

*Czy pękające baloniki mają coś
wspólnego z trzęsieniami ziemi?*

Wojciech Dębski

debski@igf.edu.pl

Co łączy ze sobą:

- Rozrywanie kartki papieru
- Pękanie balonika
- Złamanie ołówka
- Krojenie kromki chleba
- Rozbicie wazonu
- Pęknięcie wału silnika
- Zawalenie się mostu, budynku,...
- Trzęsienie ziemi

Proces zniszczenia (pękania) materiałów

Różne skale (oblicza) pękania materiałów

- - atomowa (L ~ 10 pm)
- - mikroskopowa (L ~ 10 μ m)
- - „domowa” (L ~ 10cm)
- - „inżynierska” (L ~ 100 m)
- - sejsmologiczna (L ~ 1000 km)

1e-12 m – 1e+7 m

Proces zniszczenia:

❖ Zależy od materiału

- materiały kruche
- materiały plastyczne
- materiały (hiper) elastyczne
- ciała „półstałe” (lepkie ciecze)

Proces zniszczenia:

- ❖ Zależy od sposobu obciążenia
 - powstawanie szczelin (pękanie)
 - trwałe odkształcenie (deformacja)
 - zmęczenie materiałowe (zmiana struktury)
 - „pełzanie” materiału
 - historii obciążania (histereza)
- ❖ Zależy od prędkości obciążania

Trzęsienie ziemi, Kobe 1995 ($M=6.9$)



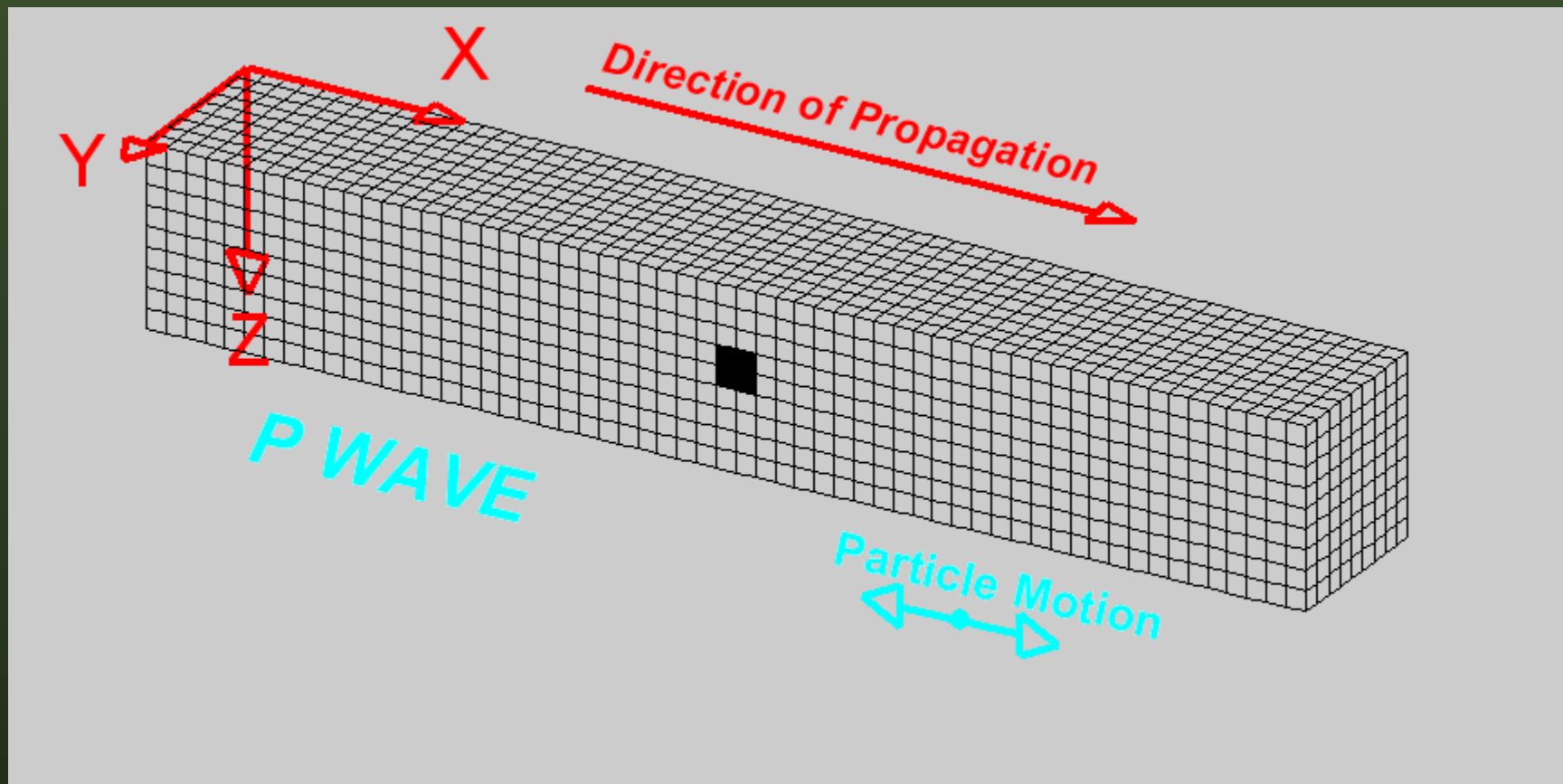
Skutki pękania materiałów



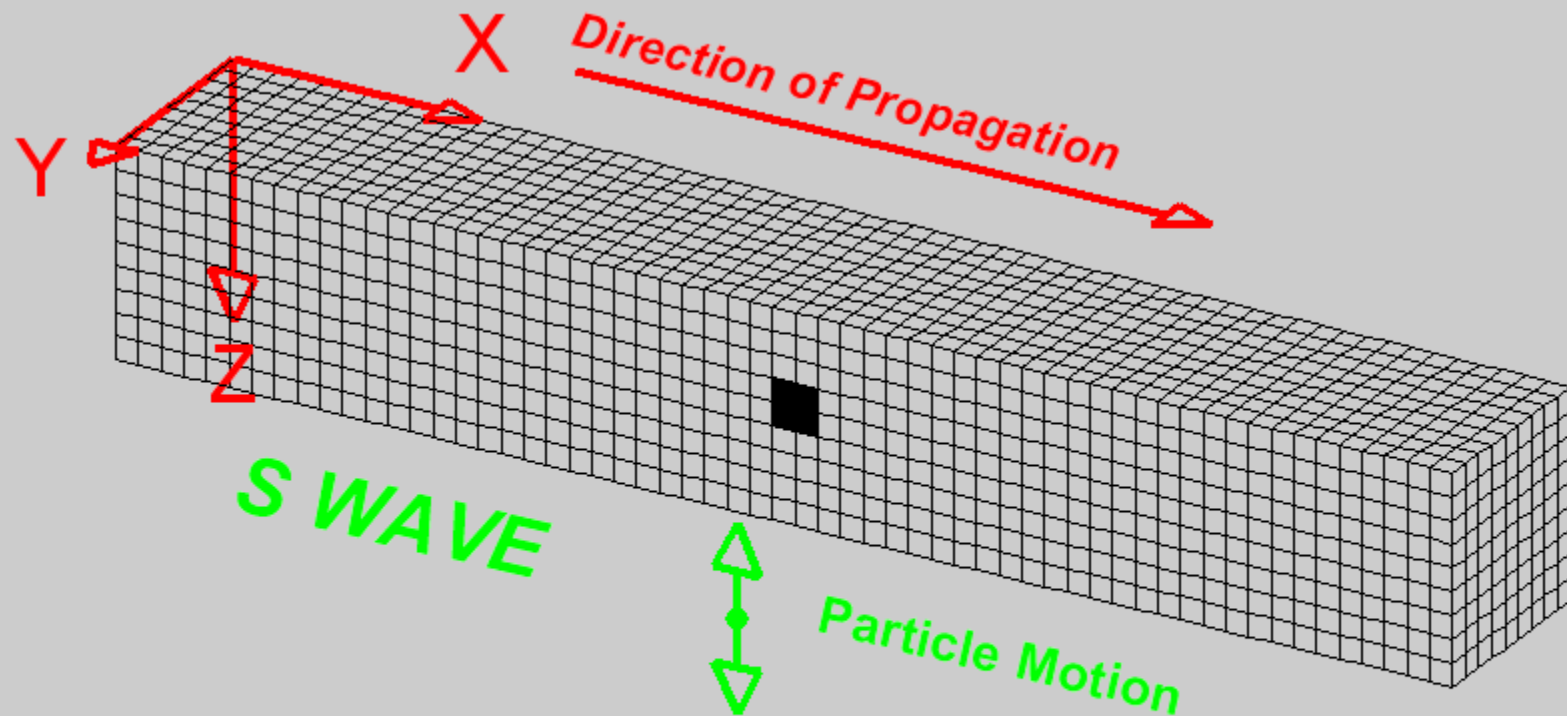
Trzęsienia Ziemi – skutki (daleko od epicentrum)



