

**ТОПЛИННО ИЗЛЪЧВАНЕ.  
ИЗЛЪЧВАТЕЛНА И  
ПОГЛЪЩАТЕЛНА  
СПОСОБНОСТ. ПЛЪТНОСТ  
НА ТОПЛИННОТО ЛЪЧЕНИЕ.  
АБСОЛЮТНО ЧЕРНО ТЯЛО.  
ЗАКОНИ НА  
СТЕФАН-БОЛЦМАН И ВИН.  
ОПТИЧЕСКА ПИРОМЕТРИЯ.**

# I.ТОПЛИННО ЛЪЧЕНИЕ

Както отбелязахме най-универсалния метод за пренасяне на топлина (обмен на топлина) между части на една ТДС е т.нат РАДИАЦИОНЕН ОБМЕН основаващ се на факта, че всички тела излъчват и поглъщат Електро Магнитни лъчи (ЕМЛ). Така е възможен топлопренос между обекти, които се намират във вакуум.

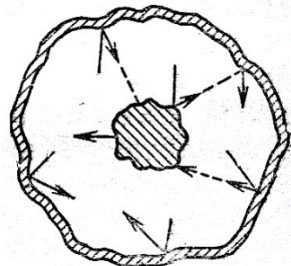
1. Топлинно лъчение: Това е електромагнитно лъчение което се излъчва от телата за сметка на вътрешната им енергия т.е. за сметка на топлинното движение на частиците изграждащи телата.

2. Особености на топлинното лъчение:

а/ то се излъчва от всички тела, които имат различна от нула температура

б/ това лъчение е електромагнитно лъчение (процес на разпространение в пространството на трептене на променливо електрично и магнитно полета, които се преобразуват едно в друго). Такава вълна може да се разпространява и във вакуум.

в/ енергията на лъчението излъчено от тялото нараства с нарастване на температурата на тялото, т.е. колкото е по-висока температурата толкова повече излъчва тялото във вид на топлинно лъчение.



г/ това е единственото лъчение което се намира в ТДР с излъчващото го тяло. Поставяме тяло в топлоизолиран от вън и идеално отражателен от вътре затворен обем който в вакуумиран. Изчаквайки достатъчно време установяваме, че температурата на тялото спира да се променя т.е. системата тяло - лъчение са в ТДР.

Това е възможно единствено ако тялото освен да излъчва и поглъща ЕМЛ като колкото излъчва толкова и поглъща. Това се нарича ПРИНЦИП НА ДЕТАЙЛНОТО РАВНОВЕСИЕ. Ако тялото излъчва повече от колкото поглъща неговата вътрешна енергия ще намалява, т.е. ще намалява неговата температура и то ще излъчва все по-малко енергия и това ще продължи дотогава докато това, което се излъчва се изравни с това което се поглъща.

д/ имаме неравномерно разпределения на излъчената енергия по честоти или дължини на вълни.

### 3. Основни величини характеризиращи процеса на топлинно излъчване:

а/ Енергетична светимост: Това е потока от енергия, които се излъчва от единица площ на тялото във всички направления. Бележи се със  $R$  и от всичко дотук казано следва, че тя зависи от температурата  $T$ .

б/ излъчвателна способност: Лъчението се състои от вълни с различни честоти като излъчената енергия не е разпределена равномерно по тези честоти. Функцията, която характеризира разпределението на ИЗЛЪЧЕНАТА енергия по честоти бележим с  $r=r(\omega, T)$  и тя характеризира потока на излъчената енергия в интервала от честоти  $[\omega; \omega+d\omega]$

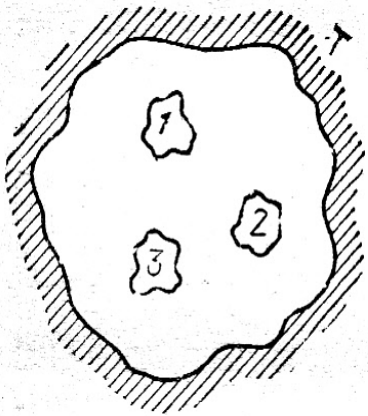
$$R(T) = \int_0^{\infty} r(\omega, T) d\omega$$

