

## 19-майруза .

Режа :

1. Иссиқлик нурланиши .
2. Абсолют қора жисм.
3. Кирхгоф қонуни .
4. Абсолют қора жисм нурланишининг асосий қонунлари.
5. Планк гипотезаси.
6. Планк формуласи.

Конвекция орқали иссиқлик узатиш учун ва яна иссиқлик ўтказиш жараёнида аниқ модда бўлиши керак. Ерда ҳаётнинг бўлиши бу қуёш энергиясига боғлиқ. Қуёш билан Ер орасида модда билан тўлмаган бўлиб у моддий бўшлиқ яни фазодан иборат. Энергиянинг бундай узатилиши фақат иссиқлик алмашуви ҳисобига содир бўлади ва у **нурланиш** деб аталади. Қуёш ҳарорати ( $6000^{\circ}\text{K}$ ) (расм 14-10) бўлиб Ер юзаси ҳароратидан анча юқоридир.



Бизнинг оловдан оладиган иссиқлигимиз ҳам нурланиш орқали амалга ошади. Мисол учун печни қиздириш жараёнида ҳавонинг қизиган катта қисми конвекция орқали бизга етиб келмасдан труба орқали юқорига чиқиб кетади. Нурланиш бу электромагнит тўлқиндан иборат бўлиб уни кейинги бобда кўриб чиқамиз. Бу ерда шуни етарлича қайд қилиш керакки, қуёш ёруғлиги кўринадиган ёруғлик бўлиб унда бошқа тўлқин узунликдаги нурлар бўлиб уни инсон кўзи сезмайди.

Тажрибалар кўрсатадики (назария тасдиқлайди) қиздирилган жисм томонидан вақт бирлиги ичида ажралиб чиққан нурланиш абсолют ҳароратнинг тўртинчи даражасига пропорционалдир. Бу шуни англатадики ҳарорати мос равишда 2000 ва 1000 К бўлган икки жисимни

таққосласак, биринчи жисм, иккинчи жисмга қараганда  $2^4=16$  марта кўп миқдорда энергия нурлайди. Нурланиш энергиясининг қиймати яна нурланувчи жисим кўндаланг кесим юзасига боғлиқ. Вақт бирлиги ичида нурланиш энергияси қуйидагича ёзилади:

$$\frac{Q}{t} = \epsilon \sigma A T^4 \quad (14-6)$$

Бу **Стефан-Болтцман қонуни** дейилади, бу ерда  $\sigma$ -универса доимий бўлиб Стефан-Болтцман доимийси дейилади. Униг сон қиймати

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

Бу ерда  $\epsilon$ -ўлчамсиз катталиқ бўлиб унинг қиймати 0 ва 1 оралиқда олиниб, нурланиш қобилияти дейилади ва у модданинг хусусиятини характерлайди. Юзаси жуда қора бўлган жисмлар учун  $\epsilon$ -нинг қиймати 1-га яқин, ялтироқ юзали моддалар учун  $\epsilon$  қиймати нолга яқин. Умуман олганда  $\sigma$ -нинг қиймати ҳароратга оз миқдорда боғлиқ бўлади.

Ҳар қандай жисм фақат энергия нурлантормасдан балки бошқа жисм нурлатган энергияни ютади ҳам. Агар жисмнинг нурланиш қобилияти  $\epsilon$  –га, юзаси  $A$  ва сирт ҳарорати  $T_1$  га тенг бўлса, у ҳолда жисм вақит бирлиги ичида нурлаган энергияси қуйидагига тенг бўлади:  $\epsilon \sigma A T^4$

Жисмнинг атроф муҳит билан ўралган холи учун  $T_2$  ҳароратда вақит бирлиги ичида энергия нурласа у  $T_2^4$  пропорционал бўлади, худди жисм томонидан ютган энергия ҳам  $T_2^4$  га пропорционал бўлади. Шундай қилиб жисм томонидан нурланган натижавий иссиқлик оқими қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$\frac{Q}{t} = \epsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4),$$

Бу ерда  $A$ -жисм сирт юзаси,  $T_1$ -унинг ҳарорати,  $\epsilon$ - ( $T$  ҳароратда) унинг нурланиш қобилияти ва  $T_2$ - атроф муҳит ҳарорати. Шунини этиборга олиш керакки (14-7) ифодадан жисм томонидан вақит бирлигида ютган энергия  $\epsilon \sigma A T_2^4$  га тенг деб қабул қилинган.  $T_2$ -дан олдинги пропорционаллик коэффициенти нурланувчи ва ютувчи жисмлар учун бир хил бўлади. Бу далил тажриба натижалари билан мос тушади. Қачонки жисм ва атроф муҳит ҳароратлари тенг бўлса иссиқлик мувозанати вужудга келади бошқача сўз билан айтганда  $\frac{Q}{t}$  қиймат  $T_1=T_2$  ҳолат учун нолга тенг бўлади. Шундай қилиб жисм қанча кўп миқдорда энергия нурласа, шунча кўп миқдорда энергия