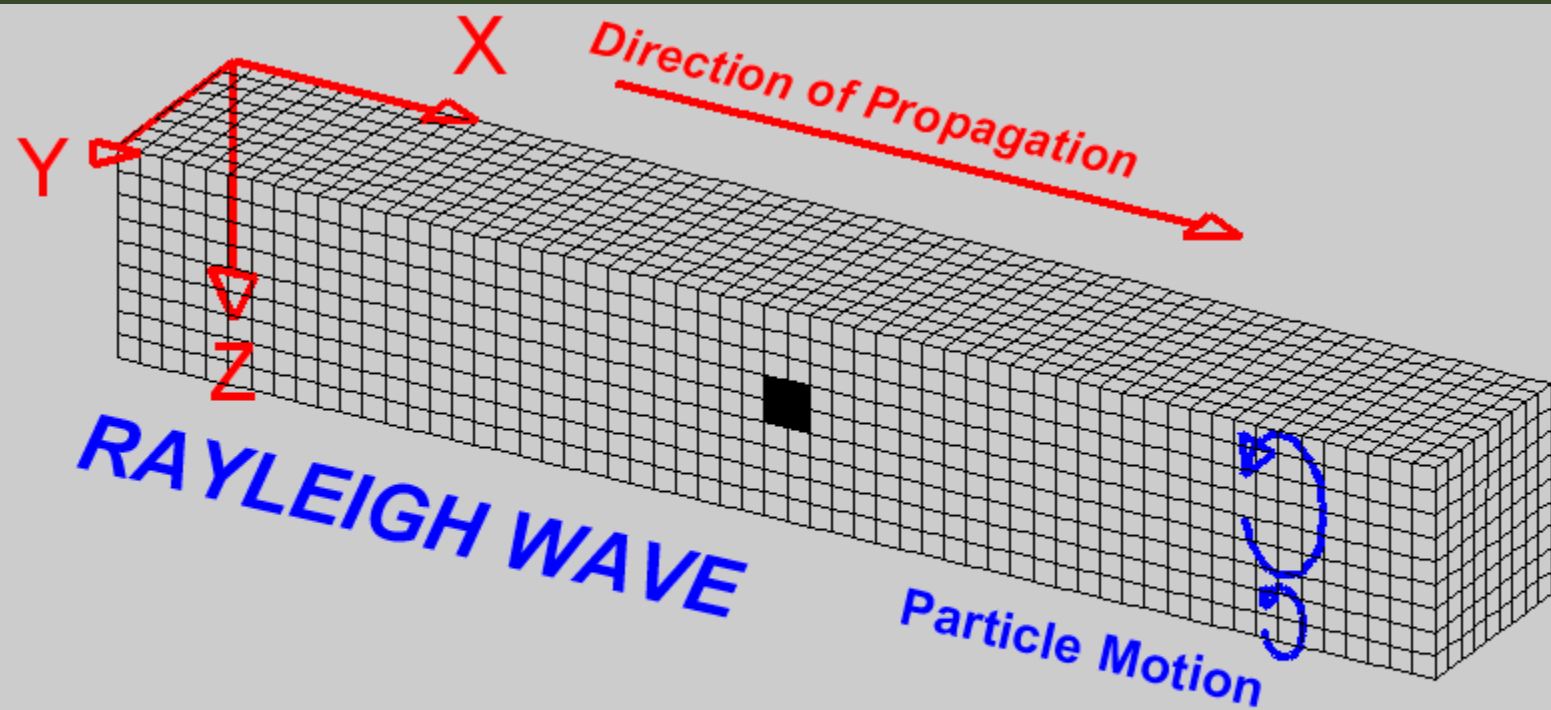
Fale poprzeczne (P)



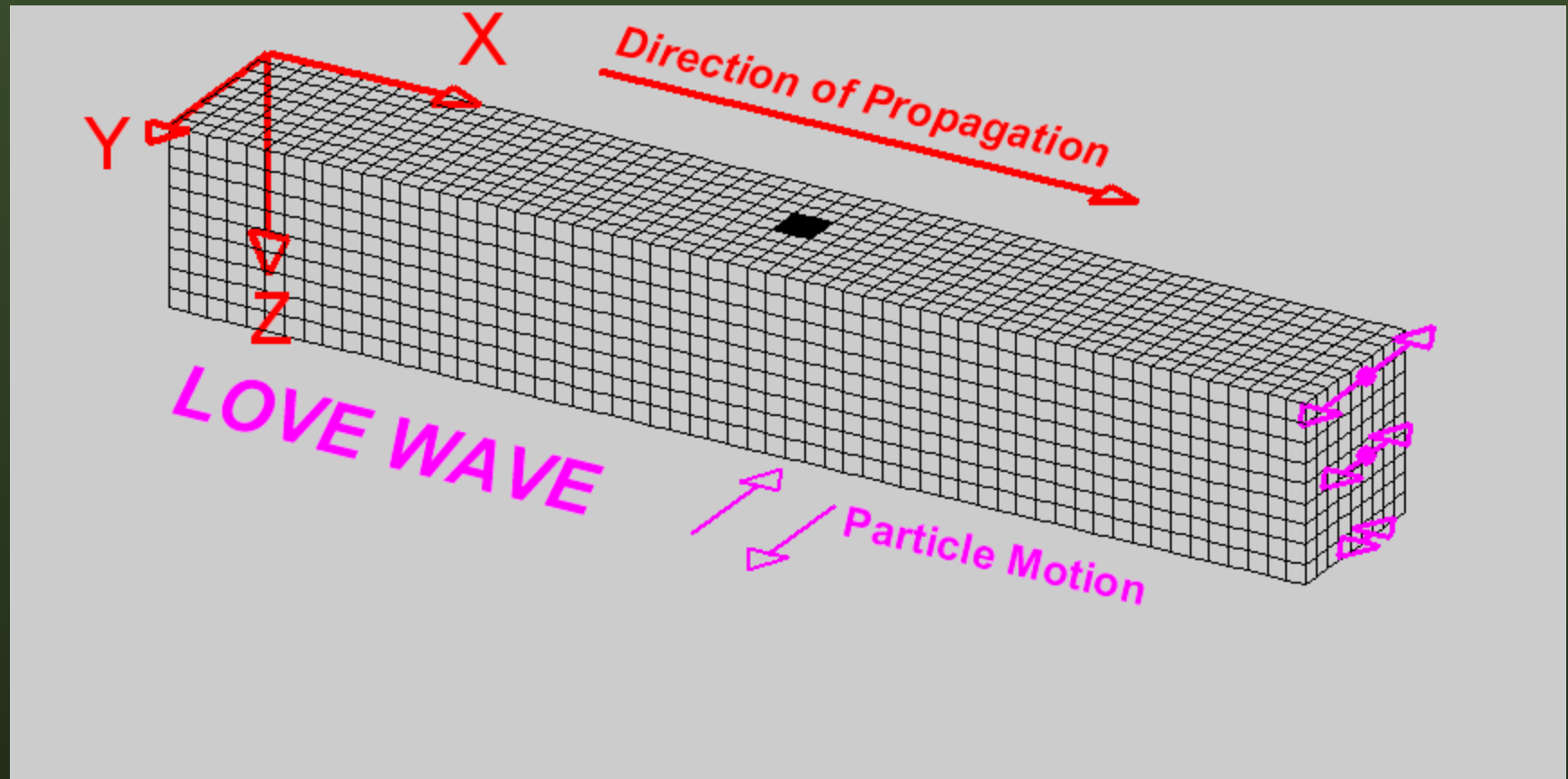
Fale podłużne (S)



