

ЛЕКЦІЯ .Теплообмін випромінюванням. Основні поняття. Закони теплового випромінювання.

Теплообмін випромінюванням може відбуватися між тілами, які знаходяться на великих відстанях один від іншого(на відміну від теплопровідності, яка потребує контакту, та конвекції- яка потребує теплоносія у вигляді газу або рідини). Класичним прикладом такого явища є випромінювання Сонця на Землю. Слід відмітити, що Земля від Сонця отримує $170 \cdot 10^{15}$ Вт енергії, причому, 34% цієї кількості зразу ж відбивається від атмосфери у космос, а решта приймає участь в різних перетвореннях в атмосфері, гідросфері та на поверхні Землі – після чого, також «відбивається» в космос. При низьких температурах випромінювання суттєвого впливу на теплообмін не має, однак, при високих температурах цей вплив може бути домінуючим. Із багатьох видів випромінювання , що різняться довжиною хвилі, в теплотехніці розглядають саме теплове випромінювання, до якого належать інфрачервоний, видимий та частково ультрафіолетовий діапазони. (З видимого діапазону необхідно вилучити явище так званої люмінесценції – тобто здатності тіла випромінювати електромагнітні хвилі світлового діапазону, але не відповідно до температури тіла, а за рахунок інших причин: наприклад – цукор «світиться» в темноті, якщо його подрібнити – це явище має назву триболюмінесценції. Тут потрібно згадати і так звані лампи денного світла – люмінесцентні).

- Енергія випромінювання виникає за рахунок енергії інших видів в результаті складних внутрімолекулярних та внутріатомних процесів, обумовлених впливом температури, так як при нагріванні тіла частина енергії у виді теплоти переходить у променисту енергію. Інтенсивність такого теплового випромінювання і його спектральний склад залежать від температури T , хімічної природи і агрегатного стану тіла, що "світиться"
- Джерелом теплового випромінювання являється внутрішня енергія нагрітого тіла. І для його перебігу необхідно, щоб як мінімум двічі відбулося перетворення енергії: спочатку ВЕ тіла переходить в енергію електромагнітних хвиль (емісія), потім рух хвиль, і, нарешті, під час поглинання цих хвиль іншим тілом, відбувається перехід енергії електромагнітних хвиль у ВЕ цього тіла.
- Кількість енергії випромінювання в основному залежить від фізичних властивостей і температури тіла, що випромінює енергію. Однак, слід пам'ятати, що наряду з випромінюванням нагрітого тіла, яке «сприймається» навколишніми тілами, при цьому завжди виникає зворотній потік енергії, який випромінюється чи відбивається сусідніми навколишніми тілами і який попадає на перше тіло. І ця різниця між прямим та зворотнім потоками і являє собою теплоту, що передається випромінюванням.

