

**ФИЗИКА ВА  
КИМЕ  
КАФЕДРАСИ**

# **МОЛЕКУЛЯР ФИЗИКА ВА ТЕРМОДИНАМИКА**

**9 - маъруза**

**Термодинамика конунлари.  
Газларнинг иссиклик сизими**

**2016**

# Маъруза режаси

- Термодинамиканинг биринчи қонуни ва унинг изожараёнларга тадбиқи.
- Идеал газлар иссиқлик сиғимининг молекуляр – кинетик назарияси.
- Газлар иссиқлик сиғимининг изожараёнларга қўлланилиши.
- Адиабатик жараён.
- Термодинамиканинг иккинчи қонуни

# Ички энергия

*U* ички энергия – бу тизим заррачалари (молекулалар, атомлар ва ионлар)нинг тартибсиз ҳаракати энергияси ва заррачаларнинг ўзаро таъсир энергиясидир.

бир мол идеал газнинг ички энергияси



$$U_{\mu} = \langle E \rangle N_A = \frac{i}{2} k T N_A = \frac{i}{2} R T$$

$$dU_{\mu} = \frac{i}{2} R dT$$

иҳтиёрий массали газнинг ички энергияси



$$U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} k T N_A = \nu \frac{i}{2} R T$$

$$dU = \nu \frac{i}{2} R dT$$

# Тизимнинг ички энергиясини ўзгартириш усуллари



**Термодинамиканинг биринчи қонуни – бу иссиқлик  
жараёнларда энергияни сақланиш ва бир - бирига  
ўтиш қонунидир**

**Тизимга узатилган иссиқлик  
тизимнинг ички энергиясини  
ўзгаришига ва ташқи кучларга  
қарши бажарган ишга  
сарфланади.**



$$Q = \Delta U + A$$

$$\delta Q = dU + \delta A$$

**$dU$  (тўла дифференциал) – тизим ички энергиясини  
чексиз**

**кичик ўзгариши**

**$\delta A$  – элементар бажарилган иш**

**$\delta Q$  – чексиз кичик иссиқлик миқдори**

ТИЗИМГА  
УЗАТИЛАЁТГАН  
ИССИҚЛИК

$$\delta Q > 0$$

ТИЗИМ  
ГАЗ

ТИЗИМДАН  
ОЛИНАЁТГАН  
ИССИҚЛИК

$$\delta Q < 0$$

Тизим устидан ташқи  
кучлар бажарган иш,

$$\delta A < 0$$

ТИЗИМ  
ГАЗ

Ташқи жисмлар  
устидан тизимнинг  
бажарган иши

$$\delta A > 0$$

# Бажарилган иш

Газнинг бажарган иши



$$\delta A = F dx = p S dx = p dV$$

Газ ҳажмини  $V_1$  дан  $V_2$  гача ўзгаришида ганинг бажарган тўла иши

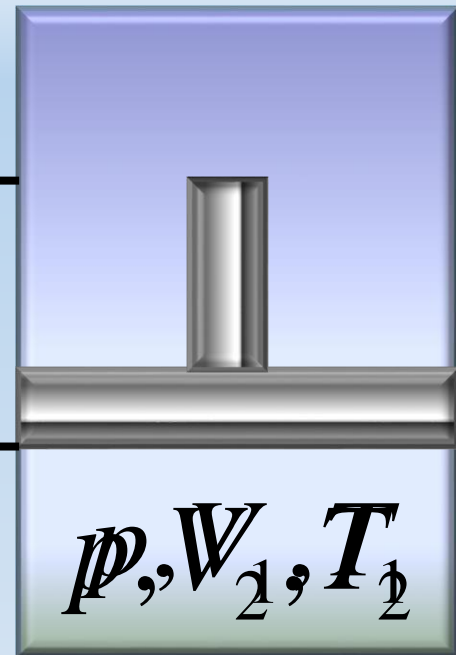


$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

$x_2$

$dx$

$x_1$



$p, V_2, T_2$



$p$  – газ босими,

$S$  – поршен юзаси,

$dx$  – кўчиш,

$\Delta V$ - ҳажм ўзгариши,

$A$  – газнинг бажарган иши,

$A'$ - газ устидан бажарилган иш.

