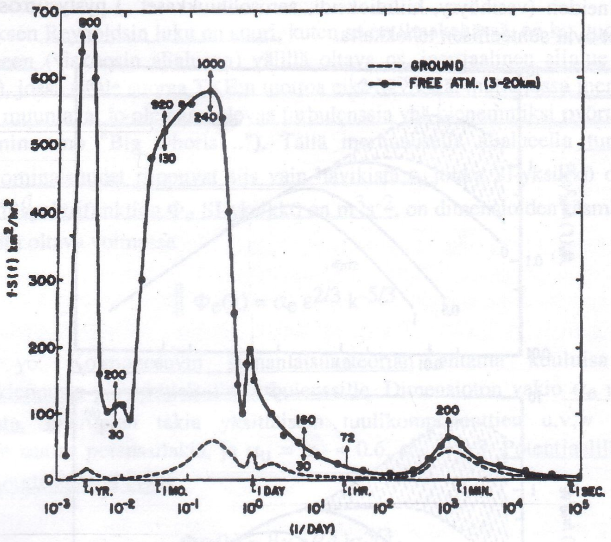
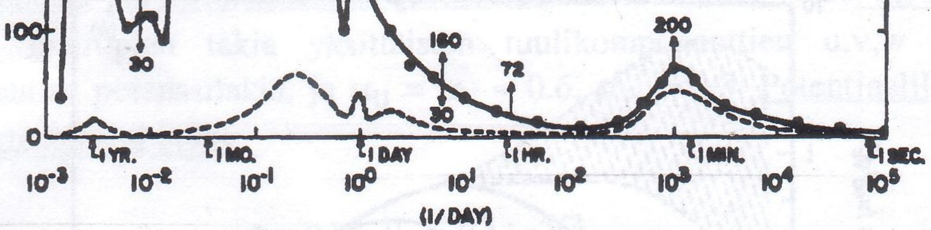
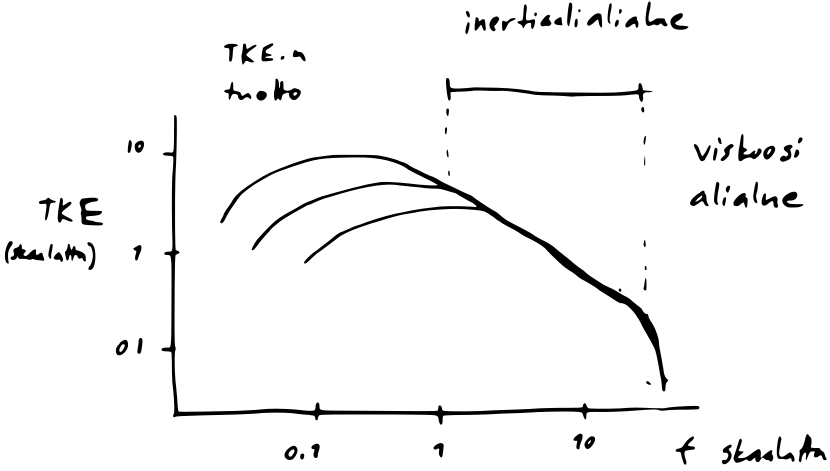


Kuva 6. Itä-länsisuuntaisen tuulen liike-energian spektri pintakerroksessa (katkoviiva) ja vapaassa ilmakehässä (yhtenäinen viiva) Brookhavenissa mitattuna (Vinnichenko, 1970).


100
0
30
160
30
72
200
1 YR.
1 MO.
1 DAY
1 HR.
1 MIN.
1 SEC.
10^{-3}
10^{-2}
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
10^{2}
10^{3}
10^{4}
10^{5}
(1/DAY)

Energiakaskadi



Kolmogorovin samanlaisuusteoria

näytteitä sekunnissa

kesk. tuuli

aaltoluku $k = \dfrac{n}{2\pi U}$ (2π pois)