ютади ва аксинча. Қора ва жуда қора жисмлар яхши нурлантирувчи бўлиб деярли бутун энергияни тўлиқ ютади. Шунинг учун ёзда оқ кийим кийиш мақсадга мувофиқдир, чунки оқ жисм фақат энергия нурлантирмасда, кам энергия ютади.

Жисм ва унинг атрофи энергия нурлайди, доимо натижавий энергия узатиши содир бўлади. У шу ва бошқа йўналишда бўлади. Фақат ҳароратлар фарқи мавжуд бўлмаса содир бўлмайди. 14-6 муносабатдан кўринадикки,  $T_1 > T_2$  натижавий иссиқлик оқими жисмдан атрофга йўналган.  $T_1 < T_2$  натижавий поқим атрофдан жисмга йўналган. Агар атроф муҳитнинг ҳарорати ҳархил ҳароратда бўлса 14-6 ифода анча мураккаб кўринишда бўлади.

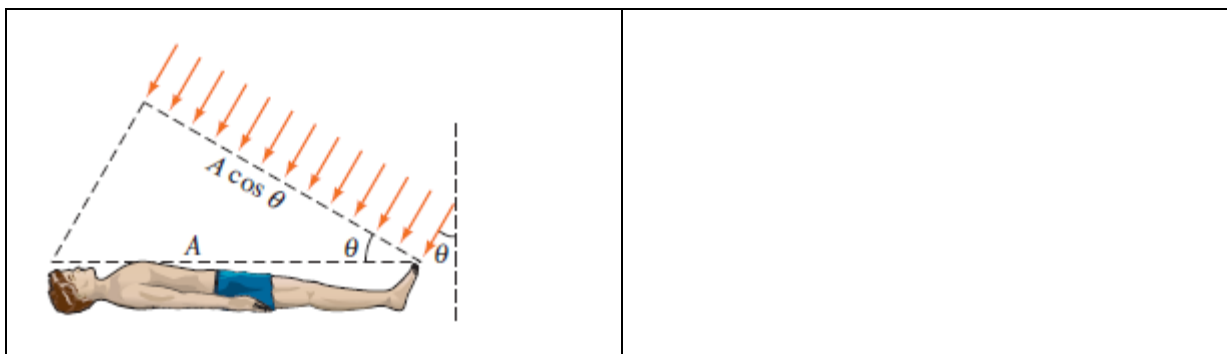
Ялтироқ идиш керамик идишга қараганда афзаллироқдир. Реаль шароитда конвекция ва иссиқлик ўтказувчанлик нурланишга қараганда катта рол ўйнайди.

Қуёш нурланиши ҳисобига жисмнинг қизиш даражасини (14-7) муносабат орқали баҳолаб бўлмайди чунки бу муносабатда жисмнинг  $T_2$  ҳароратининг муҳит билан текис тақсимланади деб ҳисоблайди. Бу вақитда Қуёш нуқтавий манба бўлади шунинг учун уни қўшимча энергия манбаи деб ҳисоблашга тўғри келади.

Қуёш нури ҳисобига қизишни ҳисоблашда шу факторни инобатга олади, 1350 Ж энергия ҳар бир секундда эр атмосфераси сиртига тушади.

Бу сон ( $1350 \text{ вт/м}^2$ )-қуёш доимийси дейилади. Қуёш нурлатган энергия ер юзасига етиб келгунча унинг 70 % атмосферада ютилади (ҳавонинг тиниқчилигига боғлиқ). Осмон мусоффо кун ер юзасига  $1000 \text{ вт/м}^2$  энергия тўғри келади, бу шуни англатадики нурланиш ўобиляти  $e$  ва сирт юзаси  $A$  бўлган қуёшга қараган жисм вақит бирлиги ичида (ваттларда)  $1000eA \cos \Theta$  га яқин энергия ютади. Бу ерда  $\Theta$ - 14-11 расмга мувофиқ  $A$  юза нормали ва қуёш нурлари орасидаги бурчак. Бошқача сўз билан айтганда қуёш нурига перпендукуляр бўлган  $A \cos \Theta$ -майдон юзасининг эффективлигидир.