# СИ՞ՑИ՞Ց

Газнинг бажарган иши *манфий*

Ташқи кучларнинг газ  
устидан

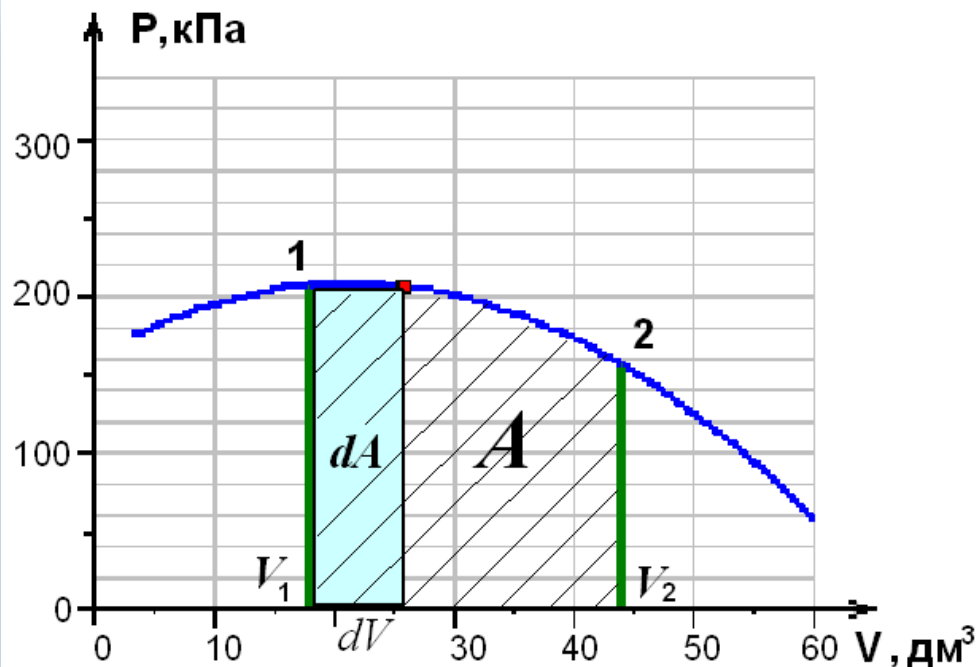
бажарган иши *мусбат*

$$A > 0 \quad A' < 0$$

$$A' = -A$$

$$A < 0 \quad A' > 0$$

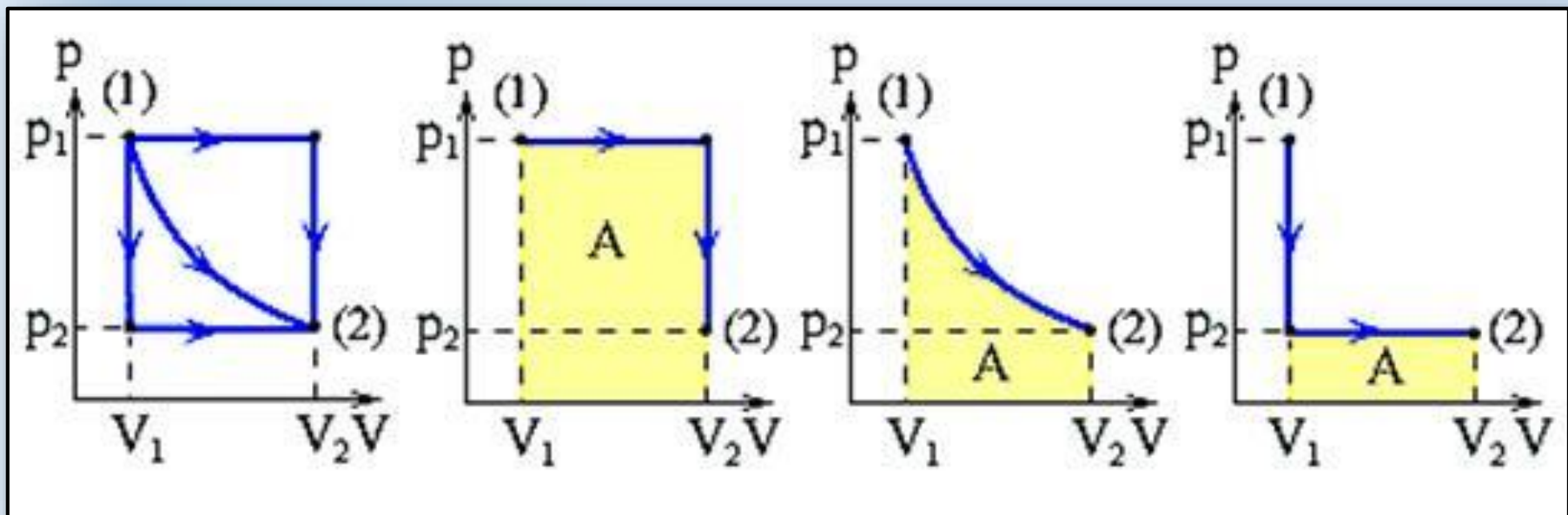
$$A = -A'$$



Диаграммада  
келтирилган ( $p, V$ )  
жараён графиги остидаги  
юза бажарилган ишга сон  
жиҳатдан тенг бўлади.



Расмда газни (1-) ҳолатдан (2-) ҳолатга ўтказувчи учта ҳар хил жараён тасвирланган. Барча жараёнларда газ ҳар хил иш бажаради.



## *R* моляр газ доимийсининг физикавий маъноси

$$A = P\Delta V = \nu R\Delta T$$



$$R = \frac{A}{\nu\Delta T} = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$$

**Моляр газ доимийси, бир мол идеал газни 1К га изобарик иситилганда газнинг бажарган ишига сон жиҳатдан тенг.**

# Иссиқлик сиғими

*Модданинг солиштирама иссиқлик сиғими 1 кг моддани 1<sup>0</sup> га иситишга сарф бўлган иссиқлик миқдорига тенг физик катталиқка айтилади.*

*Моляр иссиқлик сиғими 1 моль моддани 1<sup>0</sup> га иситишга сарф бўлган иссиқлик миқдорига тенг бўлган катталиқка айтилади .*

$$c = \frac{\delta Q}{m dT}$$

$$C_{\mu} = \frac{\delta Q}{\nu dT}$$

$$C_{\mu} = \mu c$$