TKE-spektri $\Phi(k) \sim \epsilon^{2/3} \, k^{-5/3}$

$[TKE] = \dfrac{m^2}{s^2}$ $\qquad [\epsilon] = \dfrac{m^2}{s^3}$

$[\Phi] = \dfrac{m^3}{s^2}$

$$\left(\frac{m^2}{s^3}\right)^{2/3} \left(m^{-1}\right)^{-5/3} = \frac{m^{4/3}}{s^2} \, m^{5/3}$$

$[k] = \dfrac{1}{m}$

$$= \frac{m^{9/3}}{s^2} = \frac{m^3}{s^2}$$

Paitsi u, tai u' jne. aikasarjoille,
myös aikasarjoille $w'u'$, $w'\theta'$ jne.
voidaan tehdä Fourier/spektrianalyysiä.

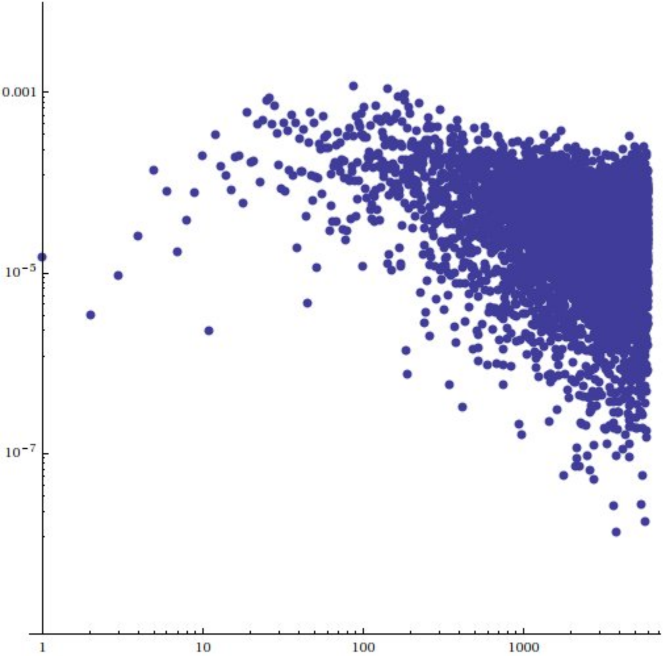
Tällöin spektrin energia ei ole oikeaa,
fysikaalista, energiaa.

$w'u'$ isot pyörteet siirtävät
$w'\theta'$ $w'q'$ pienetkin siirtävät

TKE-yhtälö voidaan kirjoittaa spektrimuodossa

$$TKE(k) = T + S + B + Tr - \epsilon$$

kuljetus taajuudelta toiselle



0.001
10^{-5}
10^{-7}
1
10
100
1000

Ekman-spiraali

Lähdetään liikkeelle rajakerrosyhtälöistä

$$\frac{\partial}{\partial t} u = f(v - v_g) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K \frac{\partial u}{\partial z}\right)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} v = -f(u - u_g) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K \frac{\partial v}{\partial z}\right)$$

$K = K_m$

$u = \overline{u}$

$v = \overline{v}$

Oletetaan:

ajallisesti vakio: $\frac{\partial}{\partial t} = 0$

horisontaalisesti homogeeninen, $\frac{\partial}{\partial x} = 0$, $\frac{\partial}{\partial y} = 0$
(on jo oletettu)

neutraali kerrostuminen, $\frac{\partial}{\partial z} \overline{\theta}_v = 0$

ei subsidenssia, $\overline{w} = 0$

barotrooppinen yläilma, $u_g(z)$ ja $v_g(z)$ vakioita

koordinaatiosto siten että $v_g = 0$

K_m = vakio, esim. $5 \frac{m^2}{s}$

Jäljelle jää:

$$fv = -K \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

$$f(u - u_g) = K \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}$$

Reunaehdot

$$u(0) = 0$$

$$v(0) = 0$$

$$u(z) \longrightarrow u_g \quad z \to \infty$$

$$v(z) \longrightarrow 0 \quad z \to \infty$$

Yhtälöt:

$$f\,v(z) = -K\frac{\partial^2 u(z)}{\partial z^2}$$

$$f\,u(z) = f u_g + K\frac{\partial^2 v(z)}{\partial z^2}$$

Ratkaisu:

$$u(z) = u_g\left(1 - e^{-\gamma z}\cos(\gamma z)\right)$$

$$v(z) = u_g\left(e^{-\gamma z}\sin(\gamma z)\right)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{|f|}{2K}}$$