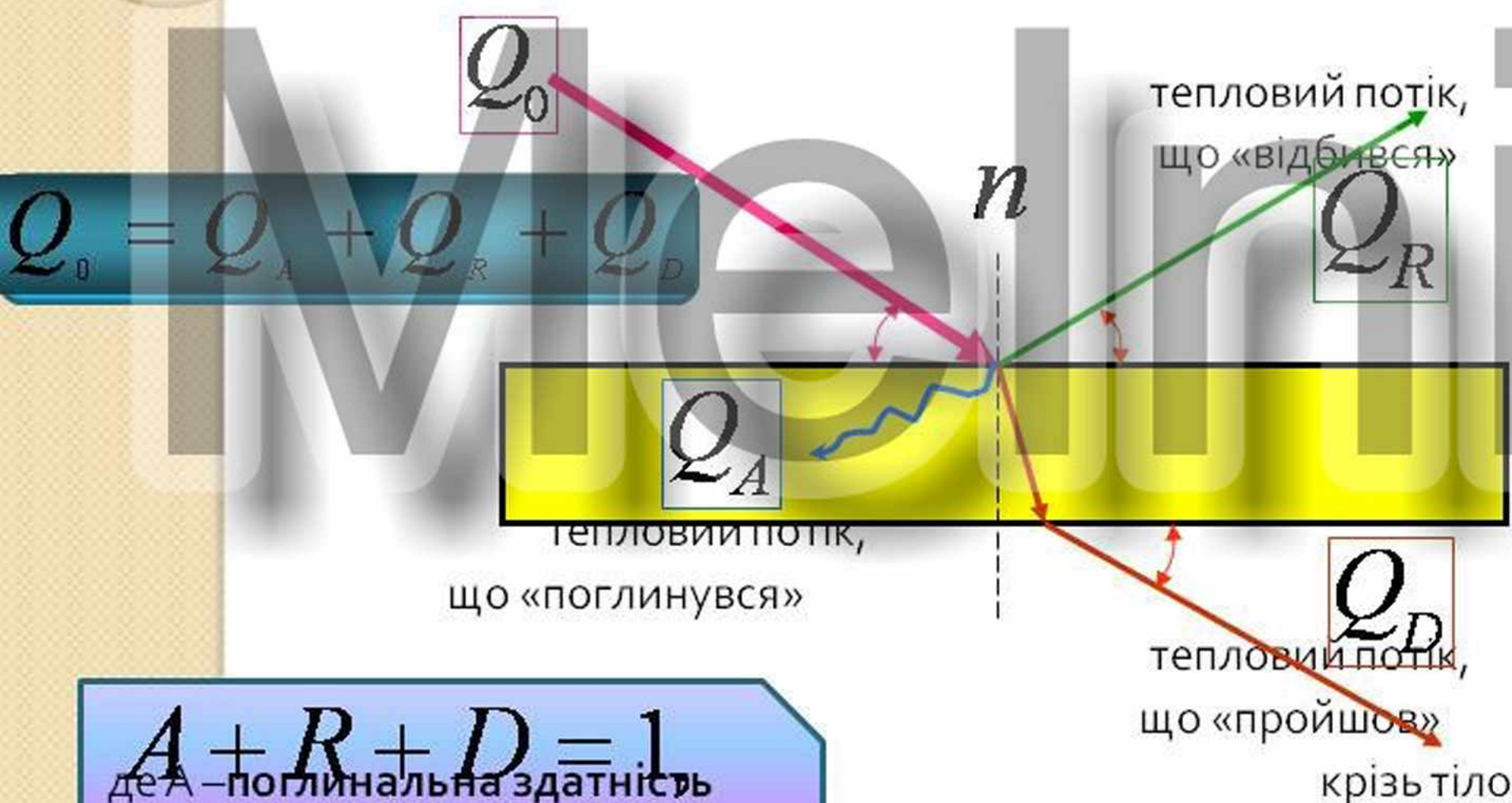
Классификация электромагнитного излучения в зависимости от длины волны

Вид излучения	Длина волны, мм	Вид излучения	Длина волны, мм
Космическое	$0,05 \cdot 10^{-9}$	Видимое	$(0,4 \div 0,8) \cdot 10^{-3}$
γ -излучение	$(0,5 \div 0,10) 10^{-9}$	Тепловое (инфракрасное)	$0,8 \cdot 10^{-3} \div 0,8$
Рентгеновское	$1 \cdot 10^{-9} \div 2 \cdot 10^{-5}$	Радиоволны	$>0,2$
Ультрафиолетовое	$2 \cdot 10^{-5} \div 0,4 \cdot 10^{-3}$		

Тепловий баланс теплового випромінювання

Кожне тіло здатне не тільки випромінювати, але й відбивати, поглинати і пропускати крізь себе падаючі промені від іншого тіла