$$[c] = \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$$

$$[C_{\mu}] = \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{МОЛЬ} \cdot \text{К}} \right]$$

## Ўзгармас ҳажмдаги газнинг моляр иссиқлик сиғими.

Термодинамиканинг биринчи қонунидан

$$\delta Q = dU + \delta A$$

$\delta A = pdV$  ва  $C_{\mu} = \frac{\delta Q}{\nu dT}$  ҳисобга олсак

1 мол газ учун  $C_{\mu} dT = dU_{\mu} + pdV$  эга бўламиз

$V = const$  ҳажм ўзгармас бўлганда, ташқи кучлар бажарган иш нолга тенг бўлади  $\delta A = 0$

Ташқаридан газга узатилган иссиқлик фақат унинг ички энергиясини ошишига сарф бўлади.

$$C_{\mu} dT = dU_{\mu} \Rightarrow C_{\mu} = \frac{dU_{\mu}}{dT} \quad \text{бўлгани учун} \quad dU_{\mu} = \frac{i}{2} R dT$$

$$C_{\mu} = \frac{i}{2} R$$

# Босим ўзгармас бўлгандаги газнинг моляр иссиқлик СИҒИМИ

$P=const$  босим ўзгармас бўлганда газни иситамиз

$$C_p = \frac{\delta Q}{\nu dT} = \frac{dU + pdV}{\nu dT} = \frac{dU_\mu}{dT} + \frac{pdV_\mu}{dT}$$

Менделеев – Клайперон тенгламасини дифференциалласак  
қуйидагига эга бўламиз

$$pV_\mu = RT \Rightarrow pdV_\mu = RdT \Rightarrow \frac{pdV_\mu}{dT} = R$$

$C_p = C_V + R$  - Майер тенгламаси деб аталади

$C_p$  доимо  $C_V$  дан универсал газ доимийларидир.