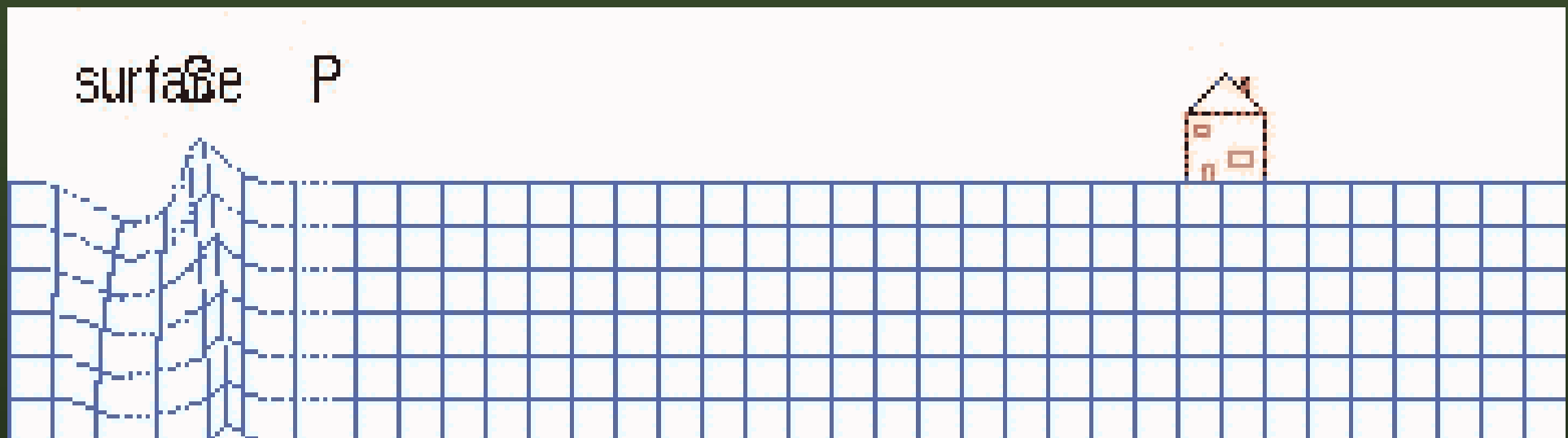
Fale powierzchniowe (Rayleigh)



Fale powierzchniowe (Love)



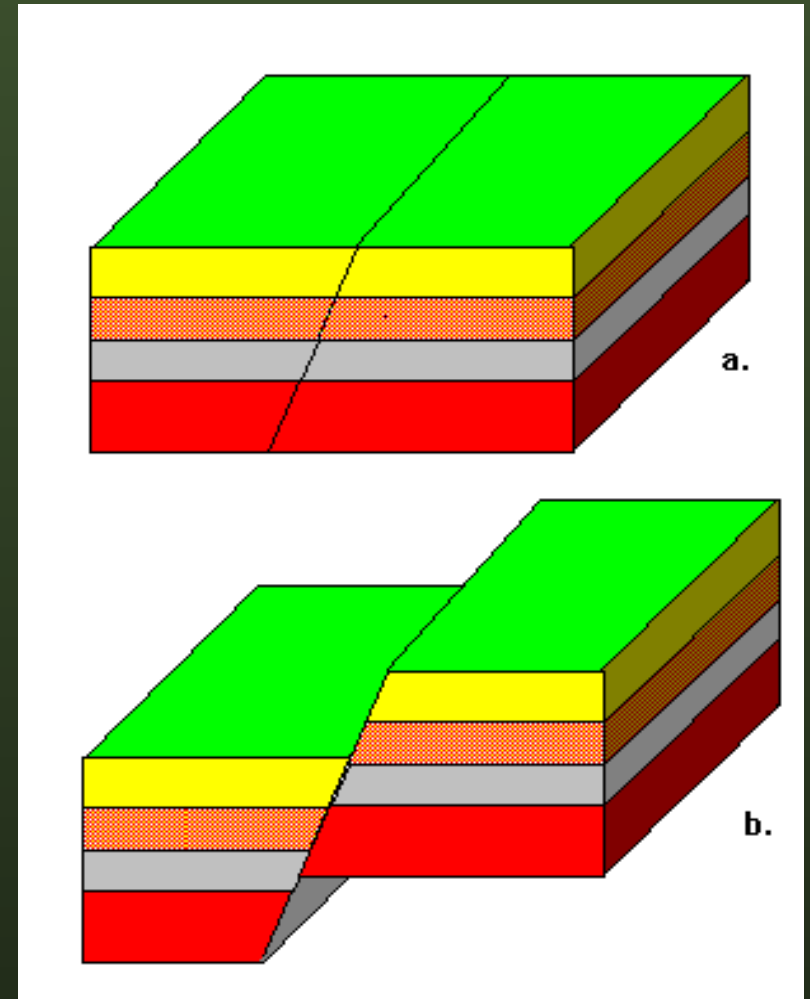
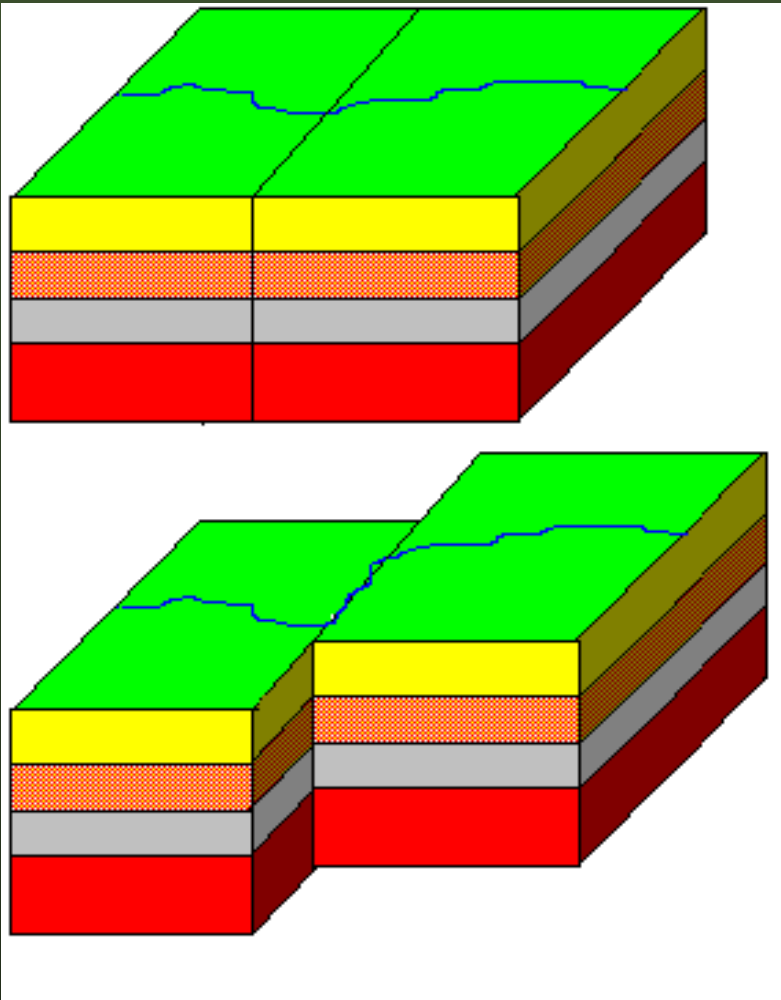
Fale sejsmiczne – drgania powierzchni