загальний тепловий потік



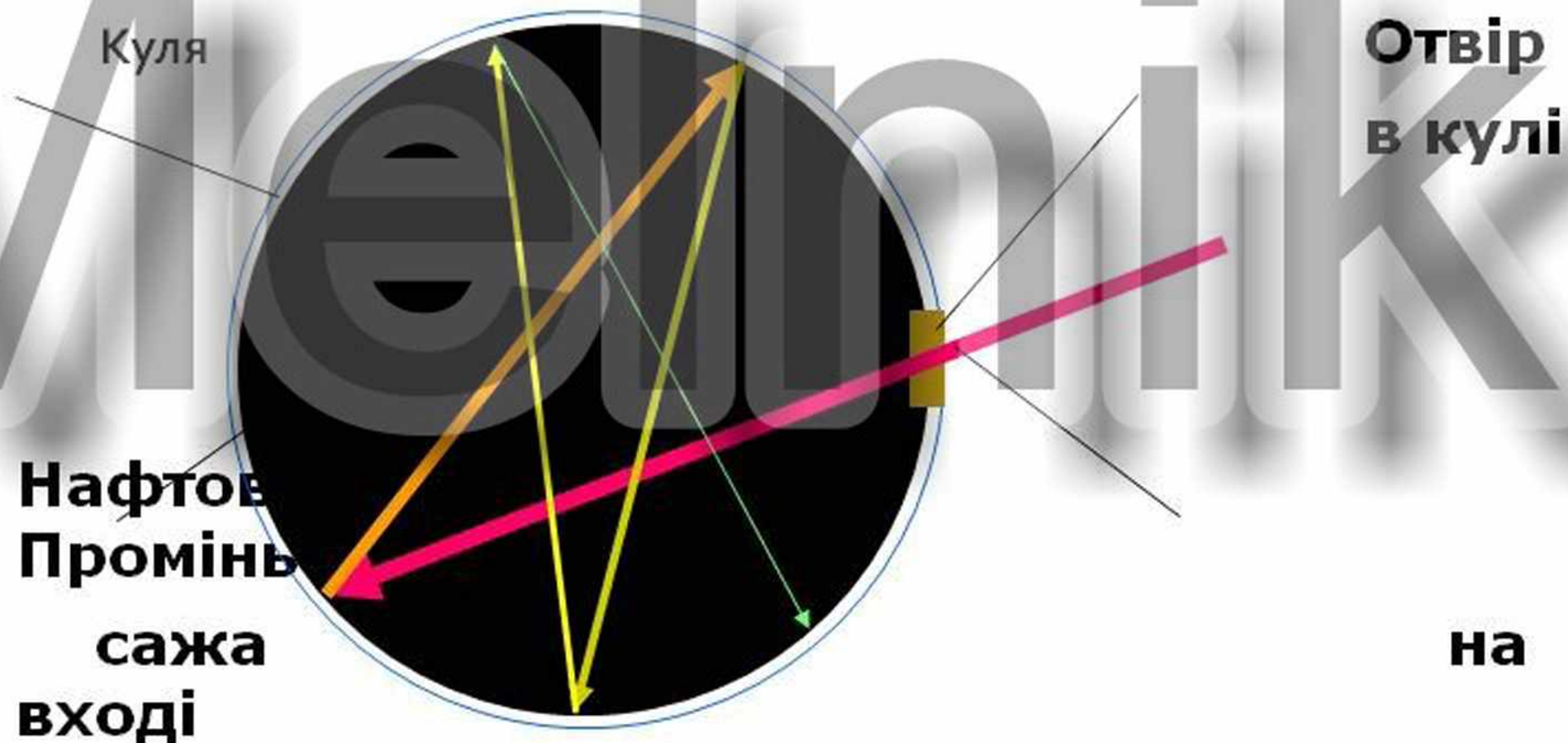
$$A + R + D = 1$$

де A — поглинальна здатність
 R — відбивальна здатність,
 D — діатермічність тіла

- Якщо $R=D=0$, а $A=1$ то таке тіло називають абсолютно чорним тілом (АЧТ) – тобто, це тіло, яке повністю "поглинає" усю падаючу енергію (назва пов'язана не з кольором, а саме із здатністю "поглинати". Наприклад, поверхня яка поглинає усі промені крім світлових не здається "чорною", хоча по променистим властивостям може бути близькою до АЧТ. Так, сніг по поглинаючій здатності ($A=0,9...0,95$, а по даним Еккерта для льоду $A=0,985$) відноситься до АЧТ, хоча має білий колір. Сонце також відноситься до АЧТ.
- Коли $R=1$ - це абсолютно біле тіло, якщо поверхня відбиває промені за законами геометричної оптики - дзеркальне і , якщо промені відбиваються дифузійно – у різні боки - дифузне. (Наприклад: полірований алюміній – дзеркальне, матовий – дифузне).
- У випадку $D=1$ тіло має назву прозорого або діатермічного. Наприклад, шар чистого сухого повітря , товщина якого кілька десятків метрів , можна вважати прозорим. Однак, при наявності у ньому навіть незначної кількості водяної пари, вуглекислоти повітря , пилу і т.п. стає напівпрозорим уже при значно меншій товщині шару (навіть < 1 м) .
- Абсолютно чорних, білих і прозорих тіл в природі не існує і тому у застосуванні до реальних тіл ці поняття умовні. Більшість рослин, технічних матеріалів та продуктів мають $A=0,8...0,95$.