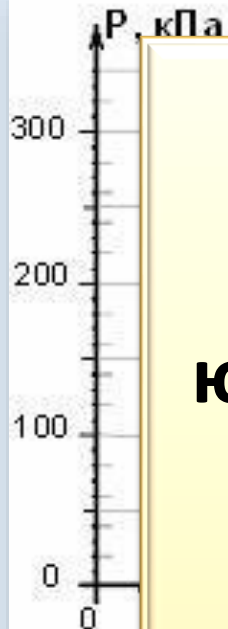
$$C_p = \frac{i}{2}R + R = \frac{i+2}{2}R$$

Термодинамик жараёнларни ўрганишда қуйидаги катталиқ муҳим  
аҳамиятга эга бўлади

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i}$$

У Пуассон коэффиценти деб аталади.

## Изохорик жараён. $V = \text{const}$



Изохорик жараёнда газ ташқи

майди

ган

ади.

Изохорик иситишда газ иссиқликни ютади ( $Q > 0$ ) ва унинг ички энергияси ошади.

Газни совутишда иссиқлик ташқи жисмларга узатилади ( $Q < 0$ ); газнинг ички энергияси камаяди.

$$Q = \mu C_V \Delta T$$

# Изобарик жараён. $P = \text{const}$

Изобарик жараёнда, ҳажм

иши

Изобарик кенгайишда  $Q > 0$  – газ  
иссиқликни ютади ва мусбат иш бажаради.  
Изобарик сиқишда  $Q < 0$  – иссиқлик ташқи  
жисмларга узатилади. Бу ҳолда  $A < 0$ .

фойдаланиб

$$pV = \frac{m}{\mu} RT$$

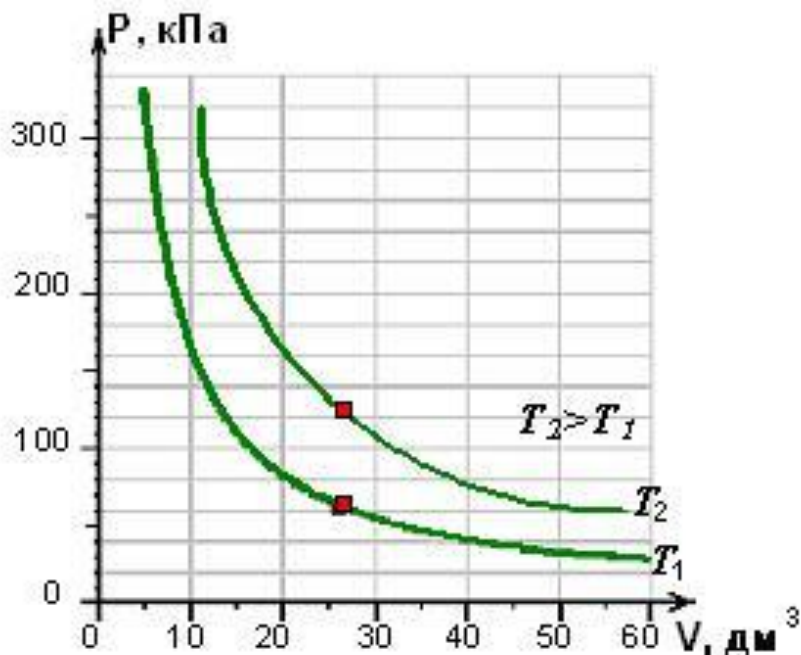
эга бўламиз

$$p(V_2 - V_1) = \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1)$$

Бу ердан

$$A = \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1)$$

# Изотермик жараён. $T = \text{const}$



Изотермик кенгайишда бажарилган иш қуйидагига тенг

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{m}{\mu} RT \frac{dV}{V} =$$

$$\frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{P_1}{P_2}$$

Температура ўзгармас бўлганда идеал газнинг ички энергияси ўзгармасдан қолади, у ҳолда термодинамиканинг биринчи қонунига асосан

