

Epäpuhtauksien diffuusio ja kuljetus

Epäpuhtauksia:

Hiukkasia eli aerosoleja: noki, tuhka, sulfaattipartikkelit

Kaasuja: rikkidioksidi, metaani, hiilivedyt, typen oksidit, metyylimerkaptaani

Syntyä: teollisuudessa, liikenteessä, lämmityksessä (ylipäättään fossiilisten polttoaineiden poltossa), maataloudessa, myös kasvillisuudesta

Miten epäpuhtaudet kulkevat tuulen mukana (advektio) ja sekoittuvat turbulenssin takia (“diffuussio”)

Tähän vaikuttaa tuuliolosuhteet:

tuuliväanne, alustan rosoisuus, stabiilisuus,

myös paikalliset rajakerrosilmiöt (merituulisolut, kaupunkisolot)

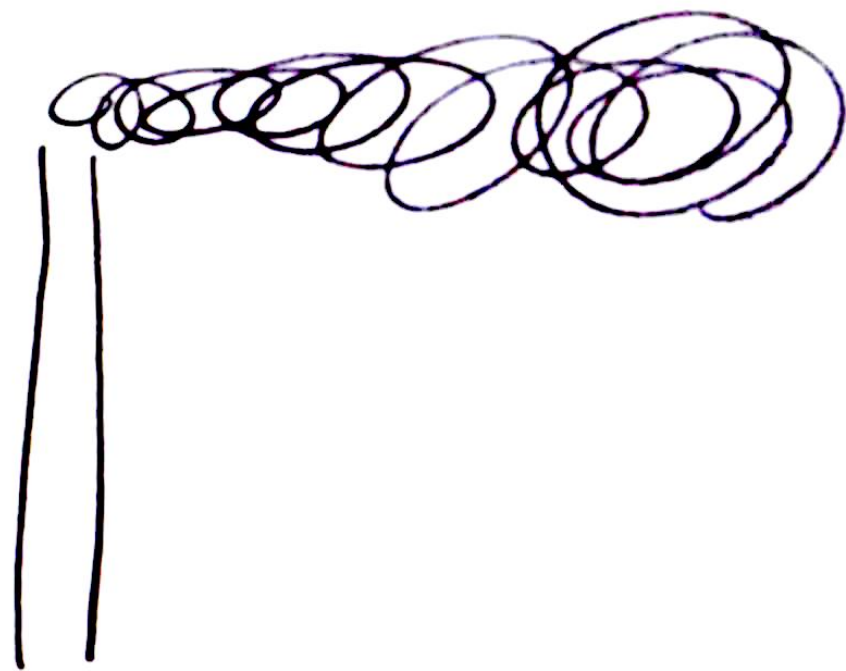
Jos on:

Heikko tuuli: epäpuhtaudet eivät kulkeudu pois vaakasuunnassa

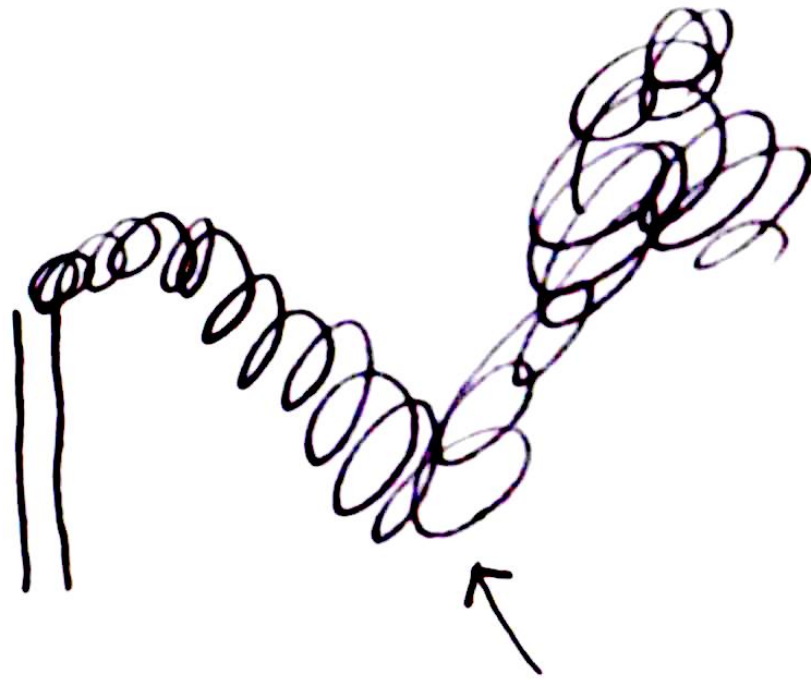
Stabiili kerrostuminen: eivät myöskään sekoitu pystysuunnassa