	Расм 14-11. $\Theta$ -бурчак остида одам танасига тушувчи нурланиш энергияси.
--	---



$\cos\theta$ -кўпайтма бир қанча ҳодисаларни тушинтиришда қўлланилади, масалан йил вақтининг қандайлигини, эримайдиган қутуб нмузларининг мавжудлигини ва яна куннинг яримида қуёш чиқиши ва ботишига қараганда кучли қизишини (расм 14-12).

**Иссиқлик нурланиши. Абсолют қора жисм.** Етарли даражагача қиздирилган жисмлар ўзидан нур чиқара бошлайдилар. Бундай нурланиш иссиқлик нурланиши деб аталади. Текширишлар шуни кўрсатадики жисмларнинг нурланиши учун уларни қиздириш шарт эмас экан, жисмларнинг ҳарорати  $T > 0$  бўлса бас, ҳарқандай нолга тенг бўлмаган ҳароратга эга жисм ўзидан нурланиш чиқараверар экан. Демак, бундай нурланиш ҳамма жисмга ҳос универсал жараён дур. Иссиқлик нурланиши атом ва молекулаларнинг иссиқлик ҳаракати энергияси ҳисобига юз беради. Унинг спектри узлуксиз бўлиб, спектрнинг максимуми температурага боғлиқ. Юқори температурада асосан қисқа тўлқин узунлиги, паст температурада эса асосан катта тўлқин узунлиги электромагнит тўлқинлар нурланилади (инфрақизил нурлар).

Лекин ҳар қандай нур тарқатувчи жисм ўз навбатида бошқа жисмларнинг нурлатган энергияларини ютади, натижада, нур чиқариб ва ютиб, жисм атроф муҳит билан мувозанатга келади, бу ҳолатда жисм қанча ёруғлик нурлатса шунчасини ютиб туради. Ана шу ҳолатга мос келган температура мувозанат температураси деб аталади. Иссиқлик нурланишини ифодалаш учун қуйидаги тушунчалар киритилади:

- жисмнинг тўла нур чиқариш қобилияти  $E$  – бирлик юзадан 1 сек ичида чиқаётган энергия миқдори, бирлиги  $\text{Ж}/\text{м}^2 \cdot \text{сек}$ .

- жисмнинг тўла нур ютиш қобилияти  $A$  – жисм ютадиган энергиянинг унга тушаётган энергияга бўлган нисбати.  $A$  нинг бирлиги йўқ ва у ҳар доим  $\leq 1$ . масалан, оптик диапазонда  $A$  учун  $A=0,1$ ,  $\text{Cu}$  учун  $A=0,5$ , сув учун  $A=0,67$ .  $E$  ва  $A$  лар жисмнинг табиатига ва тўлқин узунлигига боғлиқ.

- жисмнинг  $\Delta\lambda$  интервалига тўғри келадиган нур чиқариш қобилияти спектрал нур чиқариш қобилияти деб аталади ва у  $E_\lambda$  деб белгиланади. Худди шундай қилиб спектрал нур ютиш қобилияти таърифланади ва у  $A_\lambda$  билан белгиланади.

Ҳар қандай температурада ҳам ўзига тушган энергиянинг ҳаммасини ютадиган жисм абсолют қора жисм (а.қ.ж.) деб аталади. А.қ.ж. учун  $A_\lambda = A = 1$  А.қ.ж.га оптик диапазонда ўз хоссалари билан қора куя яқинроқ ( $A_\lambda = 0,95$ ).

А.қ.ж нур ютар экан, ўз навбатида нур ҳам чиқаради. Демак, нур чиқариш ва нур ютиш жараёнлари ўзаро боғлиқдир. Фараз қилайлик икки жисмдан иборат бўлган берк системада бу жисмлар ҳар ҳил температурага эга ва ўзаро фақат нур ютиш ва нур чиқариш орқали энергия алмашадилар. Маълум вақтдан кейин улар ўртасида иссиқлик мувозанати пайдо бўлади: ҳар бир жисм вақт бирлиги ичида қанча энергия ютса, шунча энергия нурлатади. Бу жисмларнинг мувозанат температурасидаги нур чиқариш ва нур ютиш қобилиятлари  $E', E''$  ва  $A', A''$  лар билан белгилаймиз. Биринчи жисм иккинчисига қараганда  $1 \text{ м}^2$  юзадан  $1 \text{ сек}$  ичида  $n$  марта кўп энергия чиқаряпти деб ҳисоблайлик (13.1-расм):