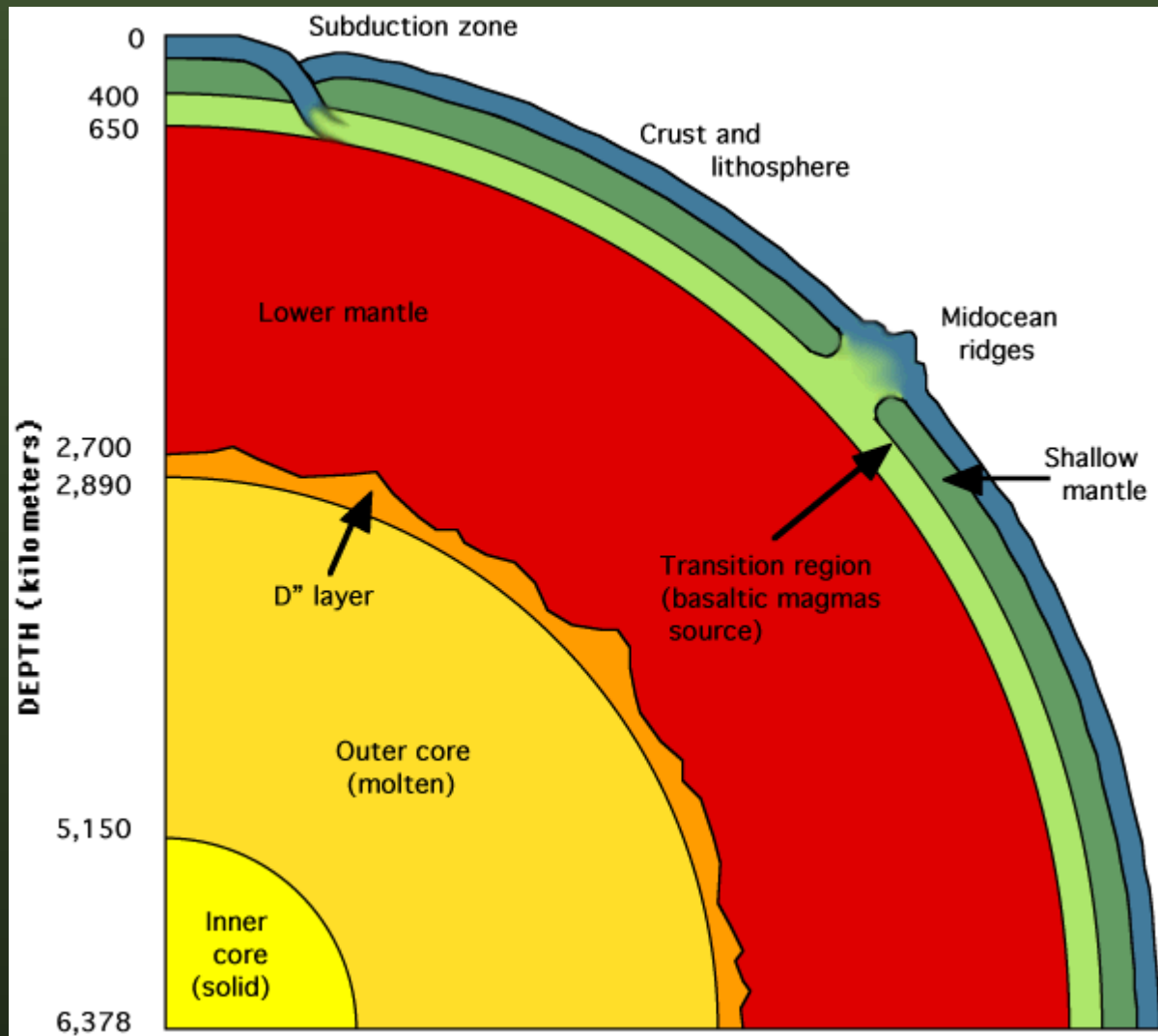
Trzęsienia ziemi – proces rozrywu



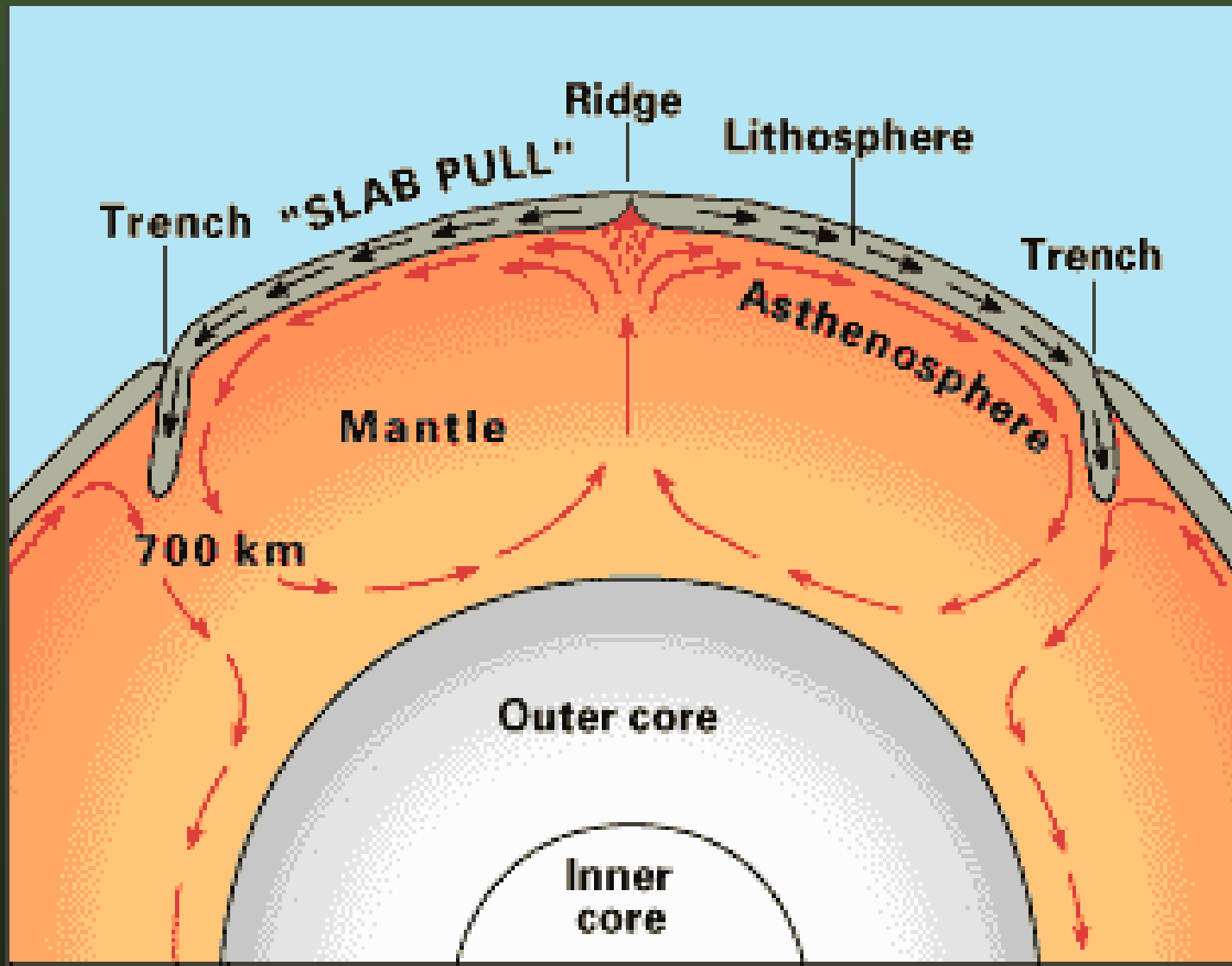
Mechanizmy generacji fal sejsmicznych



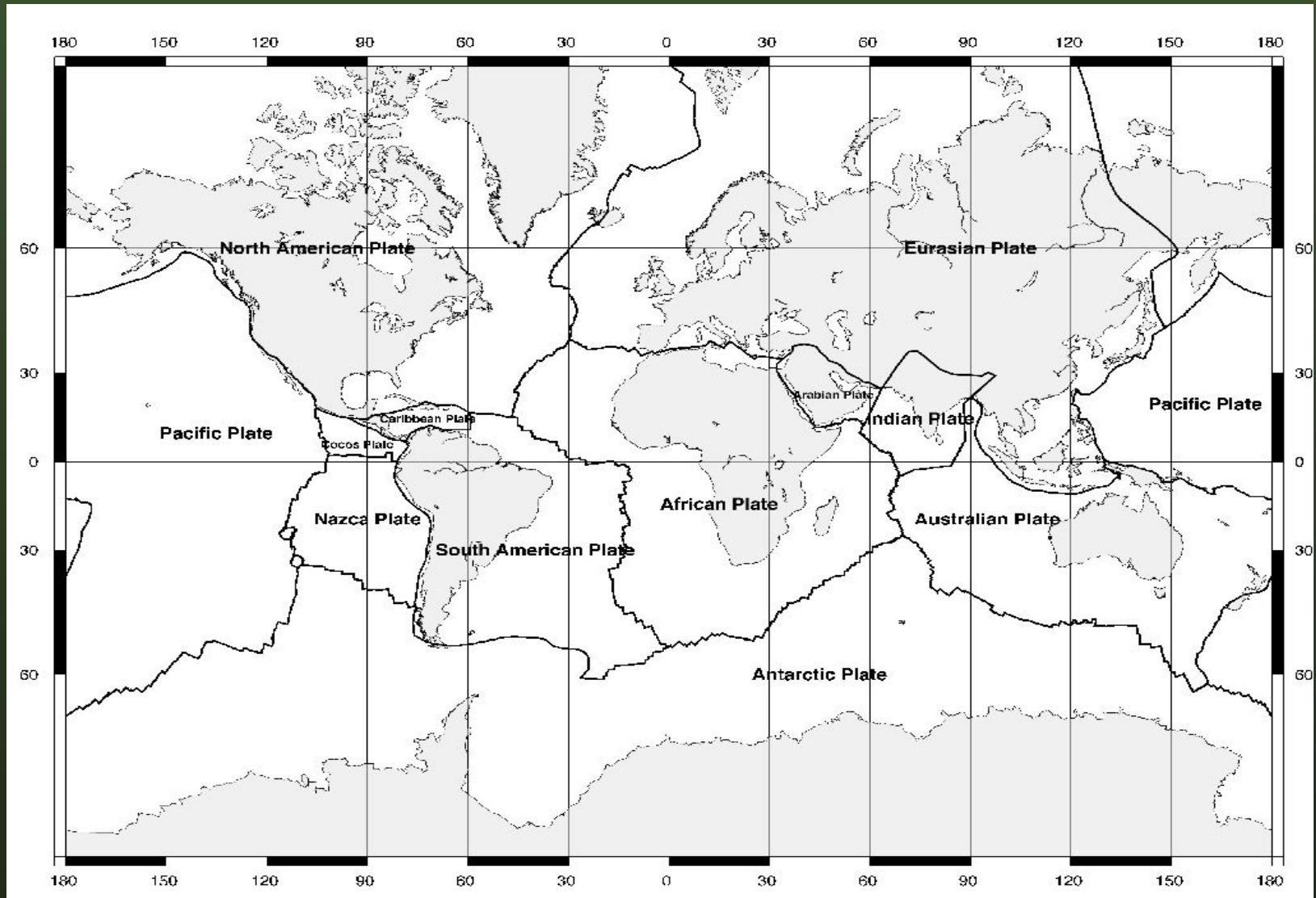
Budowa wnętrza Ziemi



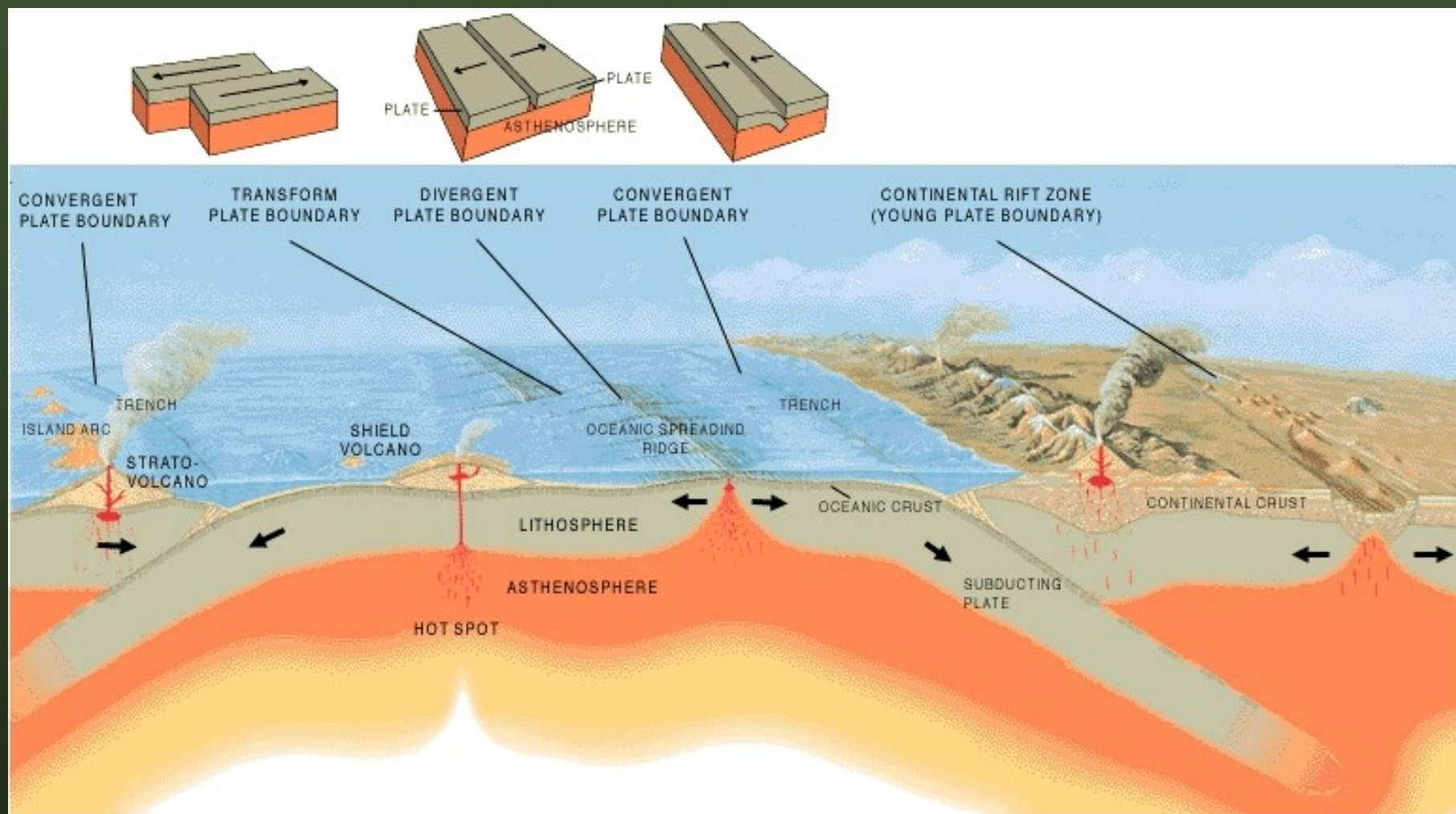