$$\delta Q = \delta A ,$$

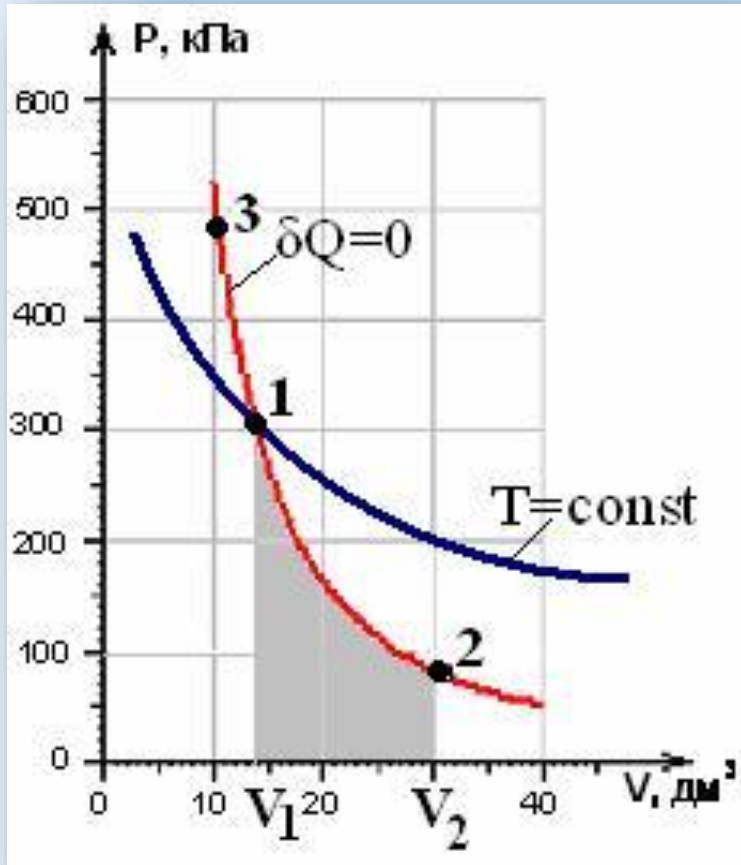
яъни, газга узатилган барча иссиқлик миқдори ташқи кучларга қарши бажарилган ишга сарф бўлади.



# Адиабатик жараён. $\delta Q = 0$

- Тизим ва атроф муҳит билан иссиқлик алмашиши содир бўлмаган жараён  $\delta Q = 0$  *адиабатик жараён* деб аталади.
- Иссиқликдан изоляцияланган тизимларда адиабатик жараён содир бўлганда ёки жараён тез ўтганда иссиқлик алмашиши деярли содир бўлмайди.
- Тез кўчадиган жараёнлар: ички ёнадиган двигателлар ва совутиш қурилмаларидаги сиқилиш ва кенгайиш цикллари адиабатик жараёнлар деб ҳисобланади.

$$\delta Q = 0$$



$$\delta A = -dU$$

$\delta A = pdV$  ва  $dU = \nu C_V dT$  фойдаланиб  
қуйидагига эга бўламиз  $pdV = -\frac{m}{\mu} C_V dT$

$pV = -\frac{m}{\mu} R dT$  фойдаланиб

қуйидагига эга бўламиз  $pdV + VdP = \frac{m}{\mu} R dT$

Бўлиш амалини бажарсак

$$\frac{pdV + VdP}{pdV} = -\frac{R}{C_V} = -\frac{C_p - C_V}{C_V}$$

$$\frac{dP}{p} = -\gamma \frac{dV}{V}$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i} - \text{Пуассон коэффиценти.}$$

$$\frac{dP}{p} = -\gamma \frac{dV}{V}$$

Тенгламани интегралласак

$$\ln V^\gamma + \ln p = \ln const$$

Бу ердан адиабатик жараён учун Пуассон тенгласига эга бўламиз

$$pV^\gamma = const$$

Менделеев – Клайперон тенгласидан фойдалансак

$$pV = \frac{m}{\mu} RdT$$

қуйидагига эга бўламиз

$$TV^\gamma = const \quad \text{и} \quad T^\gamma V^{1-\gamma} = const$$

Адиабата изотермага нисбатан тез ўзгаради.