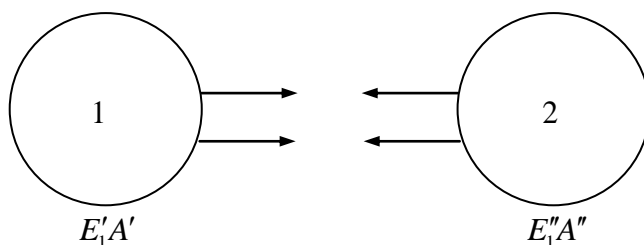
$$E' = nE''$$

Шундай экан, бу жисм ўз навбатида энергияни  $n$  марта кўп ютиши ҳам керак:

$$A' = nA''$$

Натижада ҳосил бўлади:

$$\frac{E'}{A'} = \frac{E''}{A''}$$



13.1-расм

Агар берк системада жисмлар кўп бўлса ва улар орасида бир жисм абсолют қора жисм бўлса, у ҳолда қуйидаги муносабат бажарилади:

$$\frac{E'}{A'} = \frac{E''}{A''} = \frac{E'''}{A'''} = \dots \varepsilon \quad (13.1)$$

$\varepsilon$  – а.қ.ж. нинг нур чиқариш қобилияти, унинг нур ютиш қобилияти  $A=1$ . (13.1) ифода Кирхгоф қонуни деб аталади ва у қуйидагича айтилади:

### **Кирхгоф қонуни.**

*Берилган температурада ҳамма жисмлар учун уларнинг нур чиқариш қобилиятларнинг нур ютиш қобилиятларига бўлган нисбати ўзгармас миқдор бўлиб, у а.қ.ж. нинг ўша температурадаги нур чиқариш қобилиятига тенг.*

Бу қонун жисмларнинг спектрал нур чиқариш ва нур ютиш қобилиятларига ҳам тегишли, ёки  $E_\lambda = A_\lambda \varepsilon_\lambda$

Кирхгоф қонунидан қуйидаги 3 та хулоса чиқариш мумкин:

1. Исталган температурада ҳарқандай жисмнинг нур чиқариш қобилияти унинг нур ютиш қобилиятининг а.қ.ж. нинг нур чиқариш қобилиятига бўлган кўпайтмасига тенг:

$$\begin{aligned} E &= A\varepsilon \\ E_\lambda &= A_\lambda \varepsilon_\lambda \end{aligned} \quad (13.2)$$

2. Ҳарқандай жисмнинг нурчиқариш қобилияти а.қ.ж. нинг нур чиқариш қобилиятидан кичик ( $E = A\varepsilon$ ,  $A < 1$  бўлганлиги учун  $E < \varepsilon$ ).

3. Агар жисм қандайдир тўлқин узунлигида нурни ютмаса, у бундай нурни чиқармайди ҳам ( $E_\lambda = A_\lambda \varepsilon$ , шунинг учун  $A_\lambda = 0$  бўлса  $E_\lambda = 0$  бўлади).

А.қ.ж. га тегишли яна иккита қонунни келтирамиз: **Стефан–Больцман қонуни.**

*«Абсолют қора жисмнинг тўла нур чиқариш қобилияти температуранинг тўртинчи даражасига тўғри пропорционал»:*

$$\varepsilon = \sigma T^4 \quad (13.3)$$

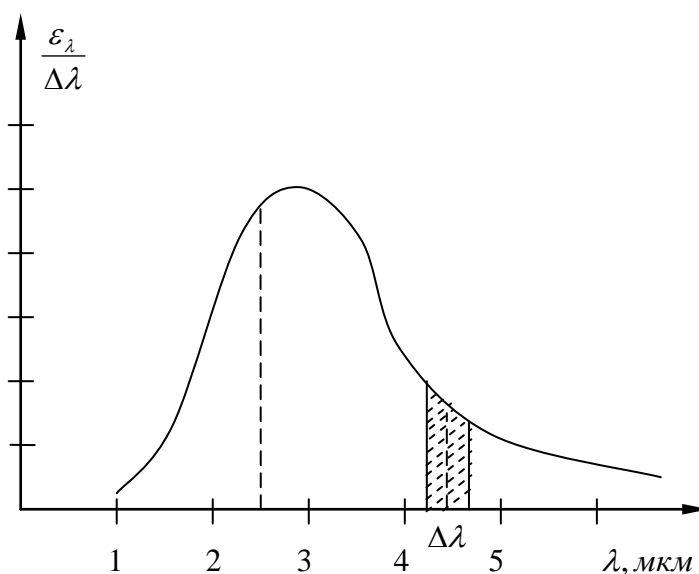
Бу қонун Стефан–Больцман қонуни деб аталади. Бу ерда  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-4}$