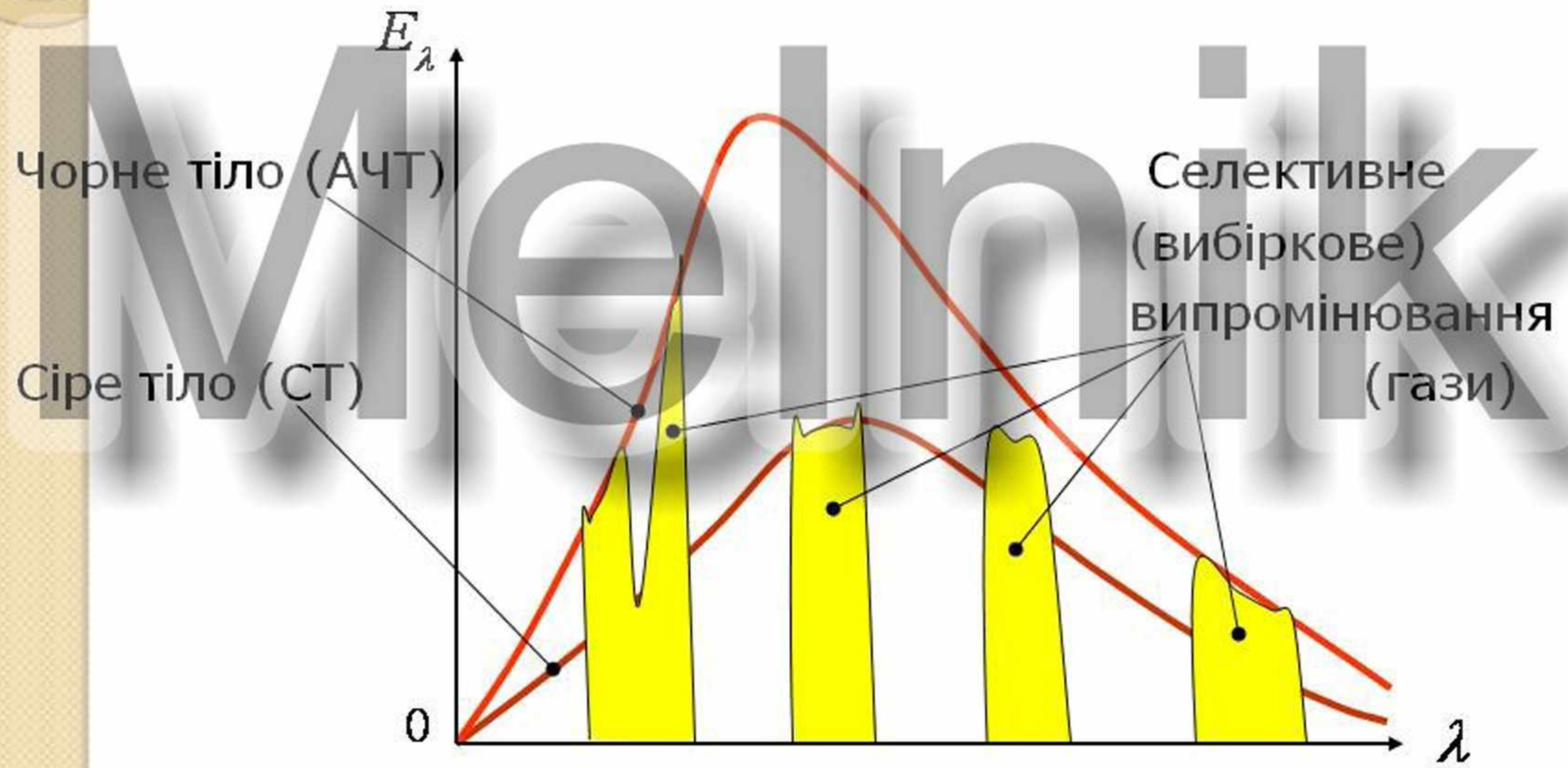
Модель абсолютно чорного тіла

Якщо $R=D=0$, а $A=1$, то таке тіло називають абсолютно чорним (АЧТ).

