дамып қалыптасты.
- XIX ғасырдың II жартысында ішкі энергияны анықтауда *"дененің берілген күйінің механикалық энергиясы"*, *"әсерлесу функциясы"*, *"дененің энергиясы"* т.с.с. терминдер пайдаланылды.



Алғаш рет **«ішкі энергия»** ұғымын физика ғылымына 1851 жылы **Уильям Томсон** енгізген.



William Thomson,
1st Baron Kelvin
(1824-1907)

- **Жылу ұғымына қатысты ұзақ уақыт бойы 3 ұғым қабаттаса жүрді:**

- 1) дененің алған немесе берілген жылу мөлшері;
- 2) ішкі энергия;
- 3) жылулық қозғалыс.

- Бұл үш ұғымның қабаттаса жүруі әдістемелік жағынан дұрыс емес, себебі бұл жағдайда термодинамиканың бірінші заңының мағынасы болмайды.
- "Ішкі энергия" ұғымы енгізілгеннен кейін энергияның сақталу заңын жылу процестеріне қолдануға жол ашылды.

Ішкі энергия ұғымы тек дененің ішкі күйіне байланысты (P, V, T), ал дененің өзінің қозғалысына тәуелді емес шама.

- Термодинамикадағы ішкі энергия ұғымының анықтамасы, оның мағынасын толық ашпайды. Ұғымның толық анықтамасын беру үшін, оның молекула-кинетикалық теориядағы анықтамасын қарастыру қажет.

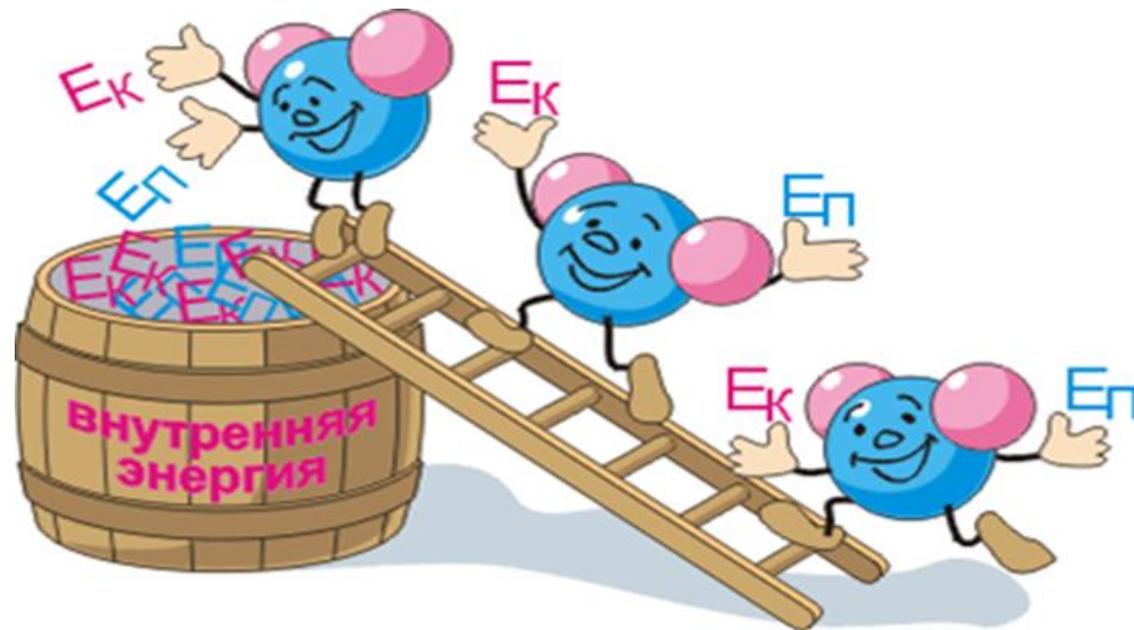
Қазіргі замандағы физика ішкі энергия ұғымына

- молекуланың немесе атомның бей-берекет қозғалысының энергиясы мен өзара әсерлесу энергиясы;
- молекуланы құрайтын бөлшектердің қозғалыс энергиясы мен өзара әсерлесу энергиясының (бөлшектердің тербелмелі қозғалысының энергиясы, ядроның ішкі энергиясы және т.б.) қосындысы

деген анықтама береді.

- Молекулалық-кинетикалық теория бойынша ішкі энергияның анықтамасы:

Макроскопиялық дененің ішкі энергиясы деп денені құрайтын барлық молекулалардың ретсіз қозғалыстарының кинетикалық энергиялары мен олардың бір-бірімен өзара әсерінің потенциалдық энергияларының қосындысын айтады.



Ішкі энергияның белгіленуі және өлшем бірлігі

Ішкі энергияны латын алфавитіндегі **U** әрпімен белгілейді.

U

Ішкі энергияның математикалық өрнегі:

$$U = E_k + E_p$$

Ішкі энергияның өлшем бірдігі:

Джоуль

Дж

Мұндағы,

E_k – барлық молекулалардың жалпы кинетикалық энергиясы;

E_p – барлық молекулалардың жалпы потенциалдық энергиясы.

Дененің ішкі энергиясы

$$U = E_n + E_k$$

денедегі барлық молекулалардың ішкі энергиясы

Молекулалардың потенциалдық энергиясы болады, себебі олар өзара әсерлеседі.

Молекулалардың кинетикалық энергиясы болады, себебі олар үздіксіз қозғалыста болады.

E_n молекулалар арасындағы арақашықтыққа тәуелді (заттың агрегаттық күйіне)

E_k молекулалардың қозғалыс жылдамдығына тәуелді (температураға)



Ішкі энергия неге тәуелді?!

- 1. Дененің температурасына** (дене температурасы жоғарылаған сайын молекулалардың қозғалыс жылдамдығы мен кинетикалық энергиясы артады).
- 2. Молекулалар санына** (заттың көлемі, массасы немесе мөлшері).
- 3. Заттың агрегаттық күйіне** (қатты және сұйық заттарда молекулалардың өзара тартылуының потенциалдық энергиясы ескеріледі).

Дененің ішкі энергиясының температураға тәуелділігі

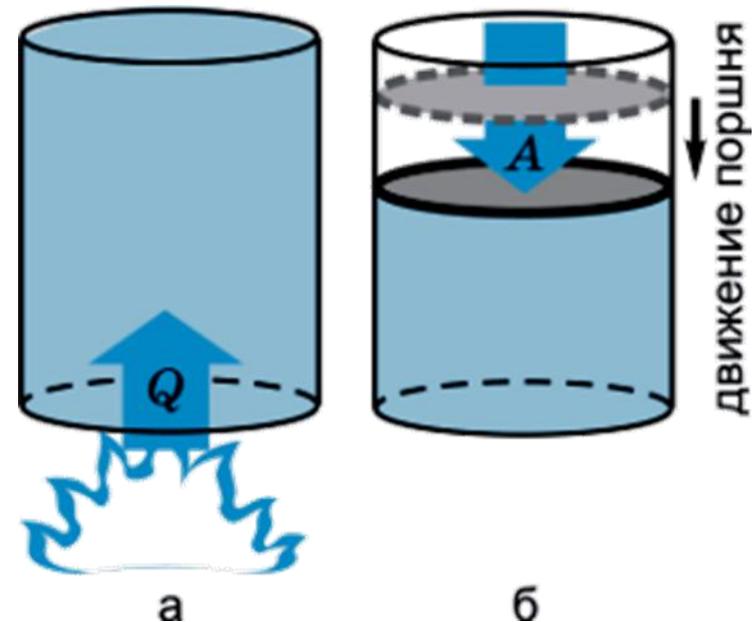
$$t \uparrow \rightarrow V_{\text{молекула}} \uparrow \rightarrow U \uparrow$$

$$t \downarrow \rightarrow V_{\text{молекула}} \downarrow \rightarrow U \downarrow$$

Дене молекулаларының қозғалыс жылдамдығын қалай өзгертуге болатынын анықтап алайық.

Ішкі энергияны өзгерту тәсілдері

- Ішкі энергияны өзгертудің екі түрлі тәсілі бар:
1 Механикалық жұмыс істеу арқылы (үйкеліс, соққы, деформация);
2 Жылу алмасу арқылы.