Tuulen heikkous (vähemmän mekaanista turbulenssia) yhteessä stabiilin kerrostumisen kanssa edelleen vähentää myös turbulenttista sekoittumista

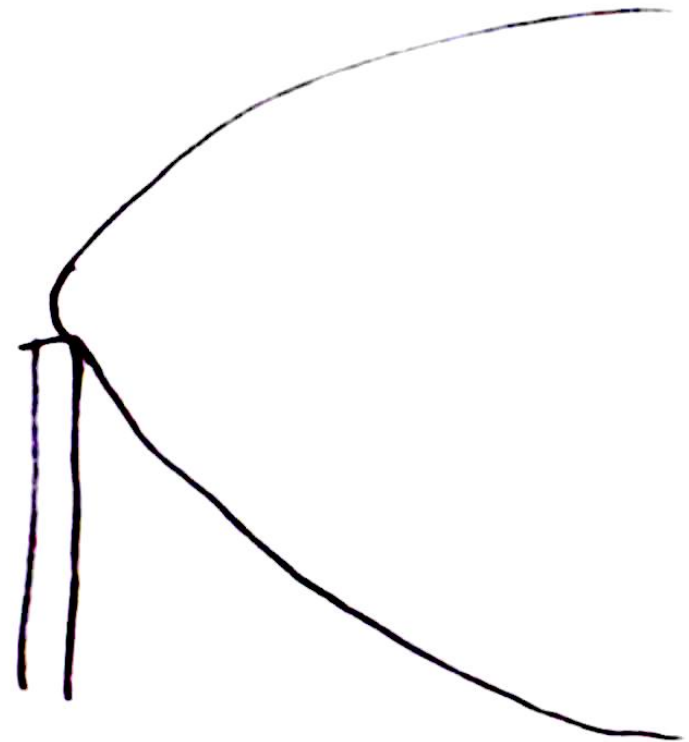
Stabiili



Konvektio (epästabiili)



Hetkellinen



aika kestävä

Yläinversio

3



Kulkeutumisen mallintamisesta

4

$C = \bar{C}$ = hiivenaineen pitoisuus

$$\begin{aligned}\frac{\partial C}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla C &= S - \frac{\partial}{\partial x} \overline{C'u'} - \frac{\partial}{\partial y} \overline{C'v'} - \frac{\partial}{\partial z} \overline{C'w'} \\ &= S + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right)\end{aligned}$$

$$C = C(x, y, z, t)$$

Termi S sisältää kaikki c:n lähteet ja nielut

- päästölähde
- kaasu-hiukkanen-muuntuma
(esimerkiksi rikkihappo kerääntyy pisaroihin)
- isojen hiukkasten painovoimainen putoaminen
eli sedimentaatio
- radioaktiivinen hajoaminen
- märkäpoistuma sadepisaroiden huuhtomana
(erityisesti hiukkasille)
- kuivadepositio maan pinnassa

Analyttinen malli

$u(z)$, ~~$v(z)$~~ , ~~$w(z)$~~ , $\theta(z)$, $q(z)$

profiilit saadaan stabiilisuudesta

$$K = K_h = (kz)^2 \frac{\partial u}{\partial z} f_h(R_i)$$

(prujū: $K_z = K_h$, $K_x = K_y = 5 \text{ m}^2/\text{s}$)

$$\vec{V} \cdot \nabla C = (u, 0, 0) \cdot \left(\frac{\partial C}{\partial x}, \frac{\partial C}{\partial y}, \frac{\partial C}{\partial z} \right) = u \frac{\partial C}{\partial x}$$

Numeerinen malli

u, v, w - yhtälöt
 θ - yhtälö
 η - yhtälö

} 1D tai 3D

$$\frac{\partial C}{\partial t} + V \cdot \nabla C = S + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right)$$

Jos kertoimet K laitetaan vertikaaliksi:

7

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = S + K_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}$$

tässä on kyse diffusioyhtälöstä

$$\left[\frac{\partial C}{\partial t} = K \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right] \quad \text{tai} \quad \left[\frac{\partial C}{\partial t} = K \nabla^2 C \right]$$

