

Laboration T6 (för FYL200)

SOLABSORPTIONSKOEFFICIENT OCH EMISSIVITET

Målsättning:

- Att bekanta sig med tekniken för bestämning av absorptionskoefficienten och emissiviteten för utvalda ytbeläggningar.
- Undersöka vilka materialegenskaper hos ytbeläggningar som är mest lämpliga för solfångare.

Innehåll:

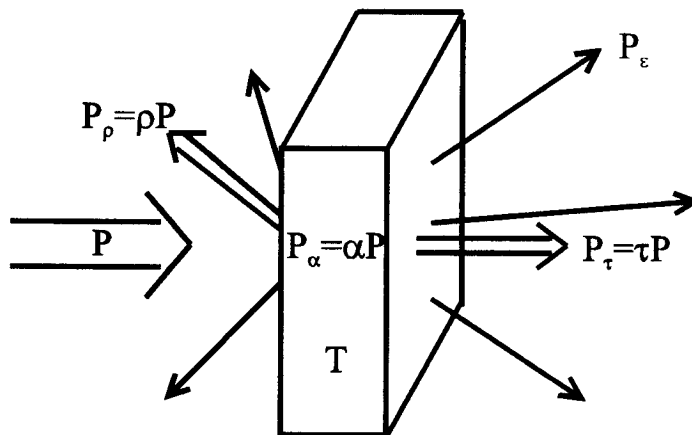
1. Introduktion
2. Spektralt selektiva ytor (solfångarytor)
3. Bestämning av solabsorptionskoefficient och emissivitet för en yta
4. Den experimentella uppställningen
 - 4.1. Provets utformning och temperaturmätningar
 - 4.2. Solsimulatorn
 - 4.3. Termoelementet
 - 4.4. Vakuum systemet
 - 4.5. Elektroniken
5. Uppgifter

Namn: _____

Godkänd den _____ av _____

1. INTRODUKTION.

Mellan en kropp och omgivningen förekommer alltid ett energiutbyte via elektromagnetisk strålning. Av den från omgivningen infallande energin absorberar kroppen en del, transmitterar en del och reflekterar resten. Dessutom emitterar kroppen själv energi till omgivningen. Tidsvariationen av kroppens temperatur bestäms därmed av skillnaden mellan absorberad och utstrålad energi.



Figur 1. P är den mot kroppen infallande effekten, P_α är den absorberade effekten, P_τ är den transmitterade effekten och P_ρ är den effekt som reflekteras av kroppen. Energikonservering kriver att $P = P_\alpha + P_\tau + P_\rho$. Dessutom strålar kroppen själv ut energi, P_ϵ , (emission) till omgivningen. Kroppens temperatur, T , förblir konstant om den av kroppen absorberade energin är lika med emitterade energin. Varken den reflekterade eller transmitterade energin har således någon direkt betydelse för kroppens energibalans.

Förmågan att emittera, absorbera, transmitta och reflektera energi beror på strålningens våglängd. Fönsterglas t.ex. är helt genomskinligt för synlig strålning och samtidigt helt ogenomskinligt för långvågig strålning, egenskaper som är mycket viktiga i alla sammanhang där växthuseffekten är inblandad.

För en given våglängd gäller följande samband:

$$\alpha + \tau + \rho = 1 \quad (1)$$

där

α = den bråkdel av den totala effekten hos den infallande strålningen som absorberas

τ = den bråkdel av den totala effekten hos den infallande strålningen som transmitteras

ρ = den bråkdel av den totala effekten hos den infallande strålningen som reflekteras.

och då kroppens temperatur är konstan gäller

$$\alpha = \varepsilon \quad (2)$$

där ε är kroppens emissivitet.

Däremot behöver inte $\alpha(\lambda_1)$ vara lika med $\varepsilon(\lambda_2)$ om $\lambda_1 \neq \lambda_2$.

Den av kroppen absorberade effekten, P_a , är således lika med

$$P_a = \alpha \cdot P, \quad (3)$$

där P är den totala effekten hos den infallande strålningen och likadant för den transmitterade och reflekterade effekten.