1 – 3 адиабатик сиқилишда босимнинг ошиши, на фақат ҳажмнинг кичрайишидан, балки температуранинг ошишидан ҳам содир бўлади.

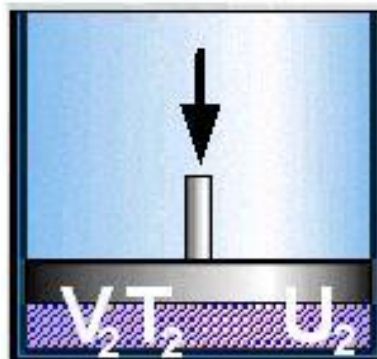
# Адиабатик жараёнда бажарилган иш.

ш  
А  
б

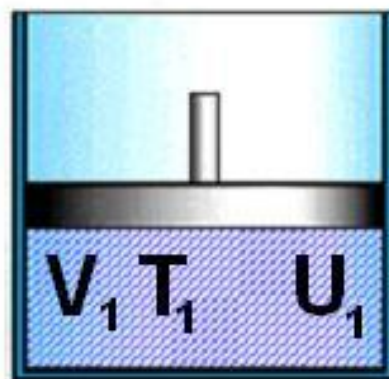
Адиабатик жараёнда бажарилган иш изотермик жараёндагидан кичик бўлади. Бунинг сабаби, адиабатик кенгайишда газ совийди, изотермик кенгайишда, ташқаридан иссиқлик миқдори келиб тургани учун, температура ўзгармасдан қолади.

$$A = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right] = \frac{RT_1}{\gamma - 1} \frac{m}{\mu} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right]$$

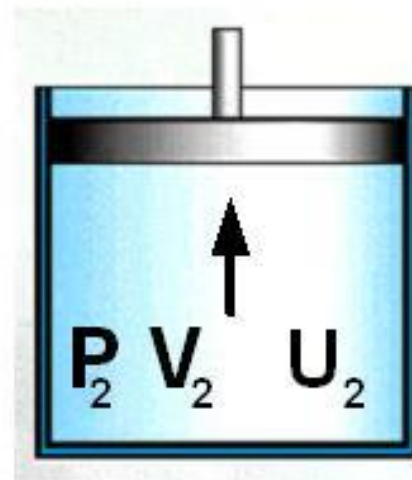
### Адиабатное сжатие



первоначальное  
состояние



### Адиабатное расширение



Работа внешних сил положительна  
 $A > 0$ .

Работа газа отрицательна.  
Внутренняя энергия увеличивается

$$\Delta U = U_2 - U_1 > 0.$$

Работа внешних сил отрицательна  
 $A < 0$ .

Работа газа положительна.  
Внутренняя энергия  
уменьшается

$$\Delta U = U_2 - U_1 < 0.$$

Температура возрастает

$$\Delta T = T_2 - T_1 > 0.$$

Двигатель Дизеля.

Температура убывает

$$\Delta T = T_2 - T_1 < 0.$$

Расширение воздуха в верхних слоях  
атмосферы, образование облаков.

## Политропик жараён ( $C=const$ ).

- Иссиқлик сифими ўзгармас қоладиган жараён *политропик жараён* деб аталади.
- Юқорида келтирилган *изохорик, изобарик, изотермик* ва *адиабатик* жараёнлар *политропик жараённинг* хусусий холи бўладилар.
- Политропик тенглама

$$pV^n = const$$

- $n = \frac{C - C_p}{C - C_v}$
- - политропик жараён кўрсаткичи.

# Ҳар хил жараёнлар учун иссиқлик қийматлари ва политроп кўрсаткичлари

Процесс	$C$	$n$
Адиабатический	$C = 0$	$n = \gamma$
Изотермический	$C = \infty$	$n = 1$
Изобарический	$C = C_p$	$n = 0$
Изохорный	$C = C_v$	$n = \pm\infty$

$$pV^n = const$$

$$n = \frac{C - C_p}{C - C_v}$$

Тизим бир қатор термодинамик ҳолатлардан ўтиб, ўзининг бошланғич ҳолатига қайтадиган жараён **айланма жараён** деб аталади.