Сурет Ішкі энергияны өзгерту тәсілдері

А – Жылу беру арқылы;

Б – Жұмыс істеу арқылы

Жұмыс істеу арқылы ішкі энергияны өзгерту

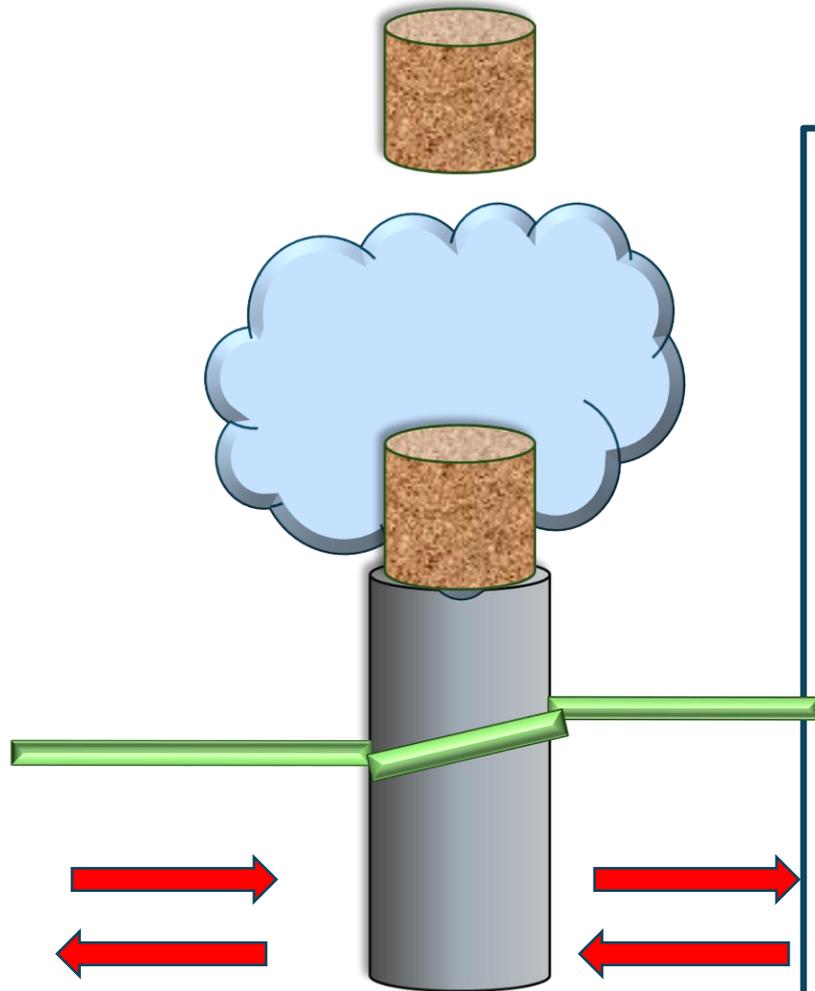
- Егер денемен жұмыс істелінсе, онда

дененің ішкі энергиясы артады.

- Ал, егер дененің өзі жұмыс істесе, онда

дененің ішкі энергиясы азаяды.

Бірінші тәсілі



Ішкі энергия жұмыс істеу нәтижесінде түтікті жіппен үйкегенде артты



Дененің ішкі энергиясын денемен механикалық жұмыс істеу арқылы арттыруға болады. (соғу, майыстыру, созу, сығу – деформация)



*Сығылған ауа тығынды
ығыстырады нәтижесінде өзі
салқындайды.*



***Егер дененің өзі
механикалық жұмыс
атқаратын болса, онда
дененің ішкі энергиясы
кемиді.***



**Цилиндрдегі су қызады,
қайнайды, бу түзіледі.
Қыздырылған будың
көлемі ұлғаяды да
тығынды ығыстырып
шығарады.**

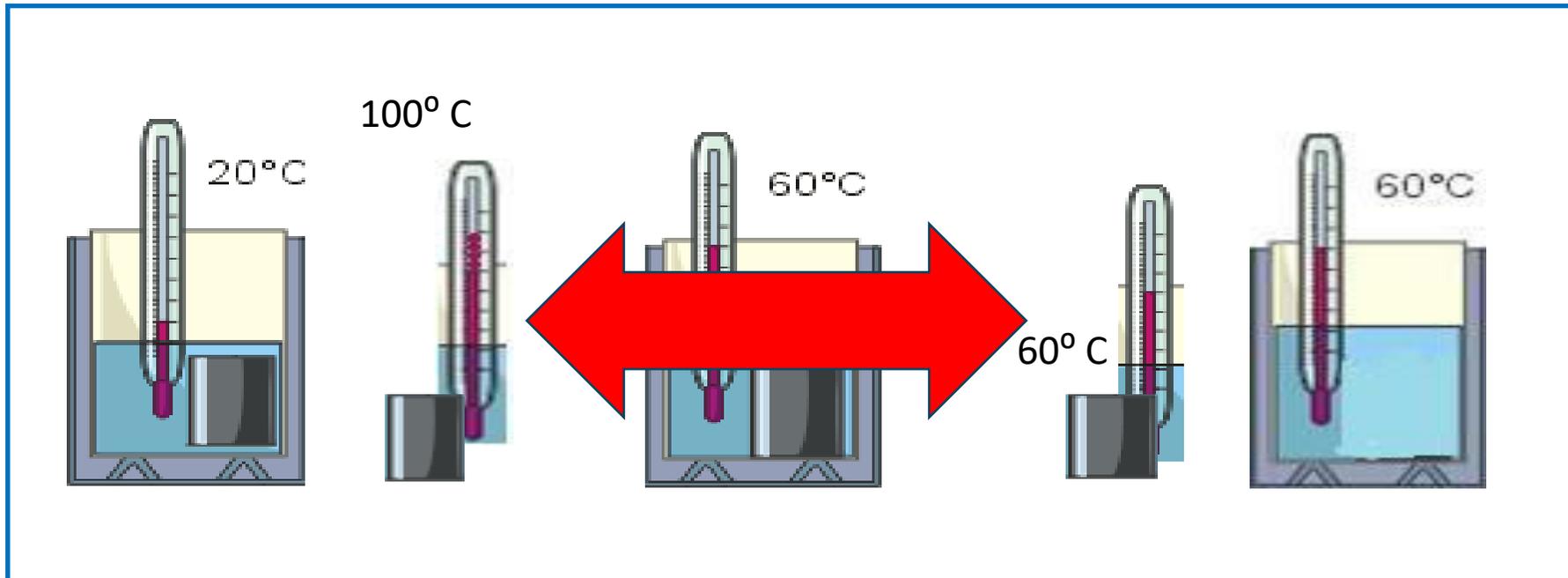
***Будың ішкі энергиясы
тығынның
механикалық
энергиясына
айналады.***

Жылу алмасу арқылы ішкі энергияны өзгерту

- *Ішкі энергияны жұмыс істемей өзгерту тәсілі.*
- Жұмыс істелмей немесе дененің өзі жұмыс істемей тұрғандағы ішкі энергияның өзгеру процесі **жылу берілу** деп аталады.

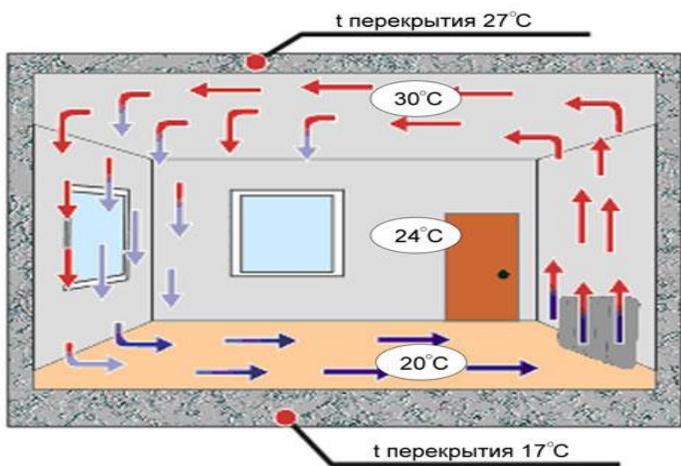


Екінші тәсілі



Металл цилиндрдегі суға өзінің ішкі энергиясының бір бөлігін береді.

Жылу бір бағытта беріледі. Жылу үнемі температурасы жоғары қызған денеден температурасы төмен салқын денеге беріледі.



Конвекция

Жылуөткізгіштік

Жылу берілу түрлері

Сәуле шығару

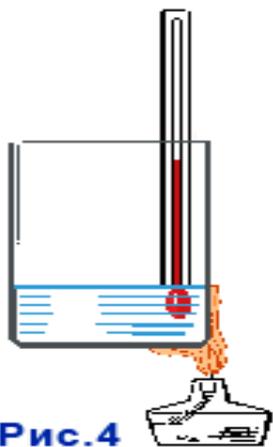


Рис.4

- Ішкі энергияның дененің көбірек қыздырылған бөлігінен дененің басқа азырақ қыздырылған бөлігіне тікелей байланыс арқылы немесе аралық денелер арқылы көбірек қыздырылған денеден азырақ қыздырылған денеге берілу құбылысы **жылуөткізгіштік** деп аталады.
- **Конвекция** дегеніміз — сұйықтың немесе газдың ағысы арқылы энергияның тасымалдануы барысында жылу алмасу процесі.
- **Сәуле шығару** (сәулелік жылу алмасу) деп электрмагниттік толқындар көмегімен бір денеден екінші денеге энергияның берілу процесін айтамыз.