**Виннинг силжиш қонуни.** «Абсолют қора жисм нурютиш спектрининг максимумига тўғри келадиган тўлқин узунлиги  $\lambda_m$  унинг температурасига тескари пропорционалдир»:

$$\lambda_m \cdot T = b \quad (13.4)$$

Бу қонун Вин қонуни деб аталади  $b$  – Вин доимийси.  
 $b = 0,289 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{град}.$

Абсолют қора жисм нурлатишининг спектри экспериментда 19 аснинг охирида ўлчаган. А.қ.ж. сифатида ичи бўш ва устида кичик тешиги бўлган сфера, полировка қилинган платинали пластинка ва кўмир ишлатилди. 13.2-расмда температураси  $1260^{\circ}\text{К}$  бўлган а.қ.ж. нинг нурчиқариш қобилияти бўлиб, у экспериментда  $\Delta\lambda$  спектрал диапазонда аниқланади. Демак, график ўраб олган юза (у штрихланган) а.қ.ж. нинг тўла нурчиқариш қобилияти  $\varepsilon$  га тенг бўлади. Графикдан кўришиб турибдики, а.қ.ж. нинг  $1260^{\circ}\text{К}$  даги нурлатиш максимуми  $\lambda_m = 2,4 \text{ мкм}$  га тўғри келар экан.



13.2-расм

Стефан – Больцман ва Вин қонунлари а.қ.ж. нурлатишнинг хусусий холларини ифодалайдилар, улар а.қ.ж. нурлатадиган энергиянинг тўлқин узунлиги бўйича тақсимланиши  $\varepsilon_\lambda = f(\lambda, T)$  ни бераолмайдилар. 19 асрнинг охирларида бу функцияни назарий жиҳатдан чиқаришга уринишлар бўлди, лекин олинган натижалар тажрибага қарама – қарши бўлаверди.

**Планк гипотезаси. Планк формуласи.** Фақат 1900 йилда немс физиги М.Планк  $\varepsilon_\lambda = f(\lambda, T)$  функциянинг тўғри кўринишини топа олди. Лекин у бунинг учун фанга бутунлай янги бўлган тушунчаларни киритди. Унинг асосий фикри гипотезаси қуйидагидан иборат: электромагнит энергиянинг ютиши, нурлатиши ва тарқалиши кичик порциялар билан (квант билан) юз беради. Аввал бу жараёнлар узлуксиз равишда юз беради, деб ҳисобланган. Шундай қилиб Планк фанга квант тушунчасини киритди. Демак электромагнит тўлқинни квантлар оқими деб қараш мумкин.

Квант – бу энергиянинг кичик бўлагидир. Ҳар бир квантнинг энергияси частотага тўғри пропорционалдир:

$$\varepsilon = h\nu = h\frac{c}{\lambda} \quad (13.5)$$

Бу ерда  $c$  – ёруғлик тезлиги,  $\lambda$  - унинг тўлқин узунлиги,  $h$  эса Планк доимийси деб аталади ва у  $6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с}^1$  га тенг. Бу формула ёрдамида частотаси (тўлқин узунлиги) маълум бўлган ёруғлик квантининг энергиясини ҳисоблаш мумкин. Масалан, яшил нур учун  $\lambda = 0,55 \text{ мкм}$  деб олсак, бу нур квантининг энергияси баробар бўлади:

$$\varepsilon = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5,5 \cdot 10^{-7}} \approx 3,6 \cdot 10^{-19} \text{ Ж}$$

Иссиқлик нурланишининг квант табиатини ҳисобга олиб Планк а.қ.ж. нинг спектрал нур чиқарувчи қобилияти учун қуйидаги формулани келтириб чиқарди:

$$\varepsilon_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1} \quad \text{ёки} \quad \varepsilon_\nu = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (13.6)$$

Бу формула экспериментга тўла жавоб беради, амалда олинадиган натижалар у билан 100% мос келади. Стефан – Больцман ва Вин қонунлари ҳам шу формуладан келиб чиқади. Планк назарияси асосида А.Эйнштейн



1905 йилда ёруғликнинг фотон (квант) назариясини, 1913 йилда Н.Бор атомлар квант назариясини яратди.

### **Назорат саволлари**

1. Абсолют қора жисм деганда нимани тушунасиз.
2. Жисмнинг нур чиқариш ва нур ютиш қобилиятларини тушунтиринг.
3. Кирхгоф қонунинг ифодасини ёзинг.
4. Степан-Больцман қонунини тушунтиринг.
5. Виннинг силжиш қонунини таърифланг.
6. Планк назариясининг моҳияти нимада.
7. Планк формуласини ёзинг. У қандай хулосага олиб келади.