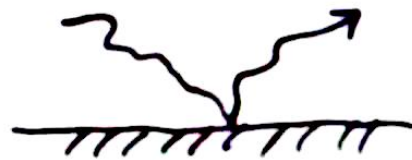
liikkuvassa koordinaatistossa

Eli: lähellä lähdeettä oletetaan:

tuuli u
vaihtokertoimet K } vakioita

ei nielujä

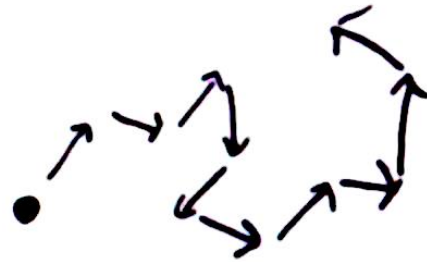
maanpinta "heijastava"



Hienan matkatiikka

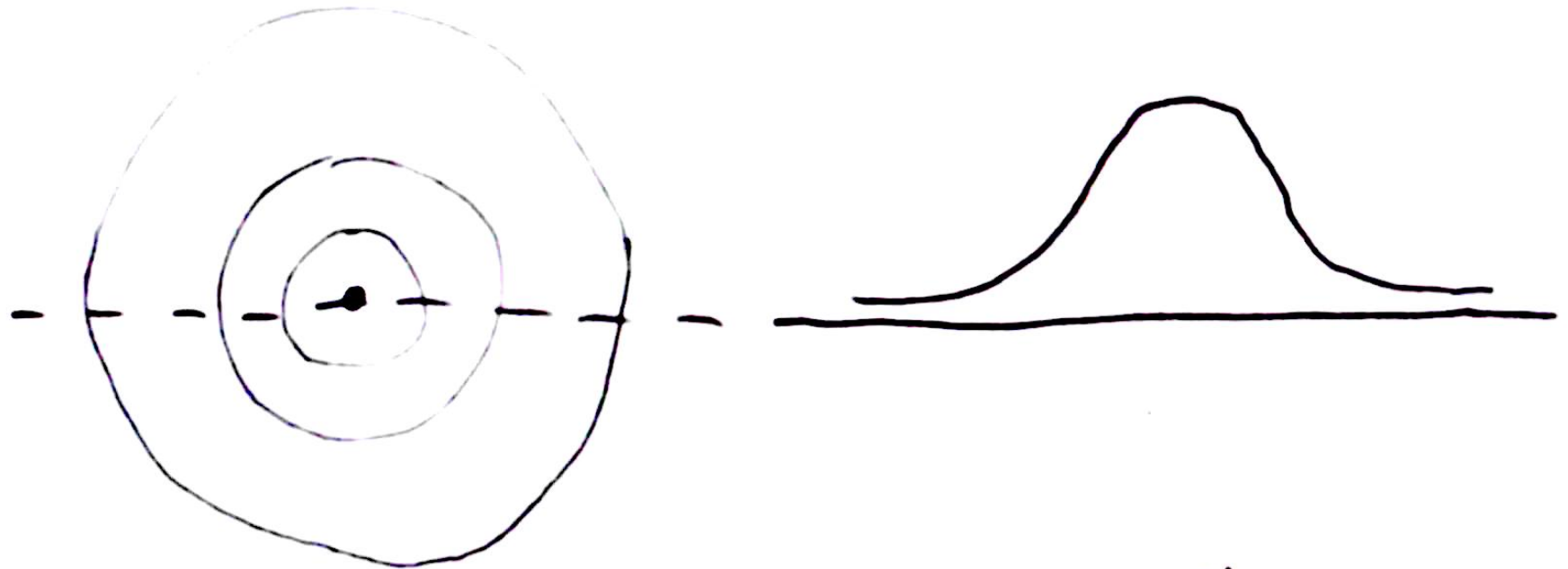
Robert Brown 1827

Brownin liike:



TN-jakama useiden askelten jälkeen: 10

2D-normaali-jakama

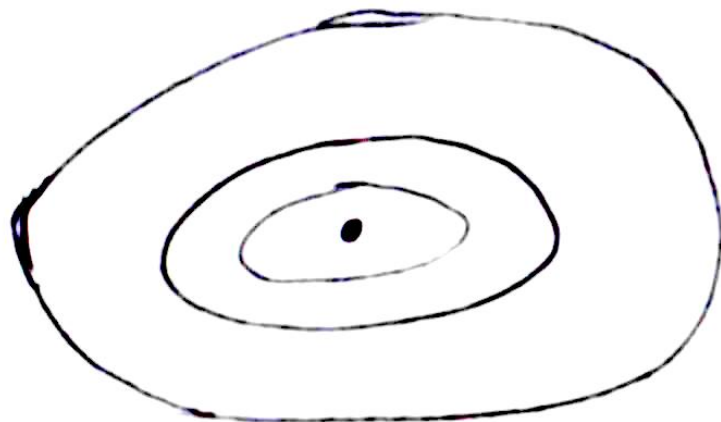


Sama ratkaisu pistelähteestä alkaneelle
diffusioyhtälölle

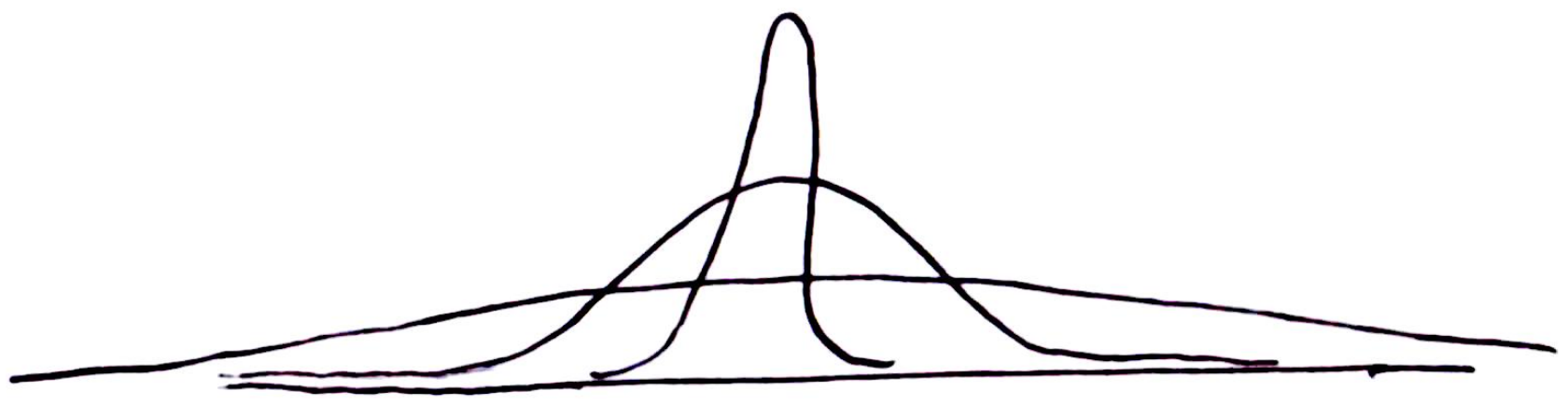
Askelkoko/diffuusiokerroin eri suuntiin

||

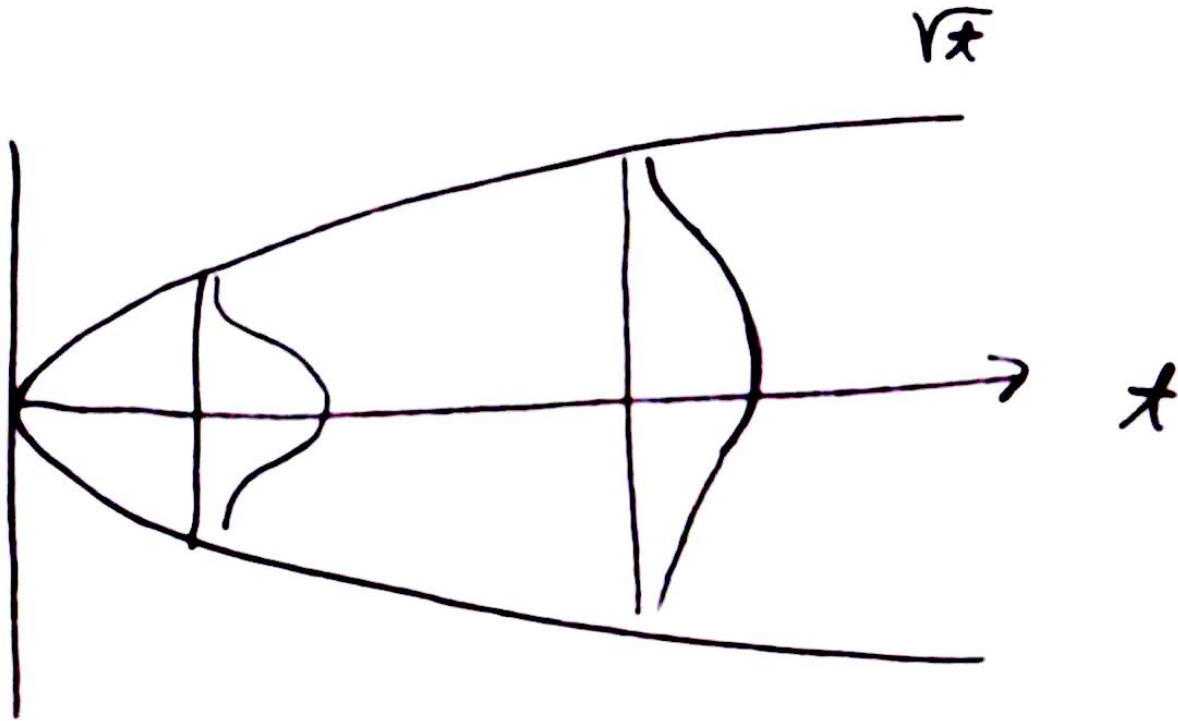
voi olla erilainen:



Diffusioyhtälön ratkaisu on ajan mittaan
levevä normaali-jakauma:



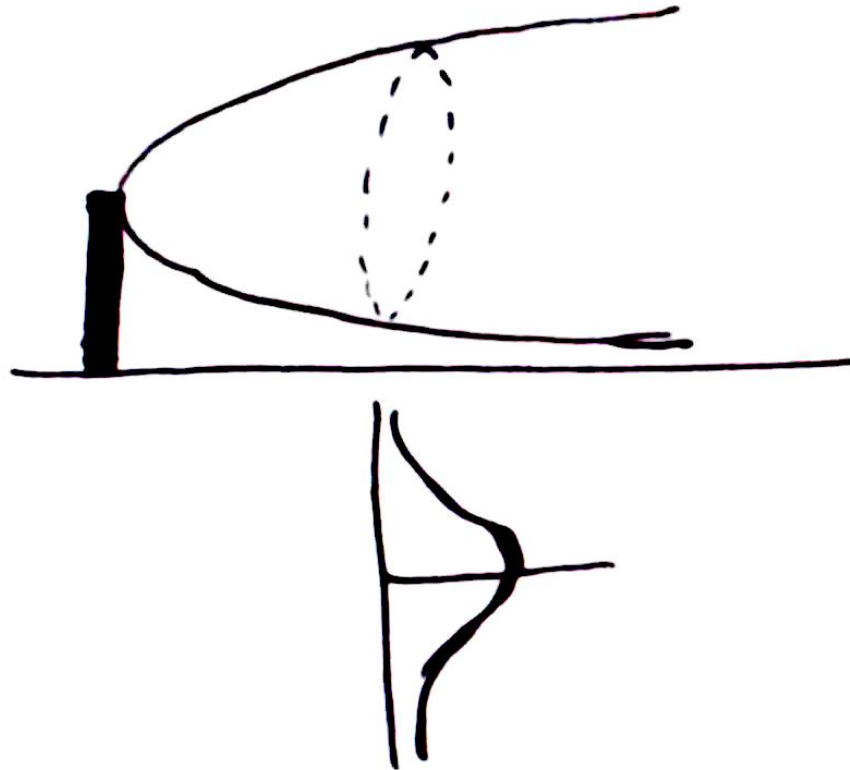
Leveys = hajonta kasvaa $\sim \sqrt{x}$



Ratkaisuksi; tulisi:

14

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \sigma_y \sigma_z u} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} e^{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}}$$