Effekten som strålas ut från kroppen är

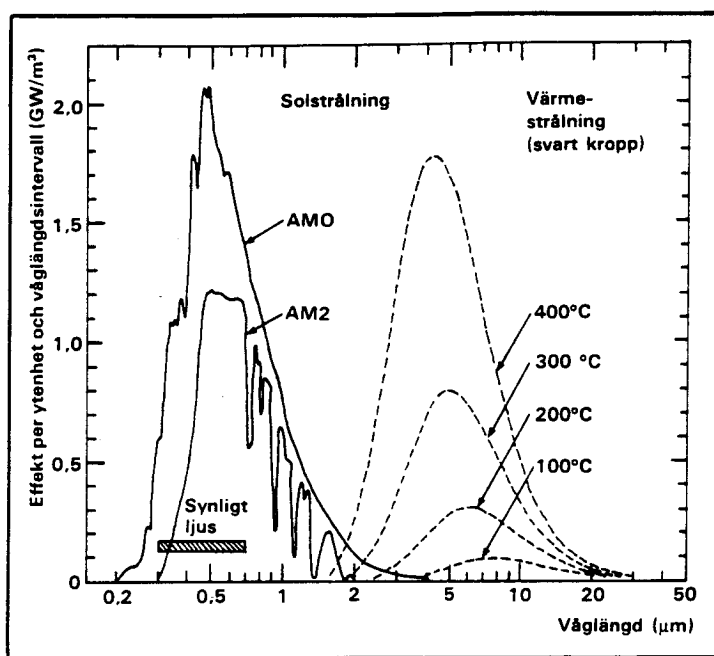
$$P_\varepsilon = \varepsilon \sigma A T^4 \quad (4)$$

där $\sigma \approx 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ är Stefan-Boltzmanns konstant, A är kroppens area, T är kroppens temperatur och ε är kroppens emissivitet.

För en svart kropp är $\varepsilon = 1$ medan för icke svarta kroppar gäller att $0 < \varepsilon < 1$.

2. SPEKTRALT SELEKTIVA YTOR (SOLFÅNGARYTOR).

Solfångare omvandlar solstrålningsenergi till energi lagrad i ett värmetransportmedium som kan vara varmvatten eller varm luft. För att denna omvandlingen skall ske utan stora förluster, måste den absorberande ytan vara spektralt selektiv, dvs ha olika optiska egenskaper inom olika delar av det relevanta våglängdsområdet. Detta kan lämpligen diskuteras utgående från figur 2.



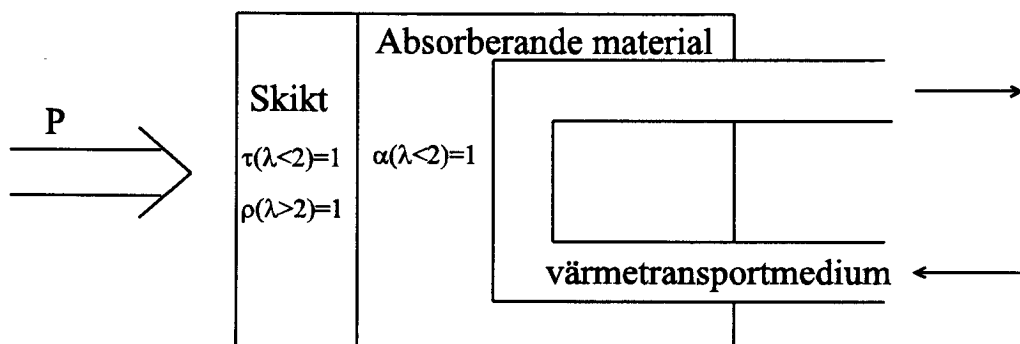
Heldragna kurvor visar solspektrum utanför jordatmosfären

Solstrålning som infaller mot jorden ligger i våglängdsområdet 0.3 till 3 μm dvs den omfattar det ultravioletta, synliga och infraröda ljuset samt en del av värmestrålningen. Den maximala intensiteten ligger kring våglängden som motsvarar det gula ljuset. Den heldragna kurvan betecknad AMO avser strålning utanför jordatmosfären. Kurvans form motsvarar ungefär ett svartkroppsspektrum för 6000° C. Vid jordytan ser spektrumet något annorlunda ut. Kurvan som betecknas AM2 avser typiska atmosfärbetingelser och solen stående 30° över horisonten.