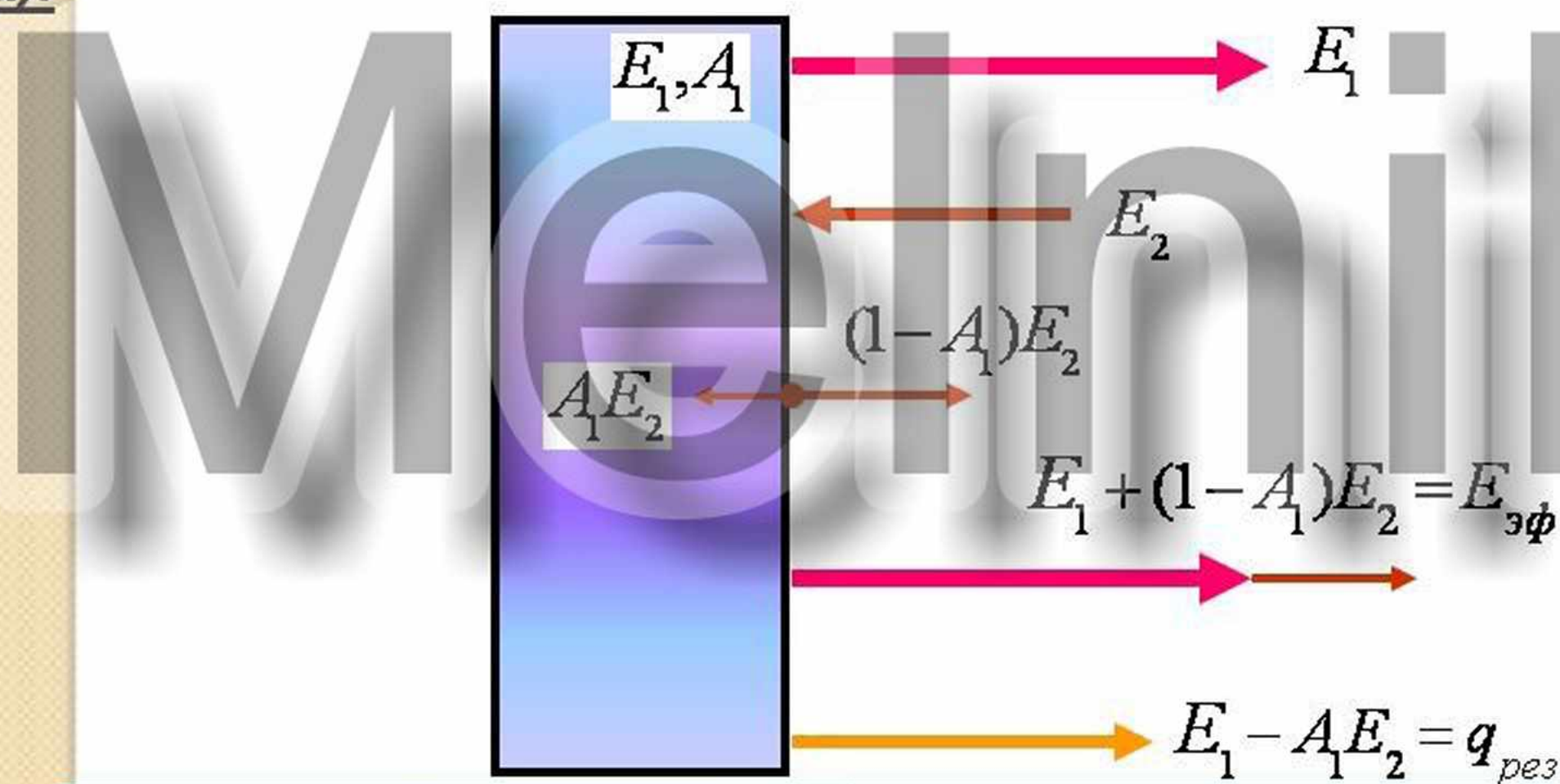


- ✖ Спектр випромінювання більшості твердих і рідких тіл суцільний (безперервний). Ці тіла випромінюють промені усіх довжин хвиль, від малих до великих. Однак, слід пам'ятати, що не всі поверхні, які мають однакову температуру, поглинають або випромінюють однакову кількість енергії. Тіло поверхня, якого випромінює та поглинає максимально можливу кількість енергії при даній температурі називають АЧТ. Крім того, в більшості твердих та рідких тіл поглинання теплових променів завершується в тонкому поверхневому шарі, тобто, не залежить від товщини тіла (і від маси тіла), а визначається повністю лише геометрією поверхні, її станом і температурою. Тобто, для таких тіл теплове випромінювання розглядається як поверхнєве явище. При чому, для провідників цей шар становить порядку 1 мкм, а непровідники, за дуже рідким виключенням, поглинають практично усі випромінювання в шарах товщиною порядку 1,27 мм.
- ✖ Товщина матеріалів, які застосовують в техніці, майже завжди більше цих величин і тому рівняння в цьому випадку може бути скорочено до виду $R+A=1$. Це рівняння вірне практично для усіх твердих та рідких тіл в інфрачервоній області.
- ✖ В газах, в силу значно меншої концентрації молекул, спектр випромінювання газів носить лінійний характер – гази випромінюють промені не усіх довжин хвиль. Таке випромінювання називають селективним і воно носить об'ємний характер.