в/ поглъщателна способност: ако върху единица площ пада поток от лъчиста енергия  $d\Phi_{\omega}$  в честотен диапазон от  $[\omega; \omega+d\omega]$  то част от него се отразява а друга се поглъща  $d\Phi'_{\omega}$ . **Отношението погълнатата и падащата лъчиста енергия наричаме ПОГЛЪЩАТЕЛНА СПОСОБНОСТ** и бележим с  $g=g(\omega, T)$

г/ функция на спектрално разпределение на енергията в топлинното лъчение: След като системата лъчение - тяло е достигнала до равновесие то за лъчението може да се дефинира обемна плътност на енергията  $u=u(T)$ , което ще зависи от температурата на лъчението която е температурата на тялото. Този плътност на енергията на лъчението също е разпределено неравномерно по честоти и това се характеризира с функцията на спектрално разпределение на енергията в топлинното лъчение което ще бележим с  $u=u(\omega, T)$  като е в сила:

$$u(T) = \int_0^{\infty} u(\omega, T) d\omega$$

4. Закон на Кирхов: Нека система от  $n$  тела имащи различни температури поставени в идеално топлоизилиран и отражателен затворен обем, така че те да не се намират в контакт. След достатъчно време телата изравняват температурите си. Осъществил се е процес на пренос на топлина между



телата дори и при наличие на вакуум. Този пренос е осъществен благодарение на излъчване и поглъщане на ЕМЛ от телата. Телата и ЕМЛ в затворения обем са в ТДР. Телата са изградени от различни вещества с различна излъчвателна и поглъщателна способност. Единствената възможност за да достигнат телата до ТДР е тези, които излъчват повече и да поглъщат повече. Кирхоф доказва, че отношенията между излъчвателната и поглъщателната способност на телата са равни т.е. не зависи от какво са изградени телата:

**ЗАКОН НА КИРХОФ:** Отношението между излъчвателната и поглъщателната способност не зависи от природата на телата и **ЗА ВСИЧКИ ТЕЛА** тя е **УНИВЕРСАЛНА ФУНКЦИЯ** на честотата и температурата.

$$\left( \frac{r(\omega, T)}{g(\omega, T)} \right)_1 = \left( \frac{r(\omega, T)}{g(\omega, T)} \right)_2 = \left( \frac{r(\omega, T)}{g(\omega, T)} \right)_3 = \dots = f(\omega, T)$$

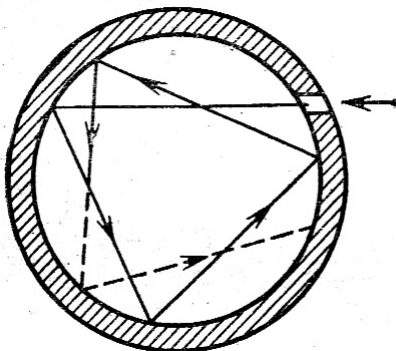
5. Абсолютно черно тяло: Това е тяло за което поглъщателната способност е единица.

$$g(\omega, T) \equiv 1$$

Това е една идеализация и в природата на се срещат такива тела. Има вещества, които в определени честотни диапазони могат да се смятат за абсолютно черно тяло (например саждите). По-важното е обаче че за абсолютно черно тяло закона на Кирхоф изглежда така:

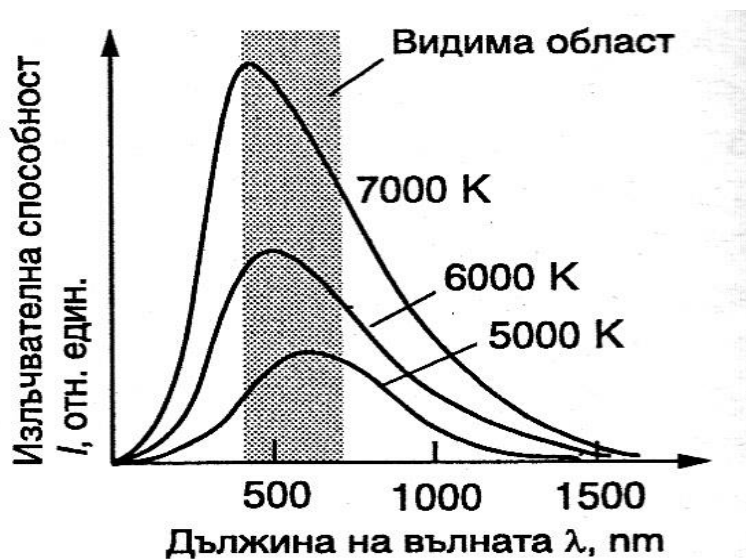
$$r^*(\omega, T) = f(\omega, T)$$

Това означава, че универсалната функция на Кирхоф  $f(\omega, T)$  е всъщност функцията на излъчвателната способност на абсолютно черно тяло.



За експерименталното определяне на зависимостта на функцията на Кирхоф от дължината на вълната се използва затворена област с малко отверстие. Лъчението прониква през отвора и излиза обратно чрез многократно отражение. При всяко отражение се поглъща част от лъчението и при многократно отражение се смята че е изцяло погълнато. Ако  $T$  на стената се поддър-

жа постоянна означава, че определената излъчвателна способност е при фиксирана температура за различни дължини на вълните. Това което излиза от отвора е лъчението излъчено от абсолютно черно тяло. Като се разложи лъчението с помоща на дифракционна решетка определяме зависимостта на функцията на Кирхоф  $\varphi(\lambda, T)$  от  $\lambda$ .



1/ кривите имат ярко изразен максимум при определена стойност на  $\lambda$  за дадена  $T$ .

2/ с увеличаване на температурата максимума се измества към късовълновата област, а максимума рязко нараства.

3/ площта затворена между кривата на излъчвателната способност и абсцисната ос определя енергетичната светимост на абсолютно черно тяло.

4/ енергетичната светимост силно нараства с нарастване на температурата.

В продължение на 30 години физиците се опитват да намерят модел на излъчване на абсолютно черно тяло, за да обяснят получените експериментални резултати като изхождат от законите на класическата механика, термодинамиката и електродинамиката.

# II. ЗАКОНИ ОПИСВАЩИ ИЗЛЪЧВАНЕТО НА АБСОЛЮТНО ЧЕРНО ТЯЛО

1. **Закон на СТЕФАН-БОЛЦМАН:** Отнася се за зависимостта на плътността от енергията на лъчението  $u(T)$  от температурата. Стефан установява експериментално, докато Болцман пресмята на базата на теоретичен анализ на базата на термодинамиката, че  $u(T)$  е пропорционално на четвъртата степен на температурата.

$$u(T) = \sigma T^4 \quad \text{където} \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

Наричаме константа на Стефан-Болцман.

2. **Закон на ВИН:** На базата на термодинамичната и електромагнитната теория доказва, че произведението от стойността на дължината на вълната, при която функцията на Кирхоф има максимум  $\lambda_m$  и температурата имат връзката:

$$\lambda_m T = b \quad \text{където} \quad b = 2,9 \cdot 10^{-3} mK$$

наричаме константа на Вин.

Човешкото око е най-чувствително за около  $\lambda = 500 nm = 5 \cdot 10^{-7} m$ . Като използваме закона Вин можем да определим каква трябва да е температурата, която трябва да има тялото, за да излъчва във видимата област:

$$T = \frac{b}{\lambda} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-7}} = 0,58 \cdot 10^4 = 5800 K$$

3. Формула на РЕЛЕЙ-ДЖИНКС: На базата на класическата физика теоретично получават функцията на спектралното разпределение на плътността на енергията на абсолютно черно тяло:

$$u(\omega, T) = \alpha \omega^2 T$$

Тогава за плътността на енергията на топлинното лъчение имаме:

$$u(T) = \alpha T \int_0^{\infty} \omega^2 d\omega = \infty!!!!$$

Това означава че равновесия между излъчващото тяло и лъчението може да настъпи при безкрайна плътност на енергията, т.е. тялото ще излъчва докато температурата му стане НУЛА, което противоречи на експеримента.