Huvuddelen av solstrålningens ultravioletta del har nu absorberats av ozonskiktet i den övre delen av jordatmosfären. Ett antal absorptionsband, orsakade av vattenånga och koldioxid, uppträder inom det infraröda våglängdsområdet. Huvuddragen av solspektrumet kvarstår dock; den infallande strålningen ligger vid våglängder som understiger 2 μm . En solfångare skall givetvis absorbera en så stor del som möjligt av denna strålning, dvs dess absorptionsförmåga skall vara nära ett för våglängder kortare än 2 μm . Reflexionsförmågan skall således vara noll i detta intervall.

Den av kroppen absorberade energin omvandlas i värme, dvs den går åt att höja kroppens temperatur. För att den ”infångade” solenergi inte omedelbart skall strålas ut som onyttig energi till omgivningen, utan utnyttjas för upphettning av ett värmetransportmedium, måste vi kräva att emissionsförmågan är liten för termisk strålning. De streckade kurvorna i figur 2 avser svartkroppsspektra för fyra olika temperaturer. Praktiska solfångarkonstruktioner kan arbeta vid temperaturer av 100 till 200° C. Den emitterade strålningen ligger då nästan helt för våglängder som överstiger 2 µm. Inom detta intervall kräver vi att emissionsförmågan skall vara liten, dvs reflexionsförmågan skall vara stor.

De önskade optiska egenskaperna finnes inte hos något befintligt material men med hjälp av lämpligt (yt)skikt placerad framför materialet kan de åstadkommas. De mest allmänt utnyttjade skikten är reflekterande för våglängder som understiger 2 µm men är transparenta för våglängderna som överstiger detta värde.



Figur 3. En skiss över ett solfångarsystem bestående av ett skikt, ett absorberande material och ett värmetransportmedium. Skiktets egenskaper bör vara sådana att det skall släppa igenom hela det synliga ljuset, dvs $\tau(\lambda < 2\mu\text{m}) = 1$, $\alpha(\lambda < 2\mu\text{m}) = 0$, $\rho(\lambda < 2\mu\text{m}) = 0$, och reflektera tillbaka den från det absorberande materialet emitterade värmestrålningen, dvs $\rho(\lambda > 2\mu\text{m}) = 1$, $\alpha(\lambda > 2\mu\text{m}) = 0$, $\tau(\lambda > 2\mu\text{m}) = 0$. Det absorberande materialet bör i sin tur kunna absorbera all den energi som passerar genom skiktet, dvs det absorberande materialet bör karakteriseras av $\alpha(\lambda < 2\mu\text{m}) = 1$. Värmetransportmediumet värms upp vid passagen genom det absorberande materialet och levererar sedan värme antingen direkt till en konsument eller till ett värmelager. Rörledningarna som värmetransportmediet strömmar genom bör vara termiskt isolerade för att minimera värmeförlusterna på vägen.

Ett exempel på skikt med dessa egenskaper är fönsterglas som släpper igenom synligt ljus men delvis reflekterar och delvis absorberar värmestrålning. Atmosfären kring jorden är ett annat exempel på ett sådant skikt. Som solfångarytor i moderna solfångare används blanka metallytor täckta med olika typer av ytskikt. Figur 4 visar uppmätta spektrala reflexionsegenskaper hos två typer av praktiskt använda solfångarytor, den så kallade "svart nickel" respektive "svart krom". Ytorna tillverkas med hjälp av elektroplätning. På laborationen studeras en yta av "svart nickel" med egenskaper som ungefärligen överensstämmer med heldragna kurvan i figur 4.

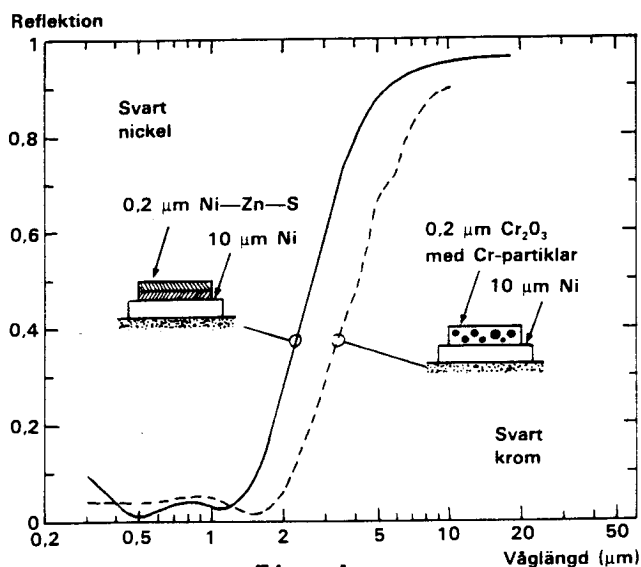


Fig. 4.