Сәуле шығару



Конвекция



Жылуөткізгіштік



Термодинамиканың бірінші заңы:

Термодинамиканың бірінші заңы – энергияның сақталу заңының сандық көрінісі болып табылады.

Энергияның сақталу заңы:

энергия жоқтан пайда болмайды және
ешқайда жоғалмайды,
ол тек бір түрден екінші түрге айналады.

Термодинамиканың бірінші заңы

Материалды жүйедегі энергияның жалпы суммасы жүйеде жүріп жатқан өзгерістерге тәуелсіз тұрақты сақталады.
Жүйедегі энергияның өзгерісі тек қана қоршаған ортамен энергия алмасу арқылы жүзеге асады.

Термодинамиканың бірінші заңы

Жүйенің ішкі энергиясының өзгерісі ΔU жүйеге берілген жылудың ΔQ алгебралық суммасы мен атқарылған жұмыстың ΔA қосындысына тең.

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta A$$

немесе

Жүйеге берілген жылу мөлшері (ΔQ) жүйенің ішкі энергиясын (ΔU) өзгертуге және сыртқы күштерге қарсы жүйенің жұмыс (ΔA) істеуіне жұмсалады:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A$$

Термодинамиканың бірінші заңы немесе бірінші бастамасы

Дене 1 күйден екінші күйге өткенде оның ішкі энергиясының өзгеруі денеге жасалған **жұмыс** пен дененің қабылдаған **жылу мөлшерінің** қосындысына тең екен.

$$dU = dA' + dQ$$

Егер сыртқы күштердің денеге жасаған жұмысын **dA'** дененің сыртқы күштерге қарсы жасаған жұмысымен **dA** ауыстырсақ, онда **dA = - dA'** осыны ескерсек, формула былай жазылады.

$$dU = dA' + dQ \text{ осыдан } dQ = dU + dA$$

Денеге берілген жылу мөлшері сол дененің ішкі энергиясын өзгертуге және сыртқы күштерге қарсы жұмыс істеуге жұмсалады.

Термодинамиканың 1-ші заңын энергияның сақталу және айналу заңының жылу құбылысына байланысты айтылған түрі деп те қарастыруға болады.

Газ күйін сипаттайтын параметрлердің температура T , көлем V , қысым P екені белгілі. Осы параметрлердің біреуі тұрақты болғанда жүретін процесті изопроеестер деп атайды.

1. **Изотермиялық процесс.** $T = \text{const}$ болғанда қысым мен көлем былай байланысады: $PV = \text{const}$

T – тұрақты болғанда ішкі энергия өзгермейді, яғни $dU = 0$.

Онда термодинамиканың бірінші бастамасы изотермиялық процесс үшін былай жазылады: **$dQ = dA$**

2. **Изохоралық процесс.** $V = \text{const}$, қысым мен температура $P/T = \text{const}$ түрінде байланысқан.

Изохоралық процесс үшін $dA = 0$, онда **$dQ = dU$**

3. **Изобаралық процесс.** $P = \text{const}$ болғанда, $V/T = \text{const}$

Бұл кездегі жұмыс қысымның көлем өзгеруінің көбейтіндісімен анықталады: **$A = P (V_2 - V_1)$**

Жүйенің жылу эффектісі –

энтальпия (H, ΔH, dH)

– қысым **p** тұрақты болған жағдайда жүйеге берілетін немесе одан алынатын жылу мөлшері :

$$\Delta H = \Delta U + p\Delta V$$

p және **V** тұрақты болған жағдайда, биохимиялық процестерде

$$\Delta H = \Delta U,$$

H және **U** – жүйенің күй функциясы.

Энтальпия калориямен өлшенеді:

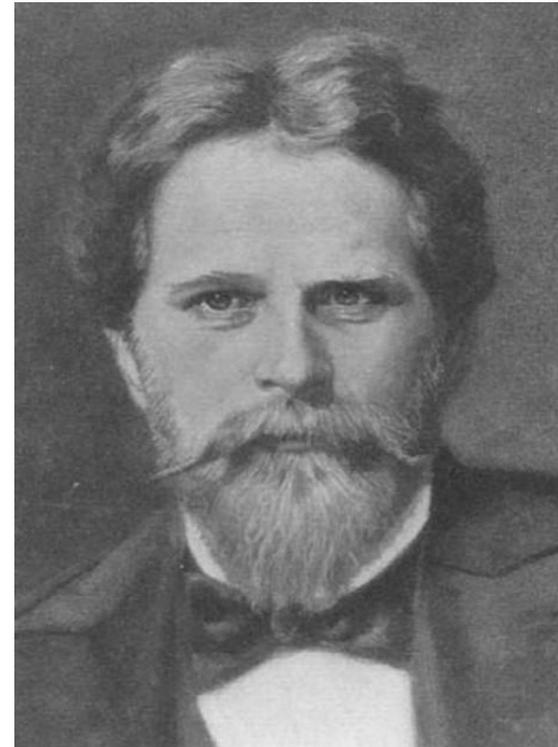
1 кал 1 г суды 1°C-қа

немесе

1 кДж 1 г суды 0,24°C-қа жылытады.

Термодинамиканың бірінші заңын биологиялық жүйелер үшін қолдану

- Термодинамиканың бірінші заңын **тірі жүйелер үшін** қолдану мүмкіндігі туралы **алғаш рет** неміс физиологы, әрі гигиенист **Макс Рубнер** айтты.



Max Rubner
(1854-1932)

Термодинамиканың бірінші заңының биожүйелер үшін тұжырымдамасы

Тірі организмдерде жасалатын жұмыстың барлығы АТФ энергиясы есебінен атқарылады.

АТФ – әмбебап энергия көзі:



Термодинамиканың бірінші заңын

тірі организмдер үшін толықтай қолдануға болады.

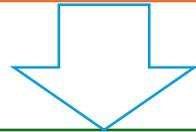
Тірі жүйелер үшін

термодинамиканың бірінші заңы былай тұжырымдалады:

Тірі организмдердегі жұмыстың барлық түрі қоректік заттардың тотығуы кезінде бөлінетін энергияның эквивалентті мөлшері есебінен атқарылады.

Рубнердің тәжірибесі

Микроорганизмдермен жүргізген тәжірибесінде **М.Рубнер** бактерия клеткасына қорекпен түскен энергияны тіршілік әрекеті барысында екі бөлікке ажырайтындығын байқады.



Тіршілік әрекеттері барысында ортаға **зат алмасу өнімдерімен бөлініп отыратын жылу/энергия**