Ratkaisun ominaisuuksia

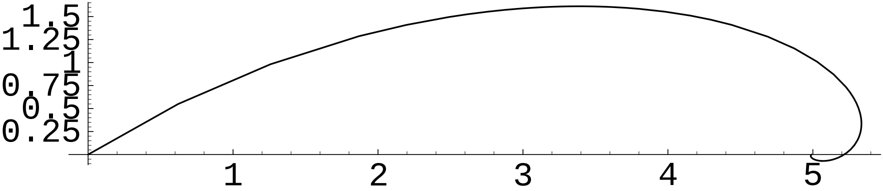
- Jos, $z=0$, $u_*^2 = \sqrt{\overline{u'w'}^2 + \overline{v'w'}^2}$

$\overline{u'w'} = K\frac{\partial u}{\partial z}$, $\overline{v'w'} = K\frac{\partial v}{\partial z}$, saadaan

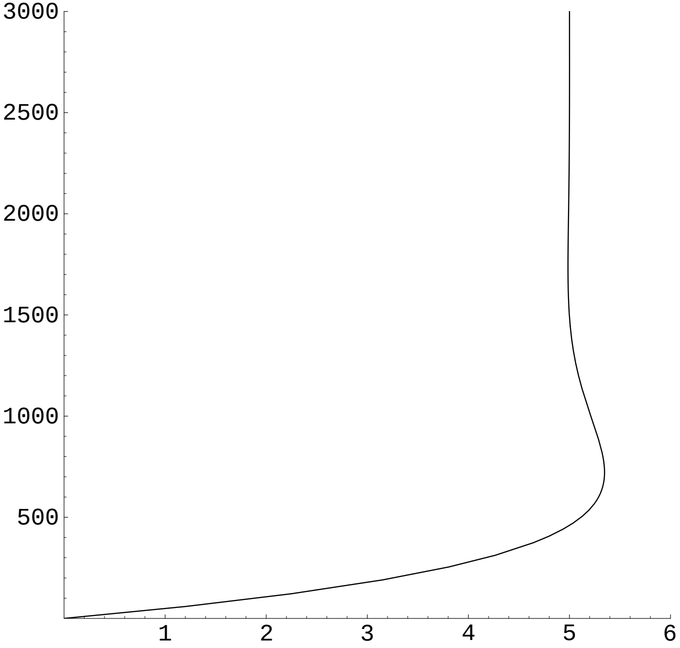
$$u_*^2 = u_g\sqrt{Kf}$$

- Pintastressi/pintavääntö/pintatuuli on 45° vasemmalle (pohjoinen pallonpuolisko) u_g:stä.

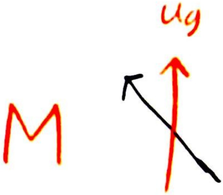
(KUVAT 1, 2)