3. BESTÄMNING AV SOLABSORPTIONSKOEFFICIENT OCH EMISSIVITET FÖR EN YTA.

Antag att strålningen faller mot en metallplatta belagd med ytbeläggningen vi vill undersöka. Plattan är i en termisk kontakt med omgivningen, dvs en del av värme kan även transporteras från plattan till omgivningen via värmeledning genom både den omgivande luften och olika konstruktionsdetaljer. Antag också att vi kan mäta plattans temperatur.

Om $P_{opt} = P_{\alpha} - P_{\epsilon}$ är skillnaden mellan den absorberade och utstrålade effekten så kommer kroppens temperaturändringar beskrivas av

$$c_p m \frac{dT}{dt} = P_{opt} - P_{förl} \quad (5)$$

där

c_p är kroppens värmekapacitivet i J/kgK, m är dess massa i kg, $\frac{dT}{dt}$ är ändringen av kroppens temperatur per tidsenhet i K/s och $P_{förl}$ är effektförluster från plattan till omgivningen via värmeledning.

För att beräkna P_{opt} delar vi upp den absorberade strålningen P_{α} i två komponenter, nämligen den strålning som ligger över och under $2 \mu m$ (den förstnämnda delen består av värmestrålningen som i huvudsak kommer från omgivningen medan den sistnämnda delen inkluderar det infraröda och det synliga ljuset som ingår i solstrålningen).

Om omgivningens temperatur är T_o så kommer den från omgivningen mot kroppen infallande effekten vara lika med σAT_o^4 och den av kroppen absorberade effekten inom området $\lambda > 2 \mu m$ kommer då att ges av

$$A \sigma \alpha_v T_o^4$$

där

α_v är kroppens absorptionskoefficient för värmestrålningen.

Den absorberade effekten för $\lambda < 2 \mu m$ är

$$\alpha_s P$$

där α_s är kroppens absorptionskoefficient för i stort sätt det synliga ljuset.

Den av kroppen mot omgivningen utstrålade värmeeffekten är

$$A\sigma\varepsilon_v T^4$$

Med god noggrannhet gäller att $\alpha_v = \varepsilon_v$, varför det totala nettoeffektutbyte blir

$$P_{opt} = \alpha_s P - \varepsilon_v \sigma A (T^4 - T_o^4)$$

vilket ger

$$c_p m \frac{dT}{dt} = \alpha_s P - \varepsilon_v \sigma A (T^4 - T_o^4) - P_{förl}. \quad (6)$$

I början av experimentet då

$$T \approx T_o \text{ gäller } P_{förl} \approx 0 \text{ och } \alpha_s \approx \frac{c_p m}{P} \cdot \frac{dT}{dt}. \quad (7)$$

Om

$$P = 0 \text{ men } T \neq T_o \text{ gäller } \varepsilon_v = -\frac{c_p m \frac{dT}{dt} + P_{förl}}{A\sigma(T^4 - T_o^4)}. \quad (8)$$

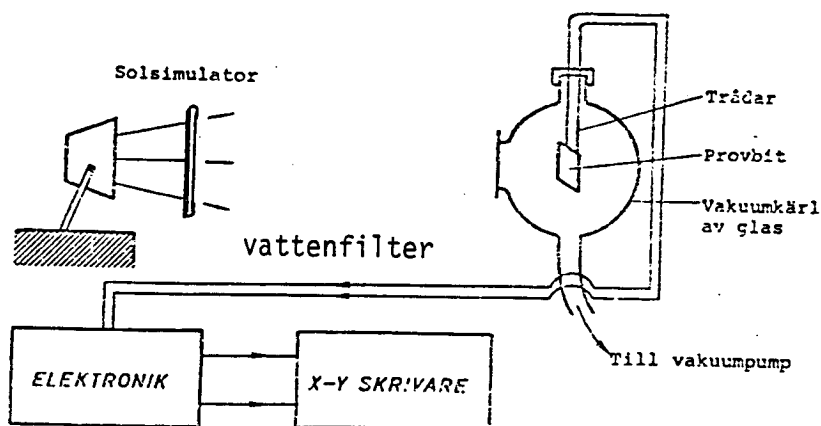
vilket motsvarar situationen mot kvällen och på natten. Vi får då bara värmestrålningsförluster från solfångarsystemet mot omgivningen. Som synes, om inga lämpliga åtgärder vidtas så kommer en solfångare att fungera på natten som en värmeljv!