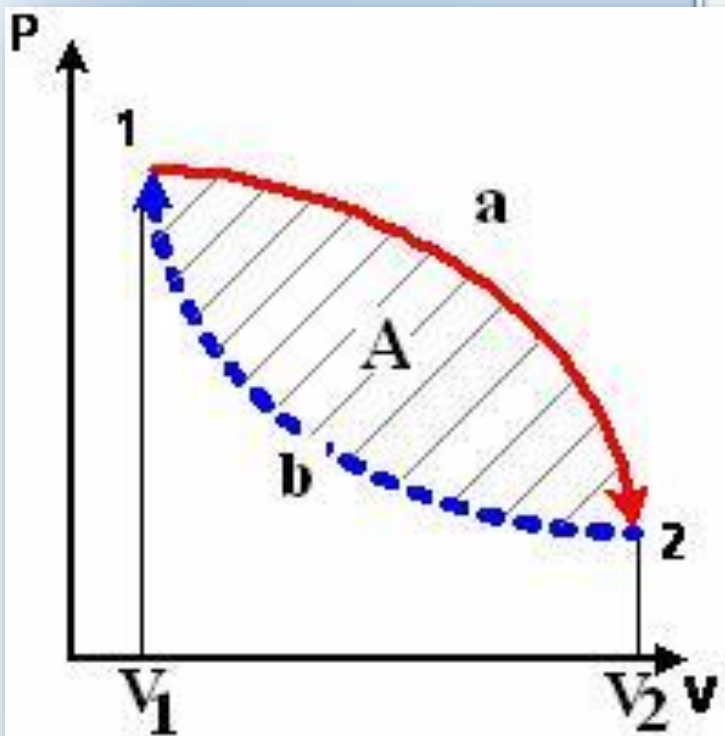
Термодинамик жараён агарда, аввал тўғри циклда ва кейин тескари циклда содир бўлса, у ўз ҳолатига **қайтувчи жараён** деб ҳисобланади. Чунки бу ҳолда атроф - муҳит ва қаралаётган тизимда ортиқча ўзгаришлар содир бўлмайди.

Шу шароитга эга бўлмаган барча жараёнлар **қайтмас жараёнлар** деб ҳисобланади.



Тизим айланма жараён натижасида ўзининг бошланғич ҳолатига қайтади ва тизимнинг ички энергияси ўзгармайди:

$$\Delta U = 0.$$



$A_1$  кенгайишда бажарилган иш мусбат ва  $\int_{V_1}^{V_2} P dV$  юза билан белгиланади.

$A_2$  сиқишда бажарилган иш манфий ва  $-\int_{V_2}^{V_1} P dV$  юза билан белгиланади.

$A$  циклда бажарилган тўла иш  $A = A_1 + A_2$  ёпиқ эгри чизиқ билан ўралган юза билан белгиланади.

Шундай қилиб, бажарилган иш термодинамик тизимнинг ҳолатидан ташқари содир бўлаётган ҳолатларнинг турига ҳам боғлиқдир.

# Иссиқлик машиналари.

Тўғри цикл даврий ишлайдиган машиналар - *иссиқлик двигателларида* қўлланилади. Бу машиналар ташқаридан узатилган иссиқлик миқдори ҳисобига иш бажаради.

*Термостат* - деярли ўз температурасини ўзгартирмасдан, атрофдаги жисмлар билан иссиқлик алмашмайдиган термодинамик тизимга айтилади.

*Ишчи жисм* – бошқа жисмлар билан энергия алмашадиган ва айланма жараённи амалга оширадиган жисмдир.