Спектри випромінювання АЧТ, СТ(суцільний) та газів (вибірковий, лінійний)



Найбільш важливою з активних характеристик випромінювання є випромінювальна здатність тіла E – сумарна кількість енергії, що випромінюється з одиниці поверхні за одиницю часу $[E_m/m^2]$ (тобто, це випромінювання, яке “виходить” тільки за рахунок BE тіла **і визначається його температурою, матеріалом та станом поверхні, тобто, вона повністю визначається температурою і фізичними властивостями тіла**).



Суму потоків власного та відбитого тілом випромінювання називають його ефективним випромінюванням: . Воно залежить від фізичних властивостей і температури не тільки даного тіла, але й від інших тіл, що його оточують, а також від форми, розмірів і відносного розміщення їх у просторі.

Закони теплового випромінювання отримані стосовно до ідеального АЧТ і термодинамічної рівноваги.

Рівноважне (чорне) випромінювання це таке, при якому усі тіла які входять в дану випромінюючу систему, приймають однакову температуру. Теплове випромінювання носить динамічний характер: при однакових температурах кожне із тіл як випромінює, так і поглинає променисту енергію, однак в рівних кількостях.

Основним законом теплового випромінювання є закон Планка, який встановлює розподіл інтенсивності випромінювання по різних ділянках спектру довжин хвиль і її залежність від температури.



МАКС ПЛАНК
(нім. вчений, фізик,
основоположник
квантової теорії,
Лауреат Нобелівської
премії 1918р.,
1858-1947рр.)

$$E_{0\lambda} = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{c_2/\lambda T} - 1},$$

де $c_1 = 0,374 \cdot 10^{-15} \text{ Втм}^2$; $c_2 = 1,4388 \cdot 10^{-2} \text{ мК}$ – сталі Планка;

λ - довжина хвилі, м;

T - температура тіла, К;

Індекс «0» відноситься до параметрів абсолютно чорного тіла.

Закон Планка є основою для обґрунтування багатьох законів випромінювання.