Konwekcja termiczna w płaszczu



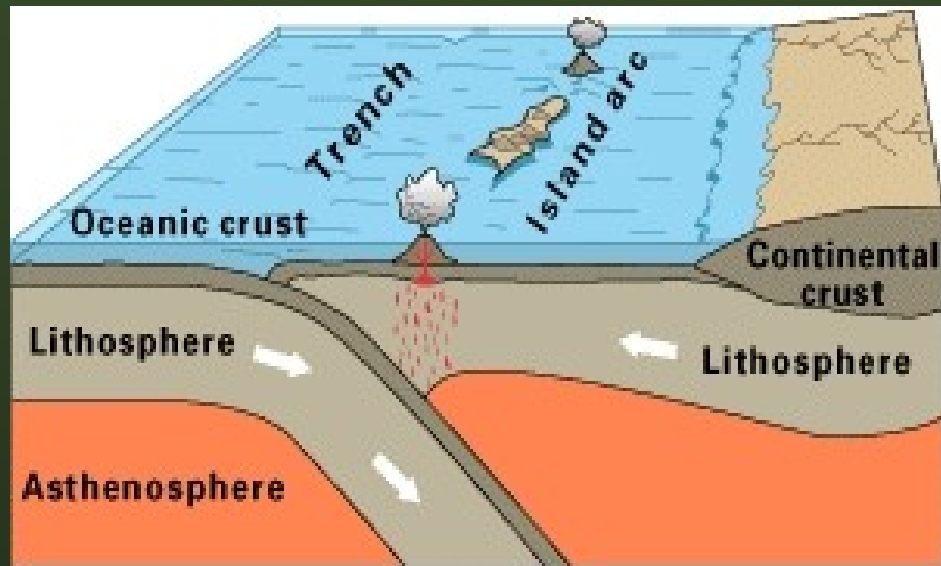
Płyty tektoniczne



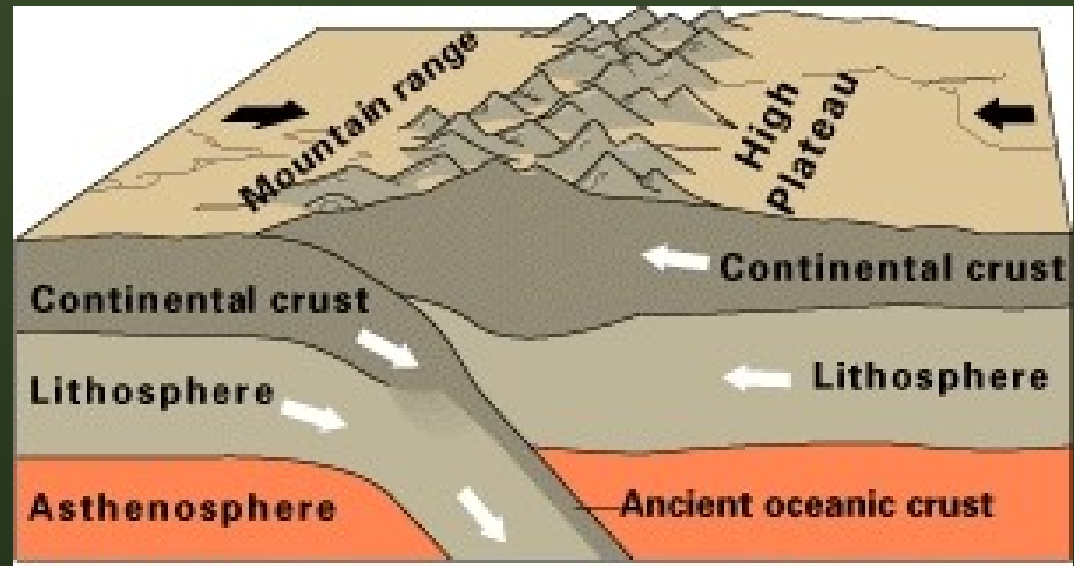
Dryft płyt tektonicznych



Ruchy wewnętrzz Ziemi

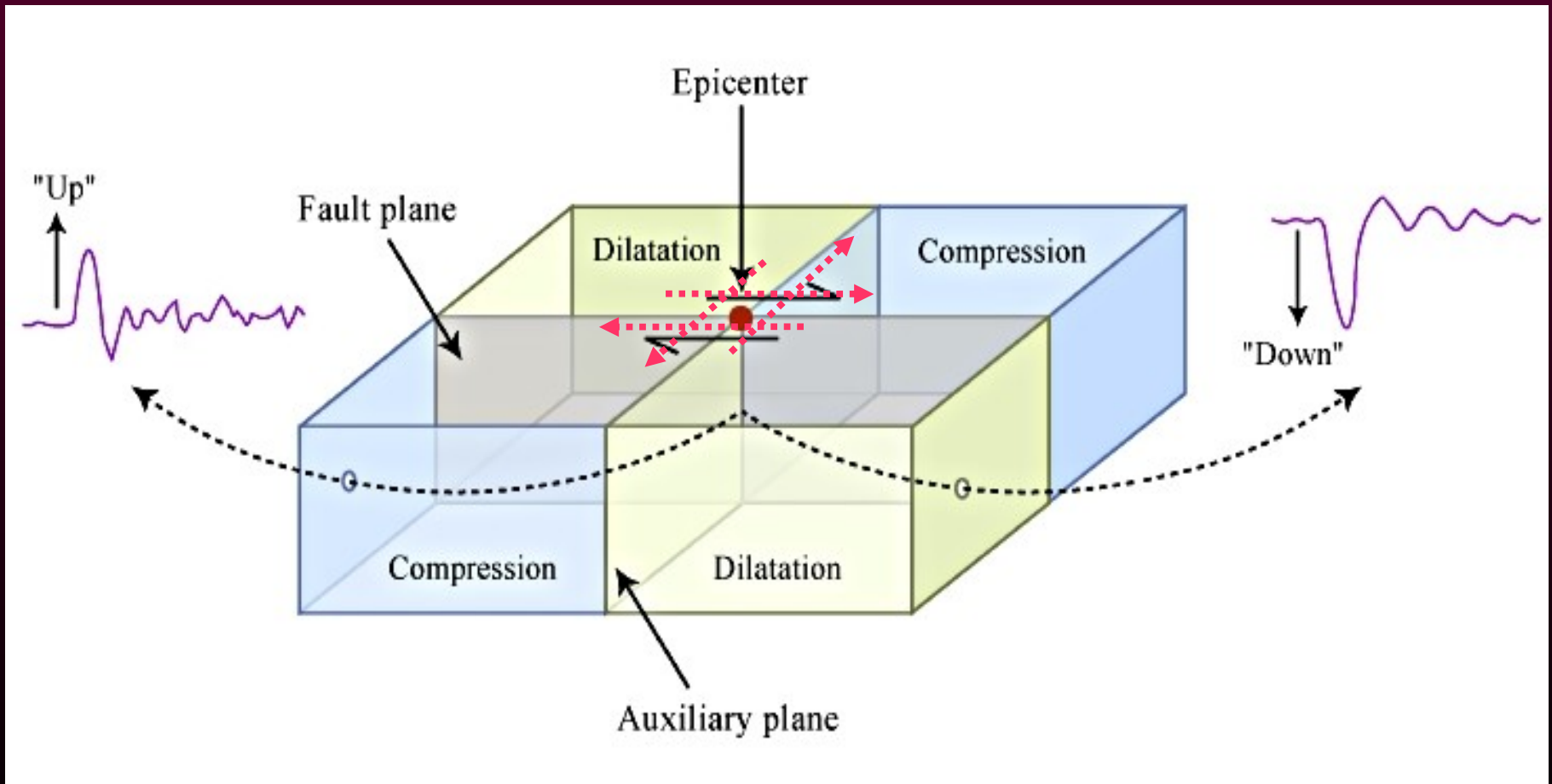


Oceanic-oceanic convergence

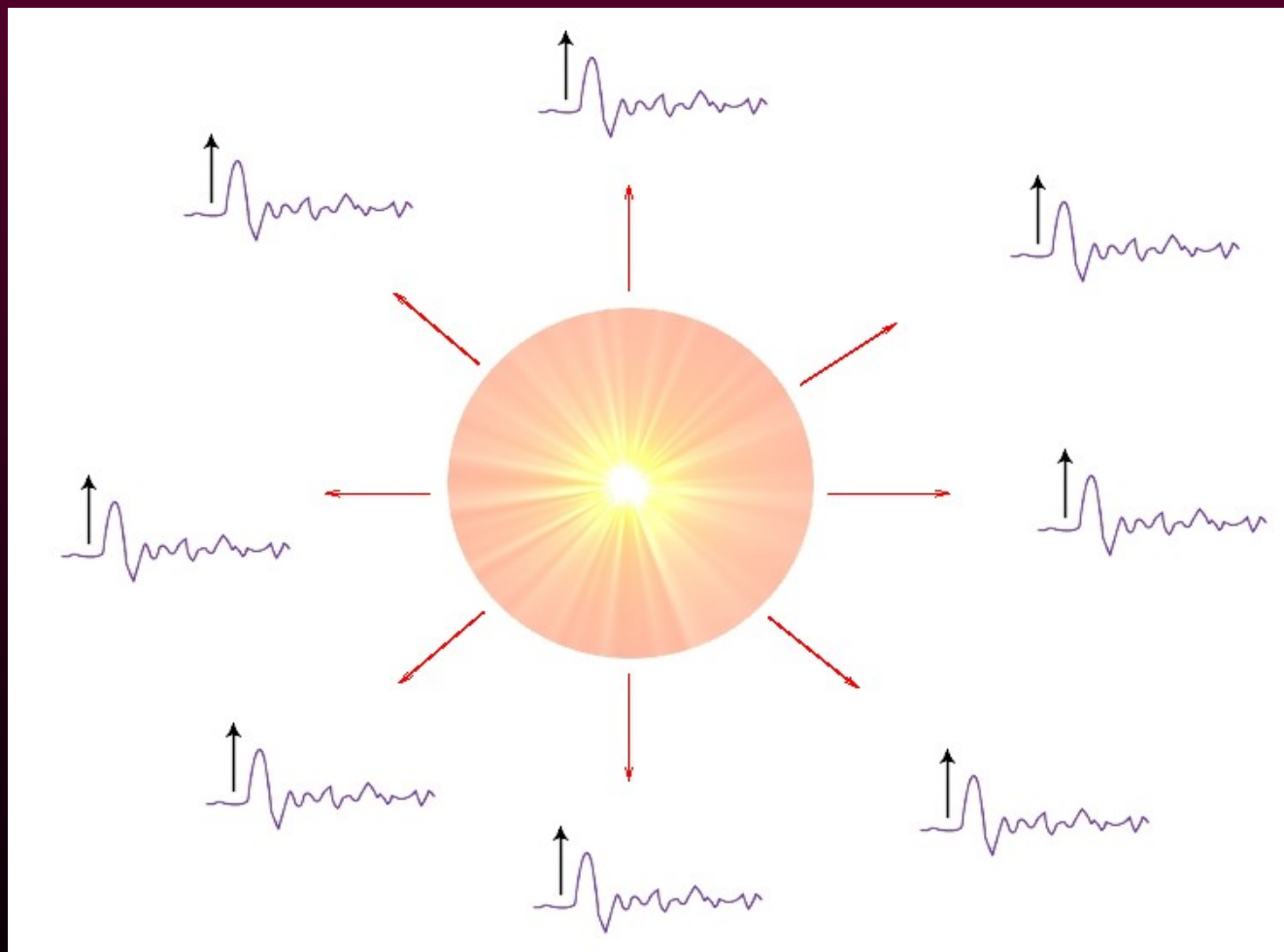