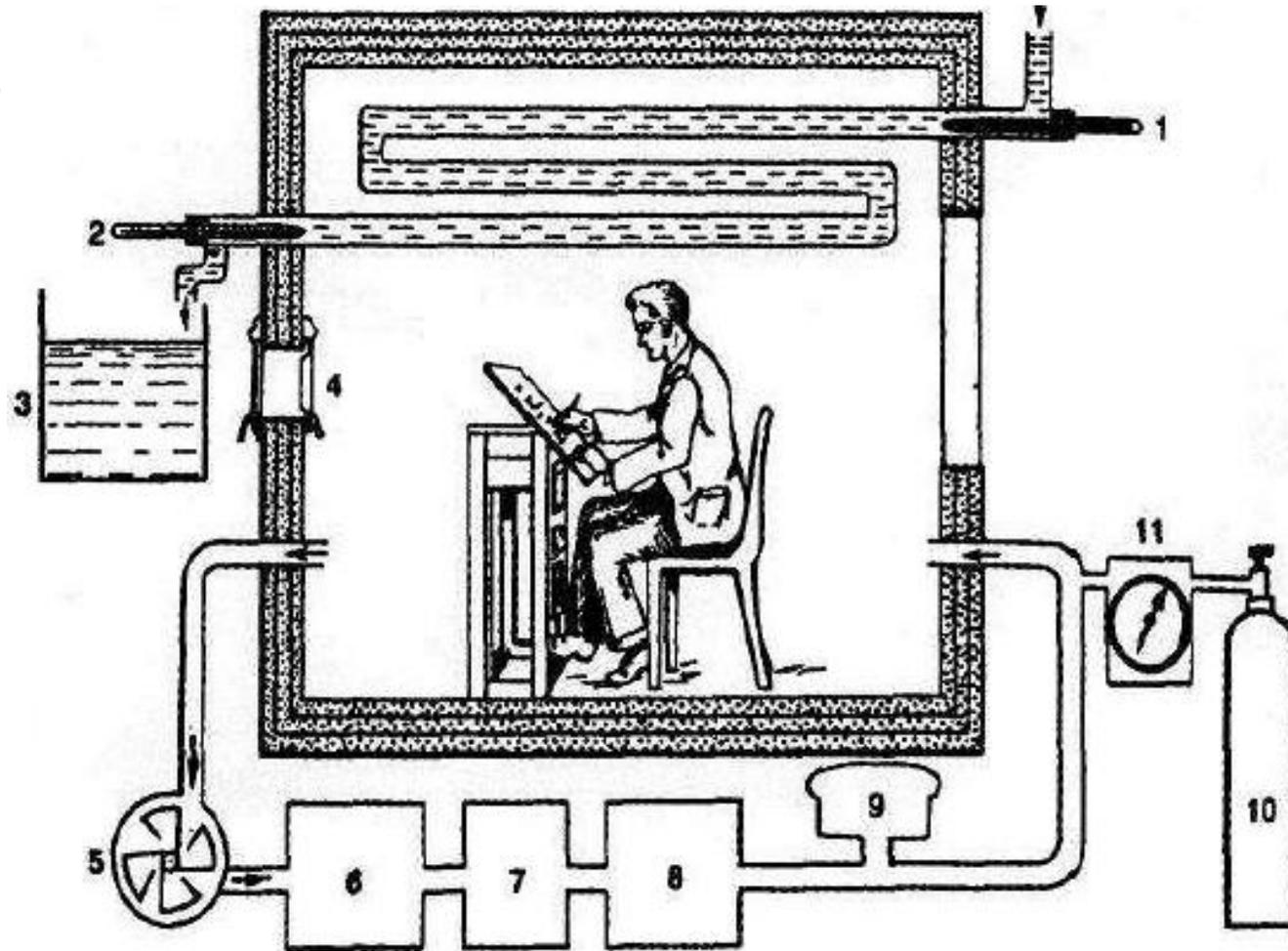


Клеткада қорға жиналатын энергия
(бұл энергия зерттеу объектісін калориметрлік бомбада жағу арқылы анықталады).

Аталған энергия түрлерінің қосындысы қоректік заттармен келіп түсетін **ішкі энергияға сай келеді.**

Тура
калориметрия –
организмнен
бөлінетін жылуды
тікелей өлшеу

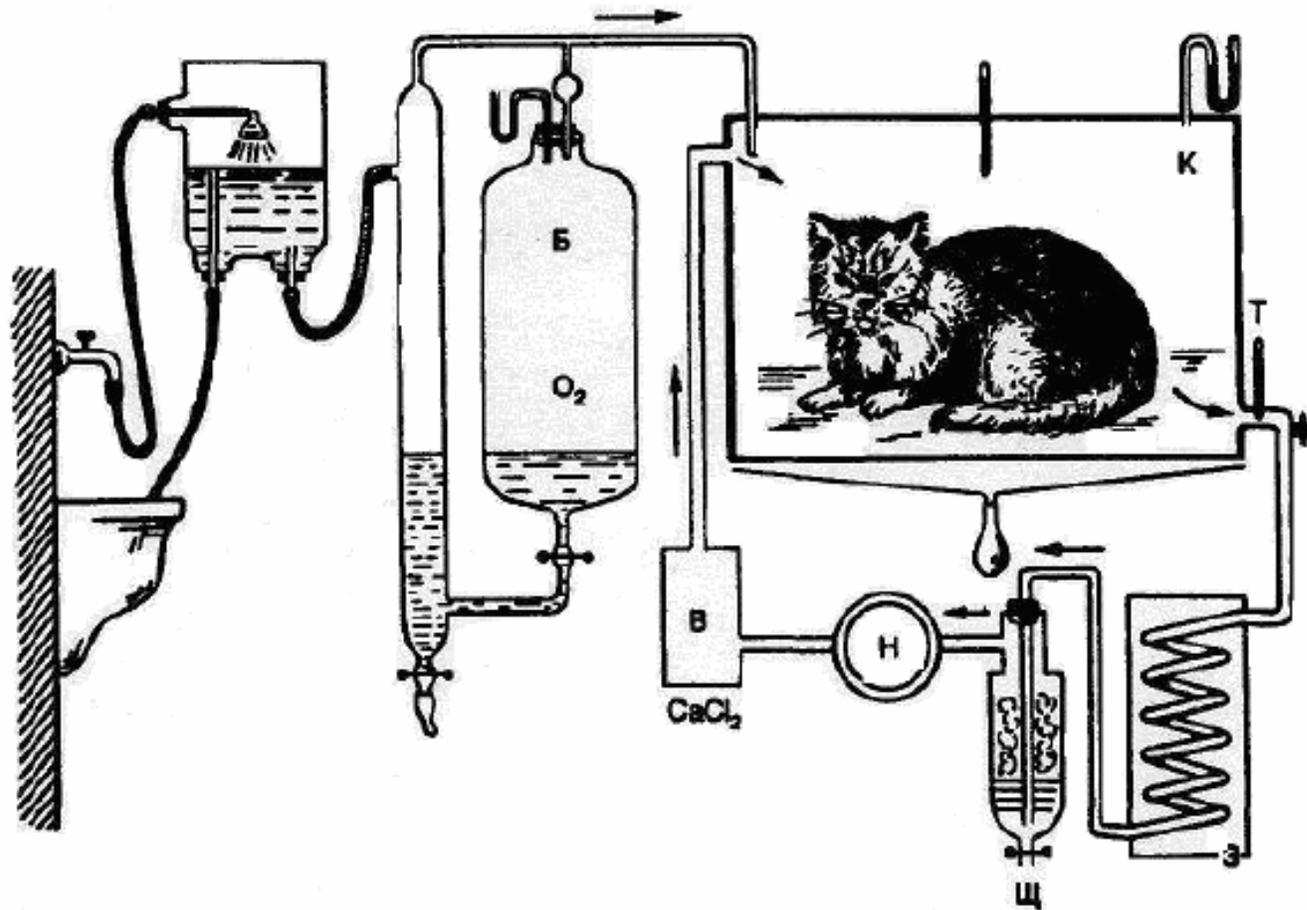
Биокалориметр
сызбасы



(1,2) - H_2O температурасын өлшеуге арналған термометр; (3) – суға арналған бак; (4) – тамақ беруге арналған терезе; (5) – камерадаң ауаны соратын насос; (6,8) суды сiңiруге арналған кiкiрт қышқылы кiйылған бактар; (7) CO_2 сiңiруге арналған эк толтырылған бак; (9) – камерадағы қысымды тұрақты ұстап тұруға арналған түтік; (10) - O_2 беретiн баллон (11) – газдық сағат.