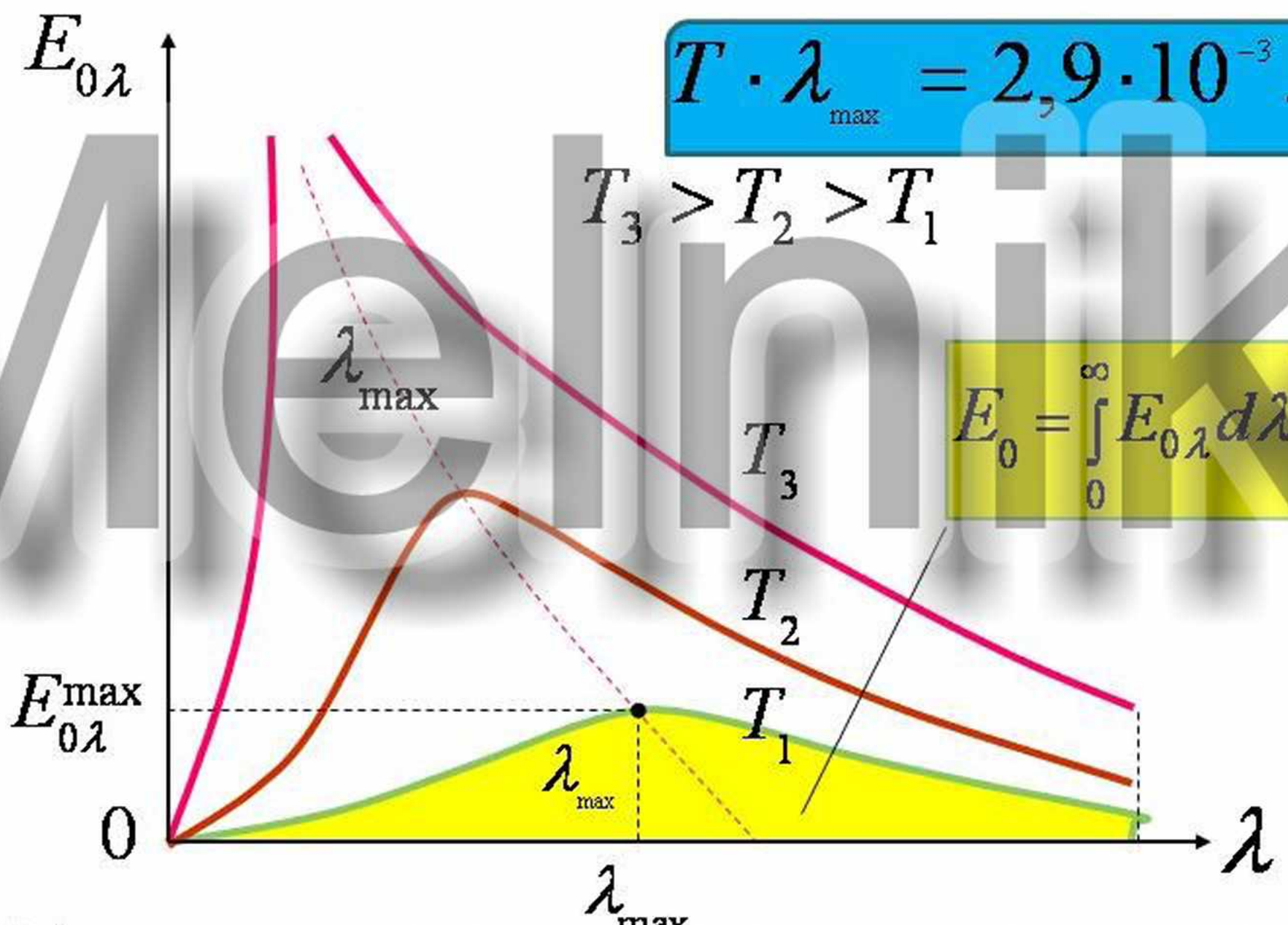


Вільгельм Він (німецький вчений, фізик, Лауреат Нобелівської Премії 1911р. (1864-1928рр.)

Закон зсунення (встановлений В.Віном у 1893р.):

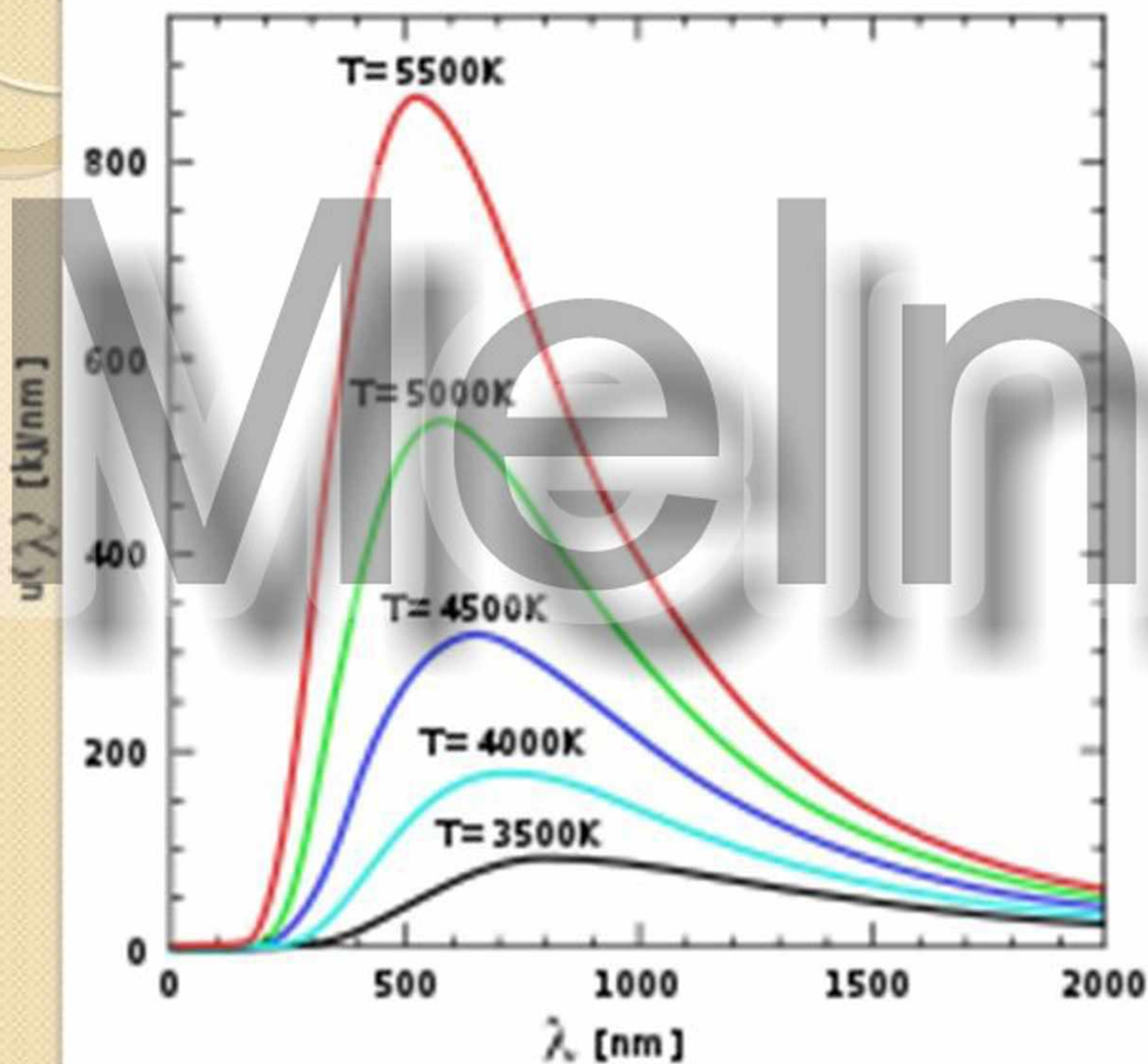
де – $\lambda_{\max}$ довжина хвилі за якої є максимальним для даної T