# Иссиқлик двигателининг ишлаш принципи.

ИСИТГИЧ ( $T_1$ )

$Q_1$

ИШЧИ  
ЖИСМ  
ГАЗ

БАЖАРИЛ  
ГАН ИШ  
 $A = Q_1 - Q_2$

$Q_2$

СОВУТГИЧ ( $T_2$ )

Температураси юқори бўлган «иситгич» деб аталувчи термостатдан ( $T_1$ ) цикл давомида иссиқлик машинаси  $Q_1$  иссиқлик миқдори олади ва температураси паст бўлган термостатга ( $T_2$ )  $Q_2$  иссиқлик миқдорини узатади. Цикл давомида бажарилган иш

$$A = Q_1 - Q_2$$

# Энтропия

**S энтропия – тизимнинг босими, ҳажми ва температураси каби параметрлари қаторида унинг ҳолатини характерловчи макропараметрдир.**

**Энтропия – бу шундай термодинамик параметрки унинг ўсиши тизимга келувчи иссиқлик миқдори билан боғлиқдир.**

$$dS = \frac{\delta Q}{T}$$

# Термодинамиканинг иккинчи қонуни.

Ёпиқ тизимда исталган қайтмас жараёнлар ўтиши тизимнинг энтропиясини ошишига олиб келади.

$$\Delta S \geq 0$$

Кельвин бўйича: иситгичдан узатилган иссиқликни шунга эквивалент ишга сарф қилувчи айланма жараёнлар ҳеч ҳам бўлмайди.

Клазиус бўйича: камроқ иситилган жисмдан кўпроқ иситилган жисмга иссиқликни узатувчи айланма процесслар мавжуд бўлмайди.

Термодинамиканинг учинчи қонуни энтропияни иссиқлик сиғими орқали термодинамик ҳисоблаш мумкинлигини кўрсатади.

$$dS = \frac{\delta Q}{T}$$

$C_v$  ва  $C_p$  иссиқлик сиғимлари  $T=0 K$  да нолга тенг, чунки

$$dS = \frac{\delta Q}{T} \quad C = \frac{dQ}{dT}$$

Энтропия тизимнинг ҳолат функцияси бўлиши билан, тизим ҳолатини белгилайдиган  $P$  босим ва  $T$  температураларга боғлиқдир. Мисол учун, жисм, босим ўзгармас бўлганда  $P = const$ ,  $0 K$  дан  $T$  температурагача қизиган бўлсин, у ҳолда

$$S(p = const, T) = \int_0^T \frac{C_p(T) dT}{T}$$

$$S(V = const, T) = \int_0^T \frac{C_v(T) dT}{T}$$

бу ерда  $C_p(T)$  ва  $C_v(T)$  - жисмнинг температурасига боғлиқ бўлган иссиқлик сиғимларидир.

# Фойдаланилган адабиётлар

- Glencoe Science Physics. “principles and problems” 2012
- Halliday Resnick “Fundamentals of Physics” 2012
- Абдурахманов К.П., Эгамов У. Физика курси , 2011 й.
- Огурцов Н.А. Курс лекций по физике, Харьков, 2007.
- Колмаков Ю.Н. Курс лекций по физике, Тула, 2002.
- Оплачко Т.М., Турсунметов К,А. Физика, Ташкент, 2007
- <http://phet.colorado.edu/>
- <http://www.falstad.com/mathphysics.html>
- <http://www.quantumatmica.co.uk/download.htm>
- <http://school-collection.edu.ru>

# Таълим сайтлари ва Интернет ресурслари

1. [fizika.uz](http://fizika.uz) – талабалар ва физика ўқитувчилари учун сайт
2. [neutrino.usoz.ru](http://neutrino.usoz.ru)- ТАТУ Физика кафедраси доценти О.Э.Тигайнинг шахсий сайти.
3. [fizik.ru](http://fizik.ru) - ТАТУ Физика кафедраси катта ўқитувчиси В.С.Хамидовнинг шахсий сайти.
4. [estudy.uz](http://estudy.uz)- ТАТУ талабалари учун физикадан масофавий таълим тизими
5. [Yenka.com](http://Yenka.com)
6. <http://phet.colorado.edu/>
7. <http://www.falstad.com/mathphysics.html>
8. <http://www.quantumatmica.co.uk/download.htm>
9. <http://school-collection.edu.ru>