Жанама
калориметрия -
организмнің жылу
өндіруін газ алмасу
бойынша өлшеу

**Респираторлық
аппараттың
сызбасы**



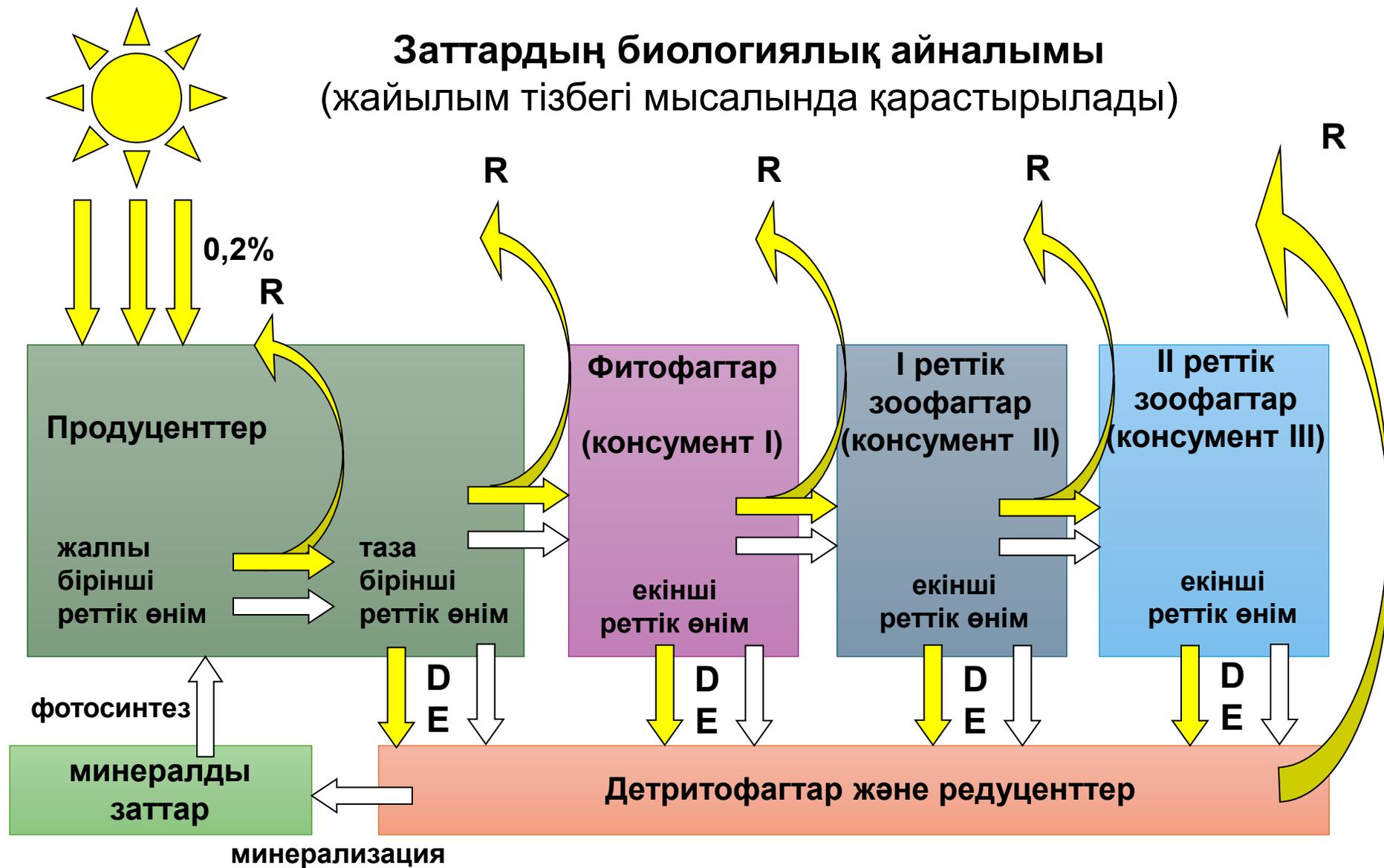
К – камера; Б – оттегі баллоны; Н – камерадағы ауаны соратын мотор; З – жылантәрізді ауаны салқындатқыш түтік; Щ – көмірқышқыл газын сіңіруге арналған сілті құйылған түткі; В – су буын сіңіруге арналған кальций хлориді бар баллон; Т – термометрлер. Сол камераға O_2 автоматты түрде беріп отыратын құрылғы.

Адамның тәуліктік энергетикалық балансы

Кіріс	ккал	Шығын	ккал
Қоректік заттар		Тері арқылы теріден бөлінген жылу	1374
56,8 г белок	237	Дем шығару	43
140 г майлар	1307	Нәжіс және зәр	23
79,9 г көмірсулар	335	Тыныс алу арқылы булану	181
		Тері арқылы булану	227
		Түзетулер	11
Барлығы:	1879	Барлығы:	1859

Сонымен, тірі организм жаңа энергия көзі болып есептелмейді және термодинамиканың бірінші заңын тірі организмдерге толықтай қолдануға болады.

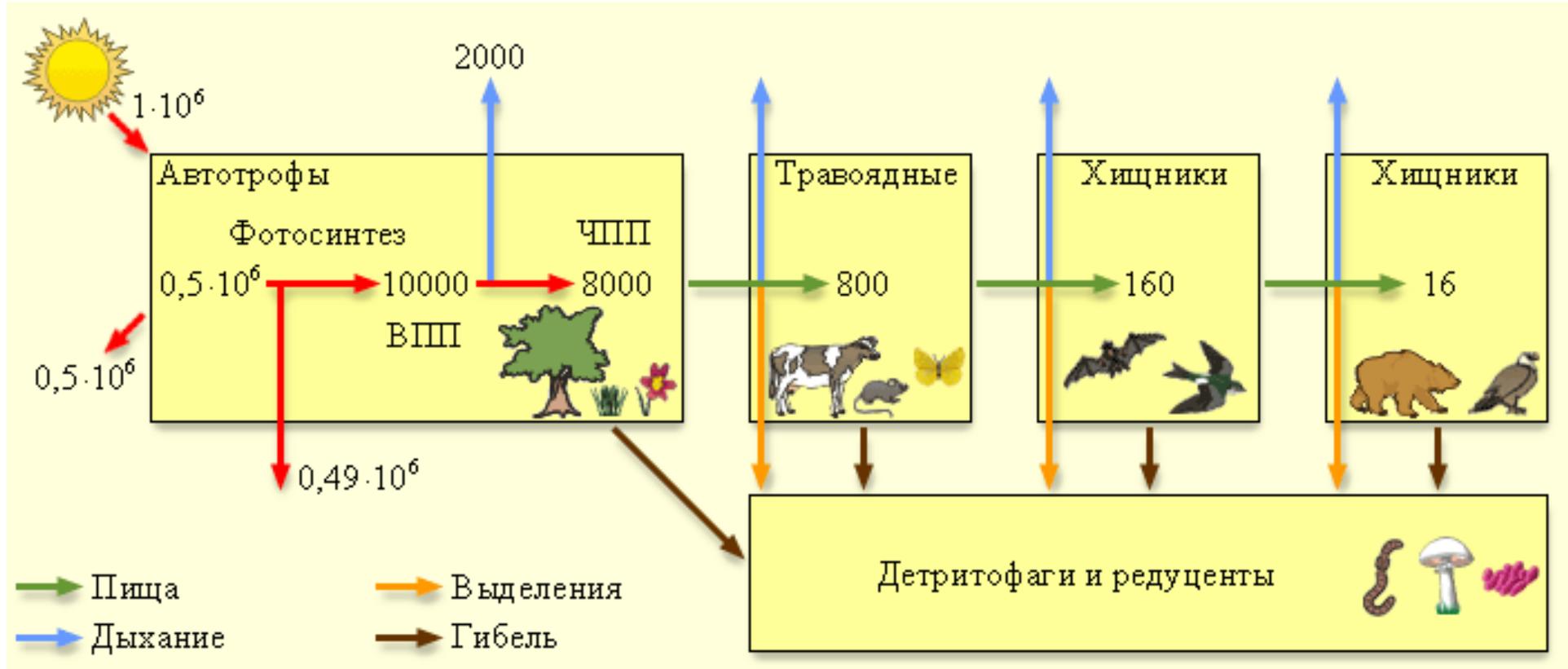
Заттардың биологиялық айналымы (жайылым тізбегі мысалында қарастырылады)



R – тыныс алу барысында шығарылатын энергия

D – табиғи өлім

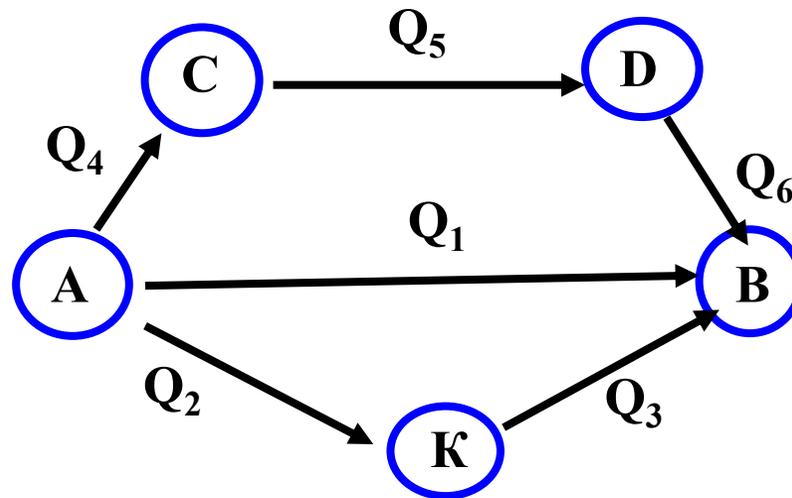
E – зат алмасу өнімдерімен шығарылатын энергия



Жайылымдық қоректік тізбек арқылы энергия айналымы
(барлық сандар $кДж/м^2 \cdot жыл$ өлшемімен көрсетілген)

Химиялық айналымдар кезінде термодинамиканың
бірінші заңынан шығатын салдар: Гесс заңы.

Көптеген сатыдан өткен химиялық реакцияның жылу эффектісі реакцияның жүріп өткен жолына байланысты болмайды, ол тек қана химиялық жүйенің бастапқы күйдегі энергиясы мен соңғы күйдегі энергиясының айырмасына байланысты болады.



$$Q_1 = Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 + Q_6$$

A – бастапқы өнім, B – соңғы өнім,
K, C, D – аралық өнімдер;
 $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6$ – жекелеген сатылардың жылу эффектісі

Гесс заңы **тағамның энергетикалық құндылығын (калориялылығын) анықтау үшін** ветеринария мен медицинада қолданылады.