Genom att studera $\frac{dT}{dt}$ i olika situationer, t.ex. när belysningen sätts på respektive stängs av, kan man alltså bestämma de för solfångarytor så viktiga koefficienterna α_s och ε_v .

4. DEN EXPERIMENTELLA UPPSTÄLLNINGEN.

4.1. Provets utformning och temperaturmätningar.

En tunn polerad aluminiumplatta belagd med ytbeläggningen som skall undersökas upphängas i tunna trådar inne i ett vakuumbärl, se figur 5. De tunna trådarna som är av koppar och konstantan bildar ett termoelement. Spänningen från termoelementet registreras som funktion av tiden, varvid man får tillgång till information om T och $\frac{dT}{dt}$. I stället för solljus användes en strålkastare med vattenfilter för att efterlikna solstrålningen.



Figur 5. Den experimentella uppställningen.

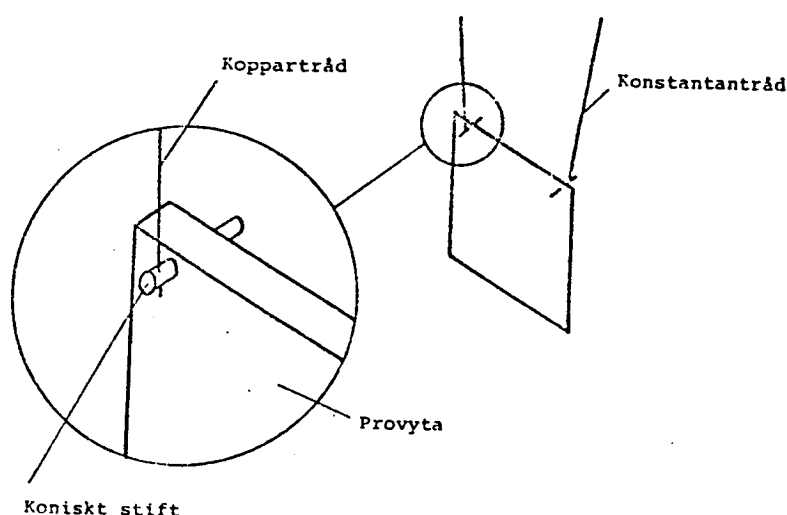
4.2. Solsimulatorn.

Som solsimulator används en bilstrålkastare med halogenlampa (45W). Ljuset från denna lampa har efter passage genom ett vattenfilter en spektralfördelning som "hyfsat" överensstämmer med solspektrum. Att vi inte lyckats få tag på någon lampa vars spektrum överensstämmer bättre med solspektrum beror helt enkelt på att det inte finns någon riktigt lämplig i marknaden trots att en "dagslampa" länge har varit något mycket önskvärt speciellt i fotobranschen.

Avståndet mellan strålkastaren och provytan har valts så att irradiansen på provytan blir ca 600 W/m^2 dvs något mindre än solstrålningen från en molnfri himmel på sommaren i Sverige infallande på en solfångare placerad 30° mot horisonten. (Den genomsnittliga instrålningen på en horisontell yta per genomsnittlig dygn och area, dvs per dag och natt, solig/molnig himmel beräknat ur värden för ett helt år och över hela jordytan, är 200 W/m^2 .)

4.3. Termoelement.

Idealt ville vi mäta temperaturen på provytan utan att påverka dess temperatur. Konstruktionen enligt figur 6 har valts för att påverka provytans temperatur så lite som möjligt.



Figur 6. Arrangemanget för temperaturmätningar.

Termoelementtrådarna fungerar alltså även som upphöjningstrådar. Eftersom metaller som ligger mellan koppartråden och konstantantråden inte påverkar spänningen från termoelementet fungerar arrangemanget som ett termoelement av type koppar-konstantan.