$$T \cdot \lambda_{\max} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$$



Звідси випливає, що з **ростом температури** максимум випромінювання **зміщується в сторону більш коротких хвиль**.

Закон ВІНА



• Закон Стефана-Больцмана



Іозеф Стефан (австрійський вчений, фізик, математик. 1835-1893рр.). Встановив цей закон дослідним шляхом в 1879р.



Людвиг Больцман (австрійський вчений, учень І.Стефана. 1844-1906рр.). Теоретично обґрунтував цей закон:

$$E_0 = \sigma \cdot T^4$$

де $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – стала Стефана-Больцмана. Строго кажучи – цей закон справедливий тільки для абсолютно чорного тіла.

- дослідами Стефана та інших дослідників було показано, що це рівняння можна використати для визначення енергії випромінювання сірого тіла $E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$ де ε - відносна випромінювальна здатність, або ступінь чорноти тіла (деколи її називають спектральною ступінню чорноти тіла і вона собою являє відношення потоку власного випромінювання до потоку випромінювання абсолютно чорного тіла при тій же температурі $\varepsilon = E/E_0$ і залежить від фізичних властивостей тіла:

- В технічних розрахунках цей закон використовують у більш зручній формі:

$$Q_{\text{пр}} = \varepsilon \cdot C_0 \cdot F [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4]$$

де $C_0 = \sigma \cdot 10^8 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ - випромінююча здатність абсолютно чорного тіла.

Величину $C = \varepsilon \cdot C_0$ - називають коефіцієнтом випромінювання сірого тіла і вона, в цілому, уже залежить не тільки від фізичних властивостей тіла, але й від стану поверхні або її шорсткості, а також від температури поверхні і довжини хвилі.

Закон Кірхгофа



Густав Роберт Кірхгоф (нім. вчений, фізик,
1824-1887рр.)

Цей закон встановлює кількісний зв'язок між енергіями
поглинання та випромінювання для АЧТ та СТ і з його

суті випливає, коефіцієнт теплового випромінювання любого
тіла в термодинамічній рівновазі дорівнює його коефіцієнту
поглинання при тій же температурі: $\epsilon = A$.

- З цього закону випливає і те, що якщо тіло випромінює енергію тільки в певній частині спектру, то воно здатне і поглинати енергію тільки в тій же частині спектра. Тому тіло, яке при даній довжині хвилі являється абсолютно білим або прозорим, при цій довжині хвилі енергію не випромінює. Крім того, з закону Кірхгофа виходить наступне: власне випромінювання тіл тим більше, чим більша їх поглинальна здатність. Тому тіла які слабо поглинають енергію – слабо її й випромінюють (але знову нагадуємо, що це відноситься тільки для однакових діапазонів довжин хвиль).