Тағамның энергетикалық құндылығын анықтауда калориметриялық бомбада тамақты өрттейді. Сонда бөлініп шыққан жылу мөлшерін тіркеп алады. Ал егер тамақты адам жесе, онда тамақ организмде биохимиялық реакцияға түсіп, жылу бөлініп шығарады.

Гесс заңы бойынша осы екі жылу бір-біріне тең болуға тиіс. Бұған глюкозаның тотығуы биохимиялық реакциясы мысал бола алады.



Бос энергия G – жүйенің жұмыс істеу қабілеттілігі.

Бос энергия мына формуламен анықталады:

$$G = U + p\Delta V - TS$$

Мұндағы, U – жүйенің ішкі энергиясы,

p – қысым, V – көлем, T – температура, S – энтропия.

$U + p\nu = H$ - жүйе энтальпиясы

Жүйенің атқаратын максималды пайдалы жұмысы $\Delta A'_{max}$ жүйенің бос энергиясымен тығыз байланысты:

$$\Delta A'_{max} \leq - \Delta(U + p\Delta\nu - TS) = T\Delta S - \Delta U - p\Delta\nu = - (\Delta G),$$

“< “ таңбасы қайтымсыз процестерге тән.

Градиент және бос энергия

Қандай да бір параметрдің градиенті Γ оның ΔI нүктесінің Δx нүктесінің арасындағы ара-қатынас ерекшелігін айтады.

$$\Gamma = \Delta I / \Delta x$$

Кез-келген термодинамикалық жүйе жүйедеге қандай да бір градиент болған жағдайда ғана жұмыс атқара алады.

Бұл жағдайда жүйедегі бос энергия градиент көрсеткішімен анықталады:

$$G = R T \ln I_1 / I_2$$

Мұндағы, R – универсал газ тұрақтысы, $R = k \times N_A = 8,31$ Дж/(моль·К), $k = 1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К, $N_A = 6,022 \times 10^{23}$ моль⁻¹, T – температура, I_1, I_2 – градиентті анықтайтын параметр мәндері.

Термодинамиканың екінші заңына сәйкес жүйенің күйі оның ерекше функциясы – *энтропиямен* S сипатталады.

Энтропия берілген жағдайда қандай процестер жүруі мүмкін және ол жүрген жағдайда қай шекке дейін жүруі мүмкін екендігін анықтайды.

Энтропия қайтымсыз процестердегі энергияны жоғалтуды сипаттайды.

Энтропияның өзгерісі ΔS жүйенің сіңірген жалпы жылу мөлшерінің жүйе температурасына қатынасымен анықталады.

$$Q/T: \Delta S \geq \Delta Q/T$$

мұндағы, Q – жүйенің сіңірген жылуы, T – температура.

Оқшауланған жүйе үшін $\Delta Q = 0$

болғандықтан теңдеу мынадай түрге өзгереді:

$$\Delta S \geq 0$$

Яғни,
қайтымды процестер кезінде
энтропияның өзгерісі

$$\Delta S = 0,$$

Ал қайтымсыз процестерде энтропия оң мәнге ие:

$$\Delta S > 0$$

Оқшауланған жүйедегі энтропия тепе-теңдік (қайтымды) жағдайда ΔS өзгеріссіз қалады және тепе-теңсіздік (қайтымсыз) жағдайда өседі.

Энтропия – оқшауланған жүйедегі энергия айналымы бағытын анықтаушы критерий болып есептеледі.

Термодинамиканың екінші заңының жалпы анықтамасы:

Оқшауланған жүйеде өздігінен жүретін процесс егер процесс қайтымсыз болса, бос энергияның азаюына алып келеді, ал егер қайтымды болған жағдайда бос энергияның мөлшері тұрақты немесе өте аз (минимум) көрсеткішінде болады.

$$\Delta G \leq 0.$$

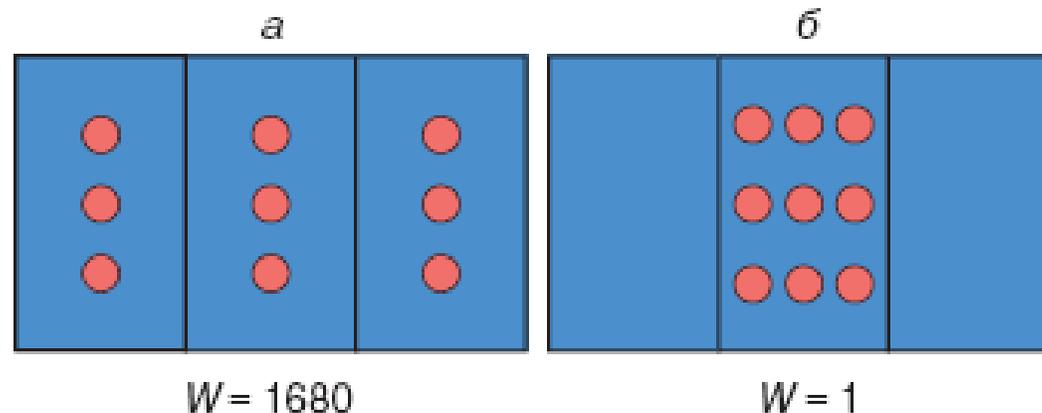
Энтропия – жүйедегі реттіліктің өлшемі

$$S = k \ln W$$
 - Планк-Больцман теңдеуі

мұндағы S - энтропия, k – Больцман тұрақтысы, 38×10^{-24} ДжК⁻¹
немесе $3,311 \times 10^{-24}$ энтропиялық бірлікке тең.

Мұз: $S = 9.8$; су: $S = 16.7$; бу: $S = 45.1$

(энтропиялық бірлік 1 кал/град тең),
 W – термодинамикалық ықтималдық.



Тірі жүйелер үшін термодинамиканың екінші заңы

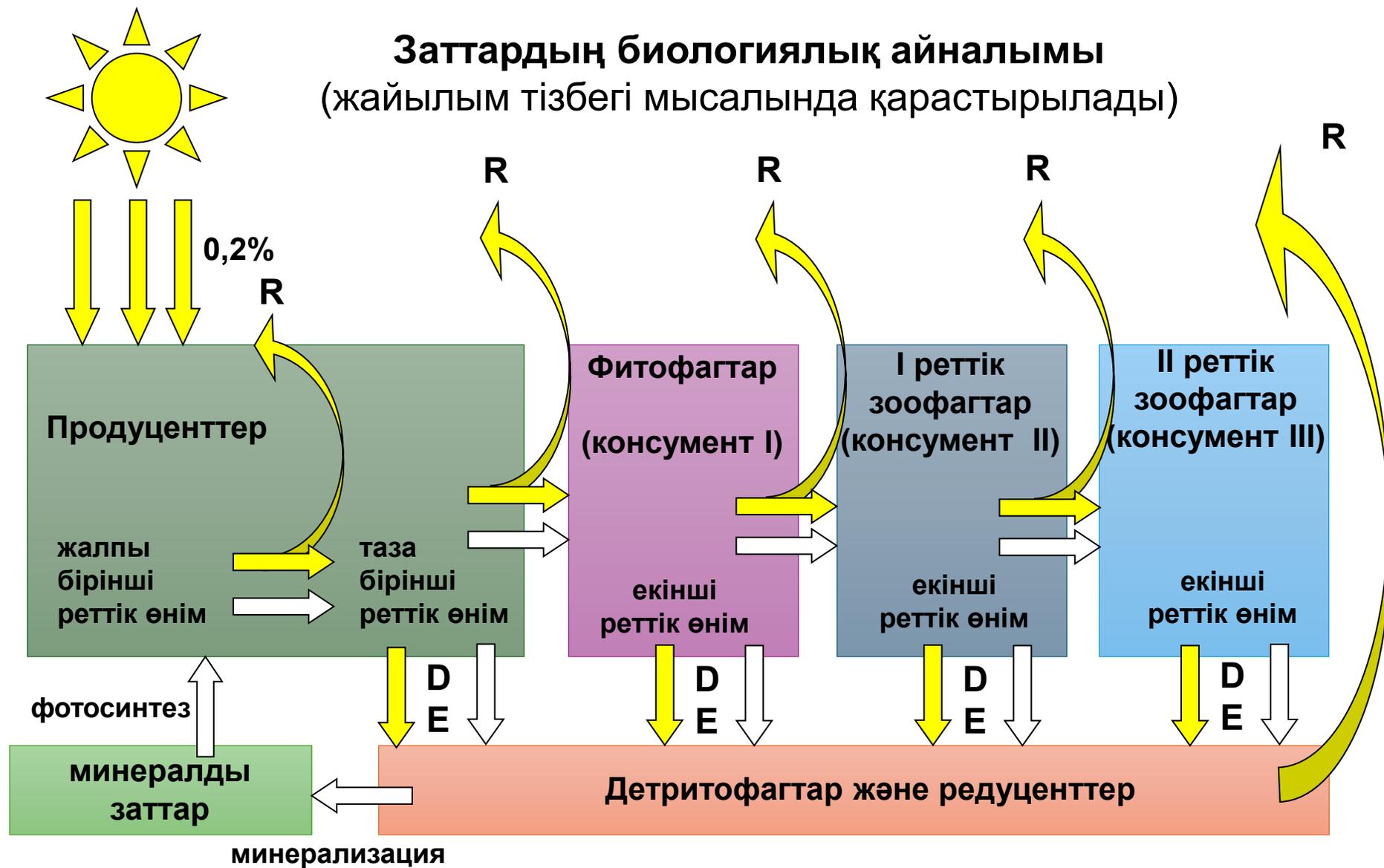
Организм, ашық жүйе болып есептеледі, сырттан энергияны қабылдайды және оны энергияға бай қосылыс (АТФ) түрінде жинақтайды.