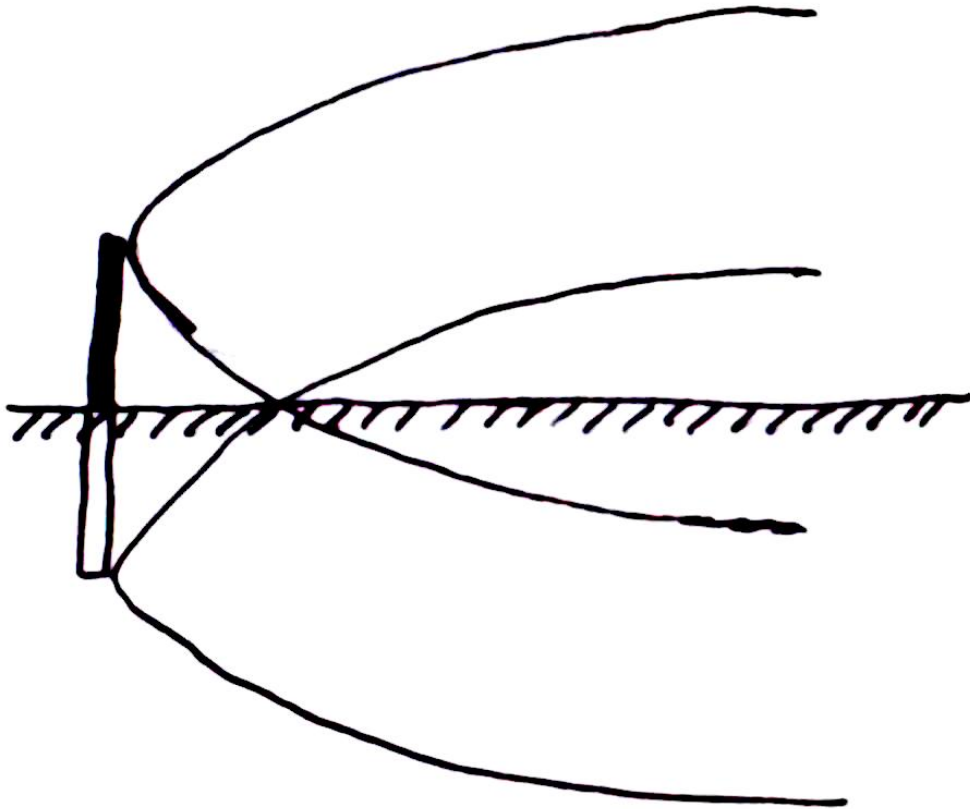
Heijastuma maanpinnasta

15



(Heijastuu, jos ei kuivadepositiota)

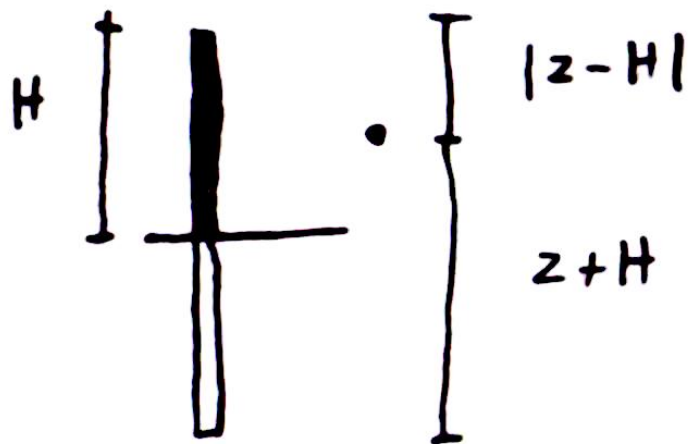
Heijastuma voidaan ajatella
peilikuvan lähteenä:



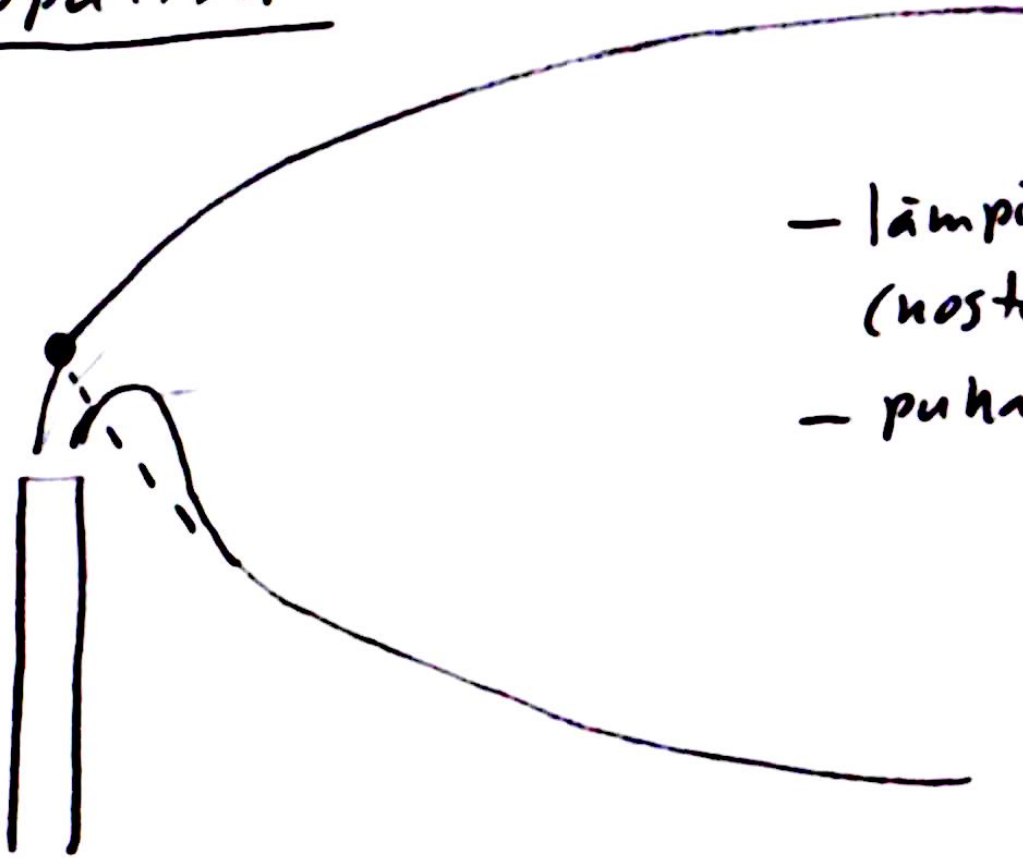
Saadann "Gaussian plume" kaava:

17

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \left[e^{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}} \right]$$



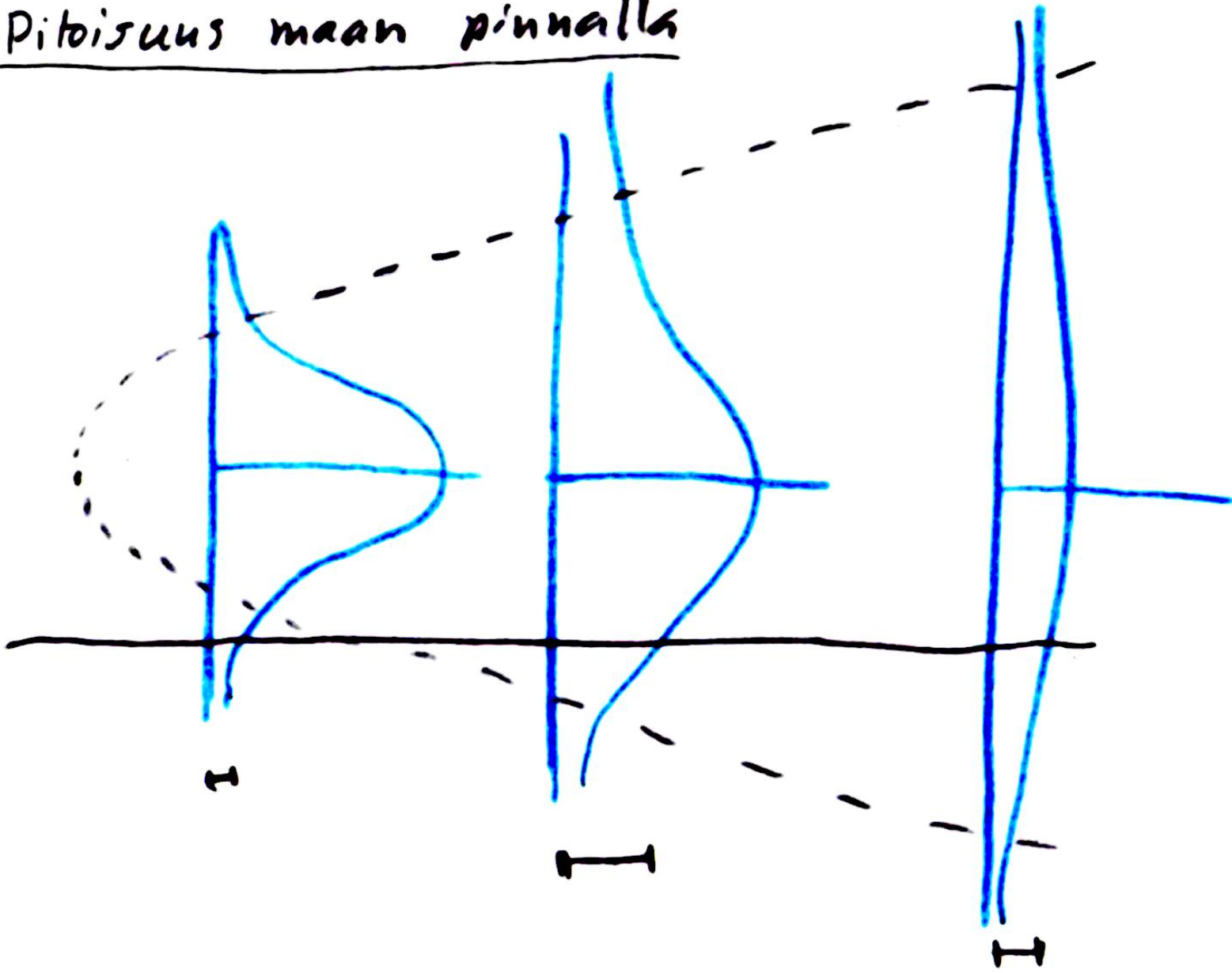
Piippulisa



- lämpötila
(noste)

- puhallusnopeus

Pitoisuus maan pinnalla



Hajonnat σ_y, σ_z riippuvat stabiilisuudesta ²⁰

Gaussin vanamalli käytökelpoinen

- yksittäisille lähteille, useillekin
- alle 5 km etäisyyksillä

Myös hetkellisille päästöille

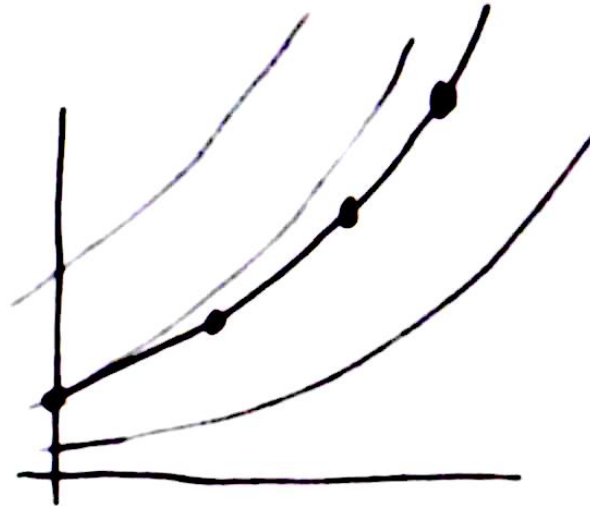
"gaussian puff"

ja viivamaisille, "gaussian line plume"

Kauko kulkeutuminen

Jos aine leviää rajakerroksen yläpuolellekin
Suuren mittakaavan ilmakehämallit

Ainemäärän säilyttävät numeeriset
menetelmät



$$\frac{Dc}{Dt} = (1 - \alpha) \frac{Q}{h} - k_x c - \left(\frac{V_d}{h} + k_w \right) c$$