Continental-continental convergence

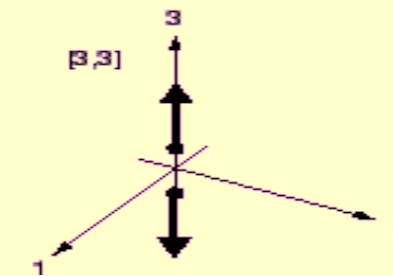
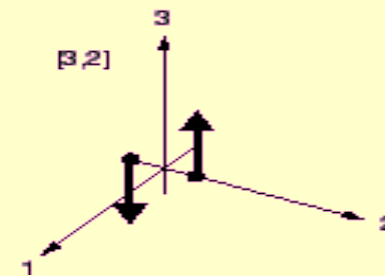
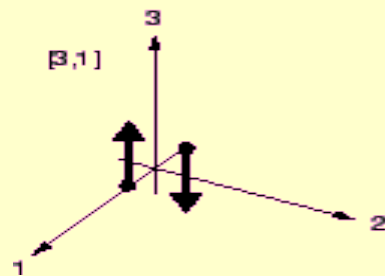
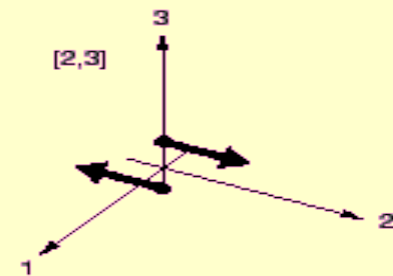
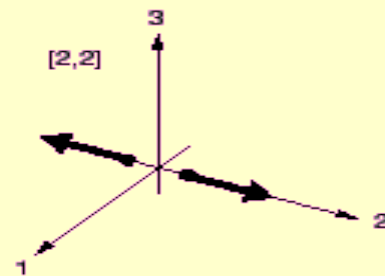
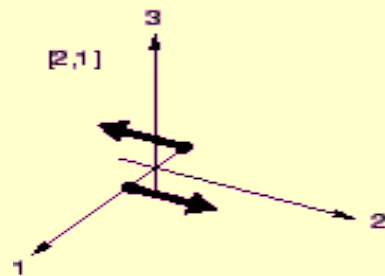