**ТОВА СЕ НАРИЧА УЛТРАВИОЛЕТОВА КАТАСТРОФА, КОЯТО ПОСТАВЯ ОСНОВАТА НА КВАНТОВАТА МЕХАНИКА.**

4. Формула на Макс Планк. Той открива 1900 г., че задачата има просто и точно решение при предположение, че телата излъчват и поглъщат енергия на порция НА КВАНТИ КОИТО ТОЙ НАРИЧА ФОТОНИ. Тези фотони имат енергия пропорционална на честотата на трептене на електрическия дипол излъчващ.

$$\varepsilon = h \nu \text{ _където_ } h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

Наричаме константа на Планк, има размерност на момент на импулса и затова се нарича още квант на действието. За излъчвателната способност на



абсолютно черно тяло Планк получава:

$$f(\omega, T) = \frac{\hbar \omega^3}{4\pi^2 c^2} \frac{1}{\exp\left(\frac{\hbar \omega}{k_B T}\right) - 1}.$$

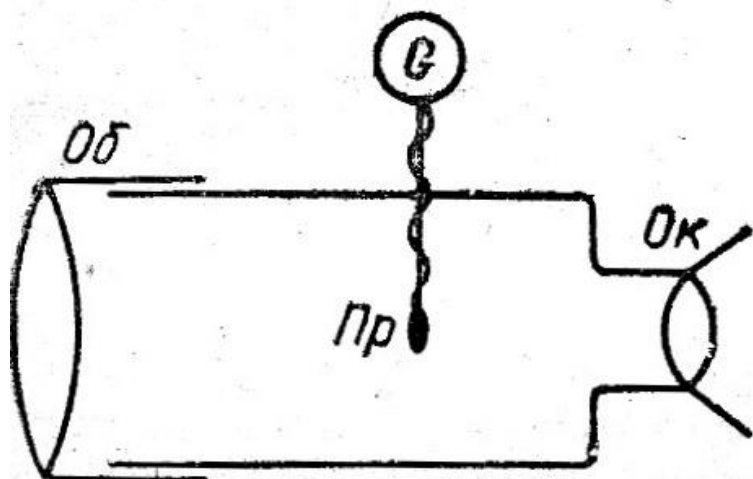
На базата на тази формула могат да се изведат всички закони и константи свързани с излъчването на абсолютно черно тяло.

# III. ПИРОМЕТРИЯ

1. Пирометрията е съвкупност от БЕЗКОНТАКТИ, НЕРАЗРУШУТЕЛНИ ОПТИЧНИ МЕТОДИ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ТЕМПЕРАТУРАТА. УРЕДИТЕ СЕ НАРИЧАТ ПИРОМЕТРИ.

2. Радиационен пирометър:

а/ принципно устройство: На корпус със специален профил имаме монтирани обектив (Об) и окуляр (Ок) посредством тях образа на тялото, на което ще се определя температурата се фокусира върху приемника (Пр), така че целия образ да пада на него. Приемника в горния си край завършва със галванометър Г.



Галванометъра е градуиран направо за определяне на радиационната температура  $T_{рад}$ . Приемника е устройство което преобразува енергитичния поток на лъчението в електрически сигнал: фото резистор, фотоумножител и др.

б/ принцип на действие: Устройството отчита каква би била температурата на тялото ако то е абсолютно черно на базата на енергитичен поток от тяло което не е абсолютно черно т.е.