**Бұл жағдайда жүйенің
энтропиясы төмендейді.**



Қорға жиналған энергия *пайдалы жұмыс жасау үшін жұмсалады*. Тірі организмдерде жүріп отыратын барлық процестер қайтымсыз болғандықтан *энтропия үнемі өсіп отырады*. Бұл кезде энергияның бір бөлігі энергиясы аз метаболизмнің соңғы өнімдері түрінде сыртқа шығарылып отырады.

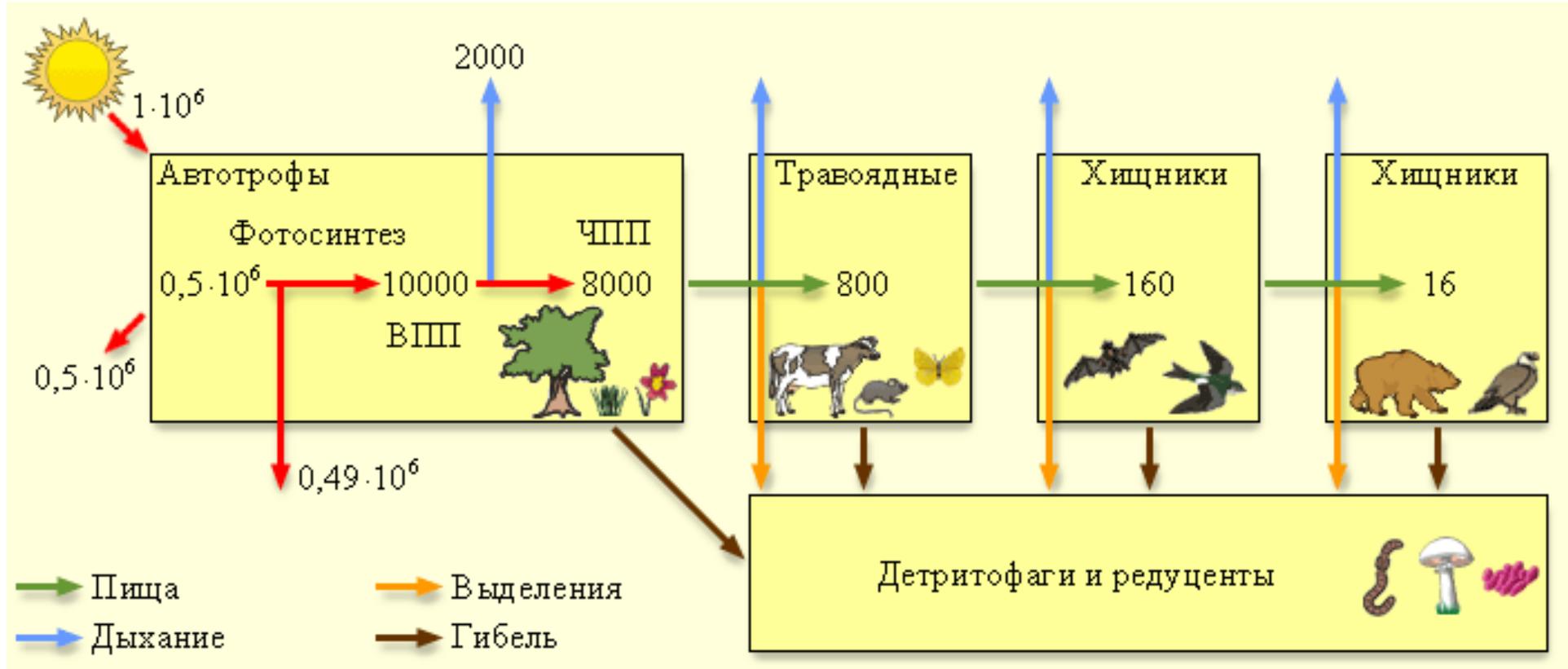
Заттардың биологиялық айналымы (жайылым тізбегі мысалында қарастырылады)



R – тыныс алу барысында шығарылатын энергия

D – табиғи өлім

E – зат алмасу өнімдерімен шығарылатын энергия



Жайылымдық қоректік тізбек арқылы энергия айналымы
 (барлық сандар $кДж/м^2 \cdot жыл$ өлшемімен көрсетілген)

И.П.Пригожин постулат:

Ашық жүйедегі энтропияның жалпы өзгерісі dS тәуелсіз.
сыртқы ортамен зат және энергия алмасу есебінен ($d_e S$),
немесе организмде жүретін ішкі қайтымсыз процестер ($d_i S$)
есебінен жүріп отырады
($d_i S$): $dS = d_e S + d_i S$

Ашық немесе шартты оқшауланған биологиялық жүйелердің энергетикалық сипаттамаларын энтропия балансы (алмасу) негізінде беруге болады.

dS/dt – ашық жүйедегі энтропияның өзгеру жылдамдығы,

$d_i S/dt$ – қайтымсыз процесс кезіндегі энтропияның өзгеру жылдамдығы,

$d_e S/dt$ – қоршаған ортамен алмасу кезіндегі энтропияның өзгеру жылдамдығы.

Пригожин теңдеуі:

$d_i S/dt$ анықтама бойынша үнемі оң мәнге ие,

$d_e S/dt$ оң және теріс мәнде бола алады.

$$\frac{dS}{dt} = \frac{d_i S}{dt} + \frac{d_e S}{dt}$$

Бұл теңдеу ашық биологиялық жүйеде жүріп жатқан энергетикалық процестердің мәнін ашып көрсетеді.

Стационарлық күй. Пригожина теоремасы

Биожүйелердің стационарлық күйі

Биожүйелер ашық жүйе болып қана қоймай сонымен қатар олар *стационарлық күйдегі жүйелер*. Бұл биожүйелердің тағы бір ерекшелігі.

Стационарлық күйде энтропияның кіруі мен шығу бір жылдамдықпен жүріп отырады.

Сол себептен жүйедегі жалпы энтропия мөлшері уақытқа байланысты өзгермейді ($dS/dt=0$).

Стационарлық күйдің классикалық моделі – бактар жүйесі (Бэртонның моделі)