4.4. Vakuumsystemet.

I en solfångare orsakar luften som finns mellan absorptionsytan och frontglaset en värmeförlust som är av storleksordningen 30% av utstrålningen från en yta med emissiviteten $\varepsilon=1$ under normala driftsförhållanden. Eftersom denna siffra är osäker är det önskvärt att eliminera denna förlust när man vill mäta upp de

optiska konstanterna α_s och ε_v för en solabsorbatoryta. Det visar sig att om man sänker lufttrycket till ca 10^{-4} mbar blir värmeförlusten från ytan p.g.a. resttrycket försumbar relativt värmeutstrålningen. I vårt fall används ej diffusionspump utan vi nöjer oss med en förvakuumpump varför värmeförlusten ej är försumbar.

4.5. Elektroniken.

Elektronikens uppgift är att ge signalspänning till en y-t skrivare. Termoelementet ger en spänning som ökar med temperaturen. För att kunna mäta temperaturen behöver denna spänning i princip bara förstärkas. Förstärkaren är av en speciell typ avsedd för termoelement (fabrikat Pentronic). Den kan registrera spänningar av storleksordningen $0.1 \mu\text{V}$ vilket motsvarar c:a $\frac{1}{400}$ K i temperatur. Observera att förstärkaren har inbyggd nollpunkt. Någon yttre referens krävs således ej.

5. UPPGIFTER

Uppgift 1

Bestäm α_s och ε_v för en utvald ytbeläggning.

Ordningsföljden för mätproceduren är följande:

1. Irradiationen bestäms på provets plats med hjälp av radiometer. Följ assistentens instruktioner för hantering av radiometern.
2. Provet sätts på plats och pumpningen startar.
3. y-t skrivaren inkopplas.
4. När trycket sjunkit till ca $6 \cdot 10^{-2}$ mbar startas y-t skrivaren och sedan strålkastaren och mätningen börjar.
5. Efter ca 10 minuter släcks lampan och skrivaren får fortsätta under ytterligare ca 10 minuter.

Uppgifter Du behöver:

- a. Värmeledningen genom resterande luften blir ca $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ (obs även från baksidan).
- b. $c_p = 890 \text{ J/kgK}$ för aluminium.
- c. Provytornas vikt finns angiven på proven. Dimensionerna uppmätts med sjutmått.

Uppgift 2a. En metallkub har fyra sidor belagda med olika material. Fyll kuben med hett vatten och studera utstrålningen med hjälp av radiometern. Använd den magnetiska omröraren.

<u>Yta</u>	<u>Temperatur</u>
-----	-----
-----	-----
-----	-----

Kommentar:

.....
.....

b. Två glasbehållare försedda med vattenmanometrar är vit- respektive svartmålade. Utsätt behållarna för värmestrålning från glödlampa.

Resultat:

.....
.....

Kommentar:

.....
.....
.....
.....

c. Två aluminiumburkar är respektive svart- och vitmålade. Fyll burkarna med hett vatten (avläs temperaturerna) Studera avsvlnandet.

Resultat:

.....
.....

Kommentar:

.....
.....
.....
.....

Table 1
TYPICAL EMISSIVITIES

METALS

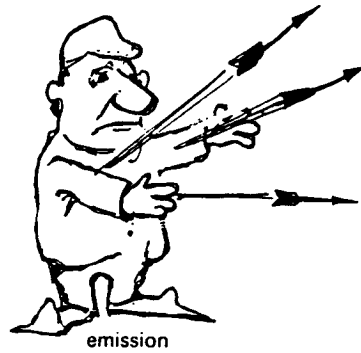
Aluminum, oxidized	.60
Brass, polished	.50
Brass, oxidized	.60
Copper, oxidized	.65
Iron, Cast, polished	.25
Iron, Cast, Oxidized	.70
Iron, wrought	.94
Steel, oxidized	.75
Steel, Plate, rough	.95
Aluminum, polished	.04

FINISHES

Aluminum Paint	.55
Bronze	.80
Gloss Paint, any color	.90
Dull Paint, any color	.95

OTHER

Asbestos	.94
Brick	.90
Lampblack	.95
Paper, any color	.95
Plastics, opaque, any color	.90
Rubber, any color	.95



Kirchoff's law. The upper figure absorbs half the incident radiation. (The lower black body absorbs it all.) The upper figure thus emits half what the black body emits