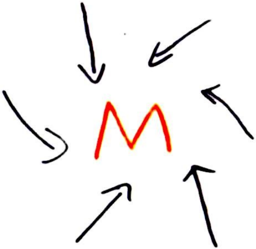


1.5
1.25
1
0.75
0.5
0.25
1
2
3
4
5

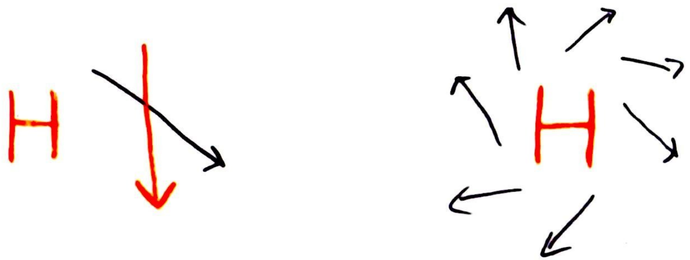

3000
2500
2000
1500
1000
500
1
2
3
4
5
6

Kitkakonvergenssi

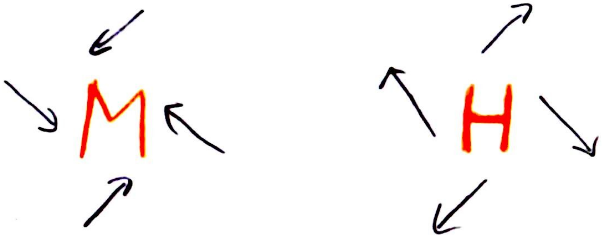




Kitka divergenssi



Ekman - pumppaus



Ekman-spiraali merivirroille

Ekman (1905) alunperin merivirroille, sitten sovellettiin ilmakehään.

- Ei geostrofista virtausta

$$fv = -K \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

$$fu = K \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}$$

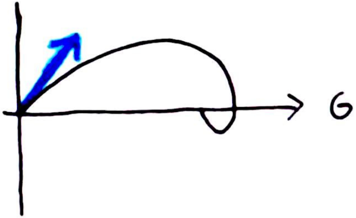
Pakote pintakitkasta $K \frac{\partial u(0)}{\partial z} = u_*^2$

meren K

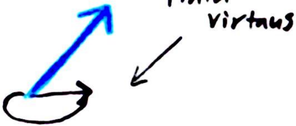
Pohjassa $u = v = 0$

samankaltainen ratkaisu löytyy, en esitä tässä (Stull s. 213).

ILMA



MERI



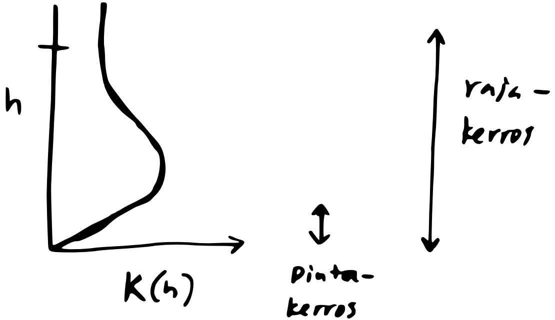
↗ = pintakitka

Ekman-spiraalin heikkouksia

- Suunnilleen järkevä kuvaus, jos kerrostuminen on neutraali
- Epästabiilille huono kuvaus, liikemäärävuo tasoittaa profiilia
- Stabiilissa voi olla supergeostrofisia tuulia rajakerroksessa, joten Ekman-spiraalin muotokin väärin

$K =$ vakio on huono oletus

Pitemmin:



$\Rightarrow$ numeeriset mallit

Ekman-spiraali kohtaa maanpinnan lineaarisesti.

- Ei huomioi pintakerrosta. Pintakerroksessa logaritminen tai Monin-Obukhov-tuuliprofiili
- 45° liian suuri kääntymiskulma

Ekman-Taylor-spiraali

Sovelletaan Ekman-spiraalia vasta pintakerroksen yläpuolelta. Esim. $z > 10m$

Pitää antaa parametrina alavemman tuulen suuntakulma: α

α(pinnan rosoisuus)

$$u(z) = u_g\left(1 - \sqrt{2}\sin(\alpha)\, e^{-\gamma z}\cos\left(\gamma z + \frac{\pi}{4} - \alpha\right)\right)$$

$$v(z) = u_g\sqrt{2}\sin(\alpha)\, e^{-\gamma z}\sin\left(\gamma z + \frac{\pi}{4} - \alpha\right)$$

Rosoisella maalla $\alpha \approx 25°$

pintatuuli $\approx 0.48\ u_g$

Merellä $\alpha \approx 15°$

pintatuuli $\approx 0.71\ u_g$

Ekman-Taylor-ratkaisu riippuu

leveysasteesta coriolisparametrin f kautta

Ei välttämättä päde tropiikissa

Eteläisellä pallonpuoliskolla $f<0$,

kääntymiskulmat eri suuntaan