$$\frac{Dc'}{Dt} = \frac{Q'}{h} + k_x c - \left(\frac{V_d'}{h} + k_w' \right) c'$$

c = rikkidioksidi

c' = sulfaatti tuotteet

Q
 Q' } päästönopeus

h = rajakerroksen korkeus

V_d, V_d' = kuiva poistuma

α = lähi laskeuma

k_w, k_w' = märkä poistuma

k_x = kemia $c \rightarrow c'$

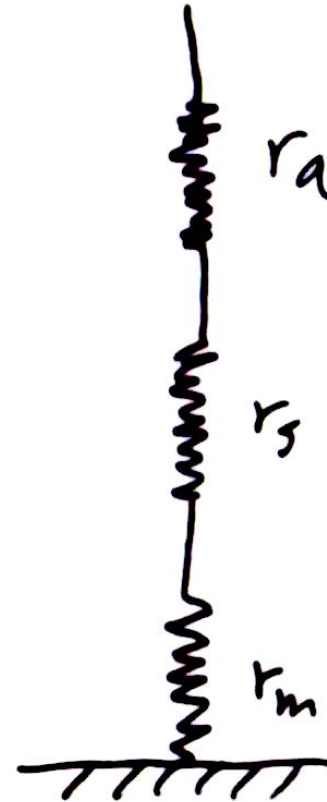
Kuiva poistuma maanpinnasta

konduktanssi = $\frac{1}{r}$

molekulaarinen
resistanssi r_m

kasuston
resistanssi r_s

aerodynaaminen
resistanssi r_a



Tentti

Torstaina 16.10 klo 15-19

Exactum, CK 112 (kerros -1, keskisiipi)

Tenttiin mukaan:

- **laskin** (voi tarvita)
- pruju, muistiinpanot, kirjoja

myös musiikkisoitin on sallittu, jos on absoluuttisen varmaa ettei kuulokkeista vuoda ääntä
(plugikuulokkeet, suljetut kuppikuulokkeet)