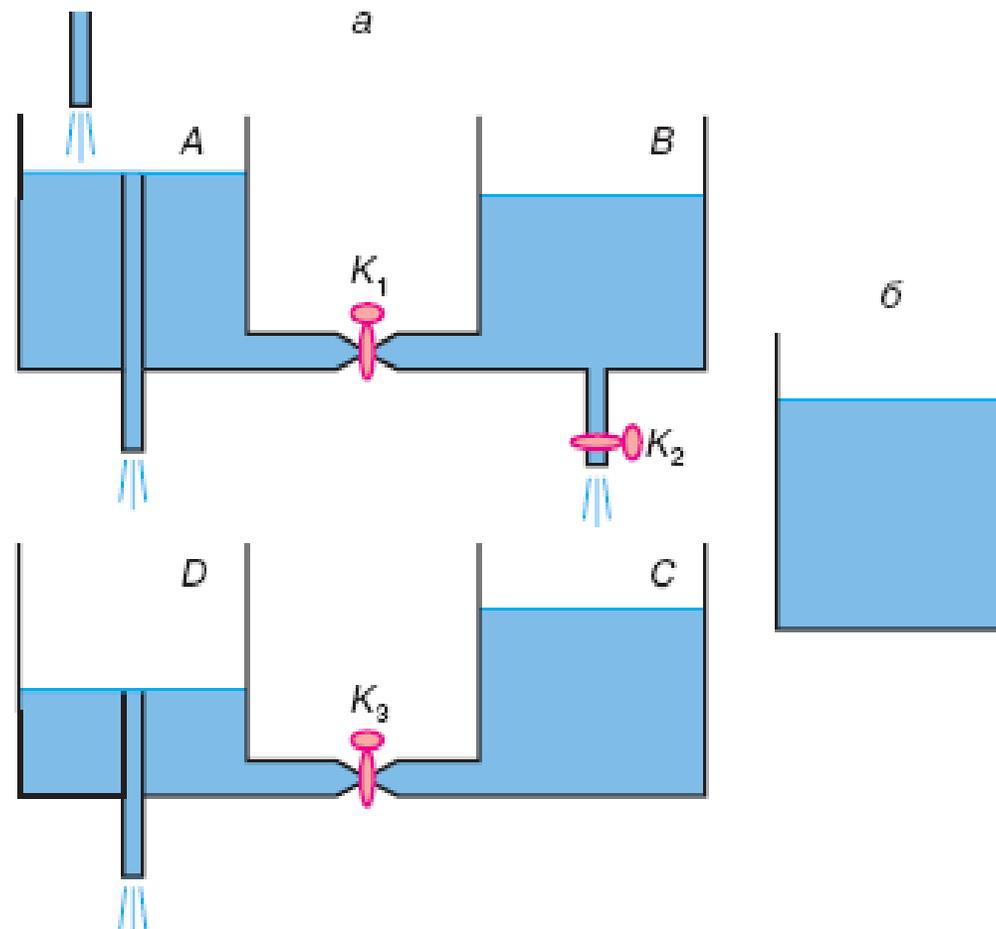


Рис. 2. Стационарное состояние. *а* – модель стационарного состояния (модель Бэртона). При определенной степени открытости кранов K_1 , K_2 и K_3 в баках *В* и *С* устанавливаются постоянные уровни, поскольку отток воды компенсируется ее притоком; *б* – постоянство уровня в непроточной емкости не является стационарным, так как не поддерживается динамически. Оно соответствует термодинамическому равновесию

Термодинамикалық тепе-теңдік пен стационарлық күй арасындағы айырмашылық

Термодинамикалық тепе- теңдік

- ✓ қоршаған ортамен зат және энергия алмасу болмайды.
- ✓ бос энергия жұмсалмайды
- ✓ жұмыс істеу қабілеті 0-ге тең
- ✓ энтропия максималды
- ✓ жүйеде градиенттер болмайды

Стационарлық күй

- ✓ қоршаған ортамен үнемі зат және энергия алмасады
- ✓ стационарлық күйді бір қалыпта ұстап тұру үшін бос энергия жұмсалады
- ✓ жұмыс істеу потенциалы тұрақты 0-ге тең емес.
- ✓ энтропия тұрақты, бірақ максимум емес
- ✓ градиенттер бар

Термодинамиканың екінші бастамасы

Термодинамиканың 1-ші бастамасы жылу, жұмыс, ішкі энергияның өзгеруі арасындағы байланысты қарастырады. Табиғатта болып жатқан процестердің бағыты жөнінде ешқандай мағлұмат бермейді.

2 дене алып, бір-бірімен әсерлетірейік. 1 дене Q_1 жылу алады, ал 2-ші дене $-Q_2$ жылу береді делік. Сонда $Q_1 = -Q_2$ болады, ал жылу қай бағытта жүреді: 1-ші дене 2-ші денеге беріле ме, әлде 2-ші дене 1-ші денеге беріле ме. Бұл сұраққа жауап бермейді.

Термодинамиканың 2-ші заңы өмірде болатын процестердің бағыты жөнінде мағлұмат береді (1824 ж. франц. инженері, физигі Сади Карно негізін салған). Мысалы, 2 түрлі сұйық алып бір ыдысқа құяйық. Сонда диффузияның арқасында бұл 2 сұйықтық араласады, қоспа пайда болады. Бұл сыртқы күштің әсерінсіз жүреді, алайда қанша уақыт күтсек те бастапқы қалпына өздігінен келмейді. Бастапқы сұйықтарға араластыру үшін белгілі бір күш жұмсау қажет. Сонымен бірге кері процесс қайталанғанмен ол тура процестегі жағдайларды дәл қайталап бере алмайды. Кері процесс кезінде сол жүйені қоршаған ортада өзгеріс болады. 2 мысал ретінде тұз-суды араластырайық, қоспа пайда болады. Тұзды судан ажырату үшін суды буға айналдырып жіберу керек. Оған энергия қажет. Сонымен диффузия бір бағытта жүреді.

Термодинамиканың екінші бастамасы

Осылайша **жылу жылу** алмасу да бір бағытта жүретін процесс. Мысалы, ыстық денені суық денемен түйістірсек, уақыт өтісімен екі дене температурасы теңеседі. Ыстық дене суиды, суық дене жылиды. **Энергия ыстық денеден суық денеге беріледі.** Осыған кері процесс болуы мүмкін емес. 2-ші мысал ретінде көлбеу жазықтықта дене қозғалғанда, ауырлық күшінің әсерінен жасалған барлық жұмыс үйкелістің арқасында жылуға айналады. Бұл тура процесс. Қанша уақыт күткенмен дене мен көлбеу жазықтық өз бетінше суынып, олар суығандағы энергия жылуға айналып, дене жоғары қарай жылжымайды.

Клаузиус анықтамасы: Жылу ешқашан да суық денеден ыстық денеге берілмейді.

Оствальд анықтамасы: мәңгі двигательдің 2-ші түрін жасау мүмкін емес.

Жүйедегі ретсіздік өлшемін **энтропия** деп атайды. Ретсіздік артқан сайын энтропия да өсе түседі. Жүйеде толық тәртіп орнаса, онда энтропия минимум болады. Жүйеде толық хаос орнаса, онда энтропия жоғарғы мәнге ие болады. Қатты затқа қарағанда сұйықтықта, сұйықтыққа қарағанда газда атомдардың энтропиясы жоғары болады. S – әрпімен энтропия белгіленеді. $dS > 0$

Тірі жүйелер үшін термодинамиканың екінші заңы

Организмдегі энтропияның өзгеру жылдамдығы ΔS организмдегі энтропия өндірісі мен сырттан келетін теріс энтропияның түсу жылдамдықтарының алгебралық қосындысына тең.

Биожүйелер үшін термодинамиканың екінші заңының математикалық өрнегі:

$$dS/dt = dS_i/dt + dS_e/dt$$

Термодинамиканың үшінші бастамасы

- 1906 ж (Нернст жылулық заңы) В.Нерст тұжырымдалған термодинамика заңы, ол бойынша температураның (T) абсолютті нөлге ұмтылғандағы фаза, қысым, тығыздыққа тәуелді болмайтын кез-келген жүйенің S энтропиясы өзінің ақырғы шегіне ұмтылады.
- Термодинамиканың үшінші бастамасы термодинамиканың бірінші және екінші бастамалары негізінде жасауға болмайтын энтропияның абсолютті мағынасын табуға мүмкіндік береді. Классикалық термодинамикада (бірінші және екінші бастамада) энтропия тек S_0 ерікті аддитивті тұрақтыға дейін дәл анықталуы мүмкін және ол іс жүзінде термодинамикалық зерттеулердің көбіне кедергі болмайды өйткені әртүрлі күйдегі энтропияның әртүрлілігі (S_0) шынайы түрде өлшенеді.

- Термодинамиканың үшінші бастамасына сәйкес $T = 0$ кезінде $\Delta S = 0$ мәні.
- 1911 жылы Макс Планк термодинамиканың үшінші бастамасына басқа тұжырымдама берген – температураның абсолютті нөлге ұмтылғандағы барлық дене энтропиясының нөлге айналу шарты:

$$\lim_{T \rightarrow 0} S = 0$$

- Температура абсолютті нөл кезінде жүйе негізінен **кванто-механикалық күйде** болады, егер ол төмендемесе, ол үшін $W = 1$ (күй жалғыз микробөлумен жүзеге асады.) Демек, $T = 0$ кезінде энтропия S нөлге тең.

Ақпарат көздері



- Интерактивное учебное пособие «Наглядная физика». МКТ и термодинамика. Издательство «Экзамен», Москва, 2012.



- Физика. Библиотека наглядных пособий. Под. ред. Ханнанова Н.К.–М.: Дрофа.2004.



- Открытая физика [текст, рисунки] <http://www.physics.ru>



- Фестиваль педагогических идей <https://festival.1september.ru/articles/585938/>



- Сайт «Открытая физика»
<http://www.college.ru/physycs/courses/op25part1/content/chapter3/section/paragraph12/theory.html>

**Назар қойып
тыңдағандарыңызға рахмет!**