$$R^*(T_{рад}) = R(T)$$

Нека с  $a_T$  означим отношението на енергитивната светимост  $R$  на тялото и  $R^*$  на абсолютното черно тяло при еднаква температура

$$R(T) = a_T R^*(T)$$

Тогава можем да запишем че

$$R^*(T_{рад}) = a_T R^*(T)$$

Като използваме закона на Стефан-Болцман горния израз ще преобразуваме така:

$$\sigma T_{рад}^4 = a_T \sigma T^4$$

Така за истинската температура на тялото имаме:

$$T = \frac{1}{\sqrt[4]{a_T}} T_{рад}$$

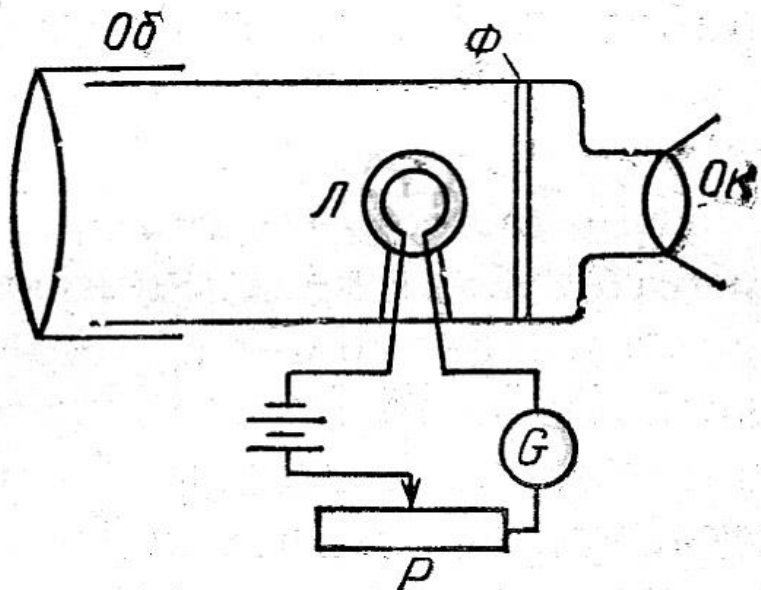
Доколкото  $a_T$  е величина по-малка от единица за нечерни тела то следва че истинската температура на тялото е винаги по-голяма от измерената радиационна.

Пример: При волфрама  $a_T=0,32$  и при истинска температура от около 3000K за радиационната температура имаме:

$$T_{рад} = \sqrt[4]{a_T} T = \sqrt[4]{0,32 \cdot 3000} = 2250 K$$

### 3. Яркостен пирометър

а/ Принципно устройство: в тяло с определен профил са поставени обектив (Об) и окуляр (Ок). Посредством тяхното юстиране лъчението попада в окуляра като на фона се фокусира и вижда образа на нагреваема жичка (Л). Посредством електрическа верига се захранва жичката която се нагрива и свети като степента на нейното загряване се определя от силата на тока, който протича през нея който променяме с реостата (Р). Галванометъра (G) е градуиран направо в температура наречена цветна  $T_{\text{цв}}$ . Този метод се нарича още "МЕТОД НА ИЗЧЕЗВАЩАТА ЖИЧКА". Светофилтър (Ф)



пропуска към окуляра само част от червения спектър

б/ Принцип на действие: Основава се на сравнение на излъчване на светещо тяло с излъчването на абсолютно черно тяло на един и същ фиксиран тесен участък от спектъра с ширина  $\Delta\lambda$ . Обичайно се използва участък лежащ в тесен участък около  $660\text{nm}$  (червената част на спектъра). Увеличаваме тока през жичката докато нейния цвят съвпадне с цвета на фона и жичката изчезне. За нечерното тяло прибора дава значение на яркостната температура  $T_{\text{ярк}}$  при която яркостта на абсолютното черно тяло за  $\lambda=660\text{nm}$  съвпада с яркостта на изследваното тяло при истинската температура  $T$ .

И тук отново яркостната температура е по-ниска от истинската  $T$ .

3. **Термофгафия:** Метод който се използва масово за определяне на топлинното излъчване на сгради или отделни елементи от тях. С помощта на специални приемници се регистрира инфрачервеното топлинно излъчване от цялата сграда или отделни нейни части като приетите сигнали се трансформират в термографски образ. На снимките площите на с по-висока температура изглеждат по тъмни или по-червени. Така може да се определят местата в сгради или помещения където топлоотдаването е голямо и да се вземат мерки за топлоизолация. Методът е много точен и позволяват да се отчитат разлика в температурите  $0.1\text{K}$ .