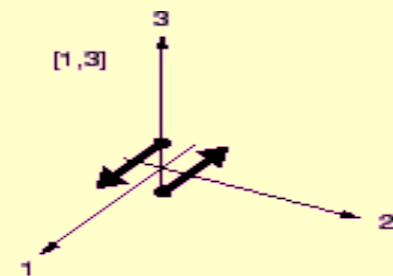
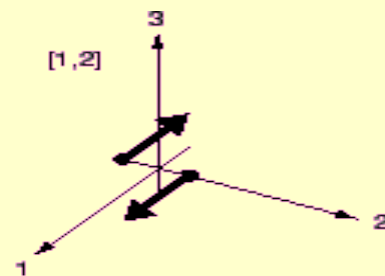
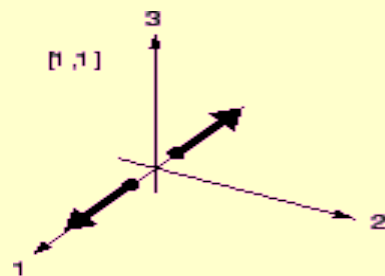
Para sił i płaszczyzny nodalne



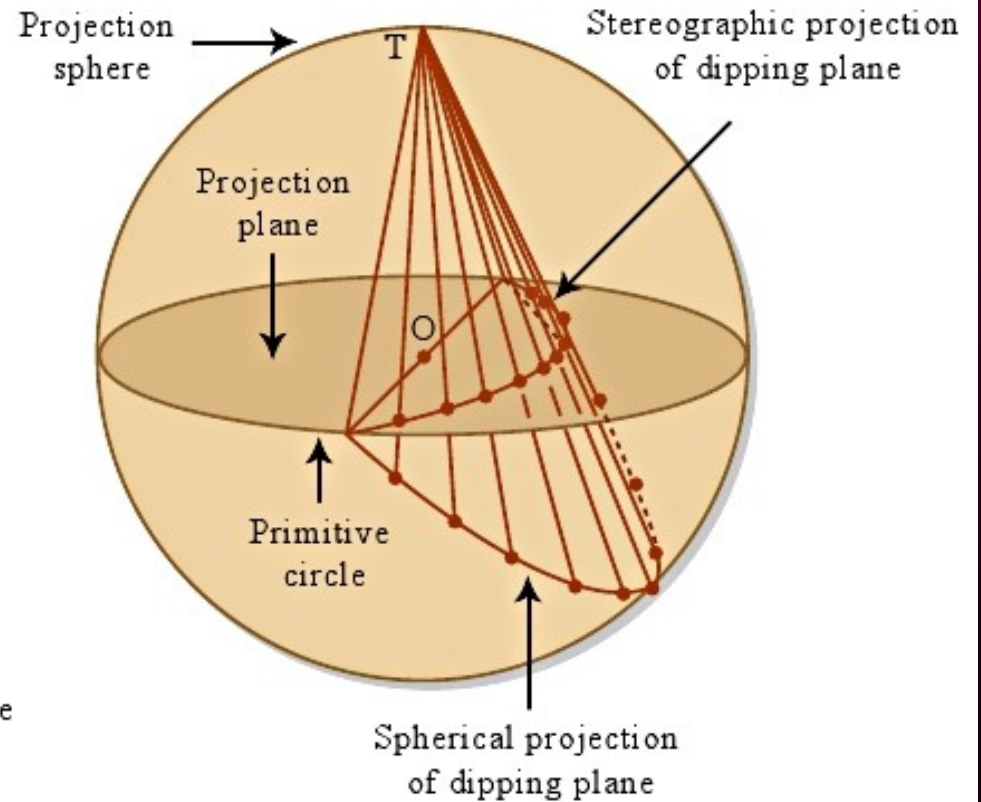
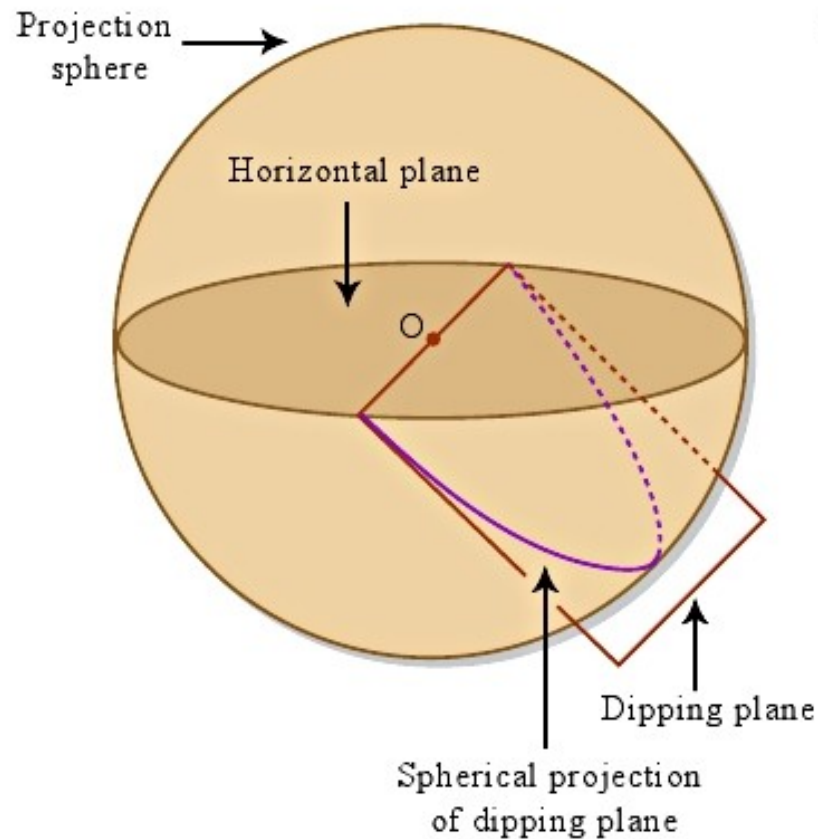
Proces eksplozji



Geometria sił rozrywu



Mechanizm rozrywu -projekcja



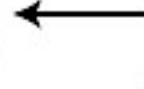
Mechanizm rozrywu -projekcja

STRIKE-SLIP FAULT

Left-lateral
on this plane



Right-lateral
on this plane



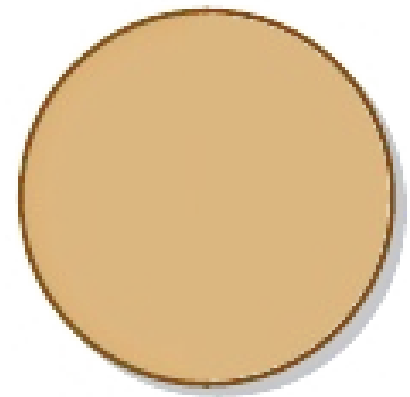
DIP-SLIP FAULTS

Thrust fault

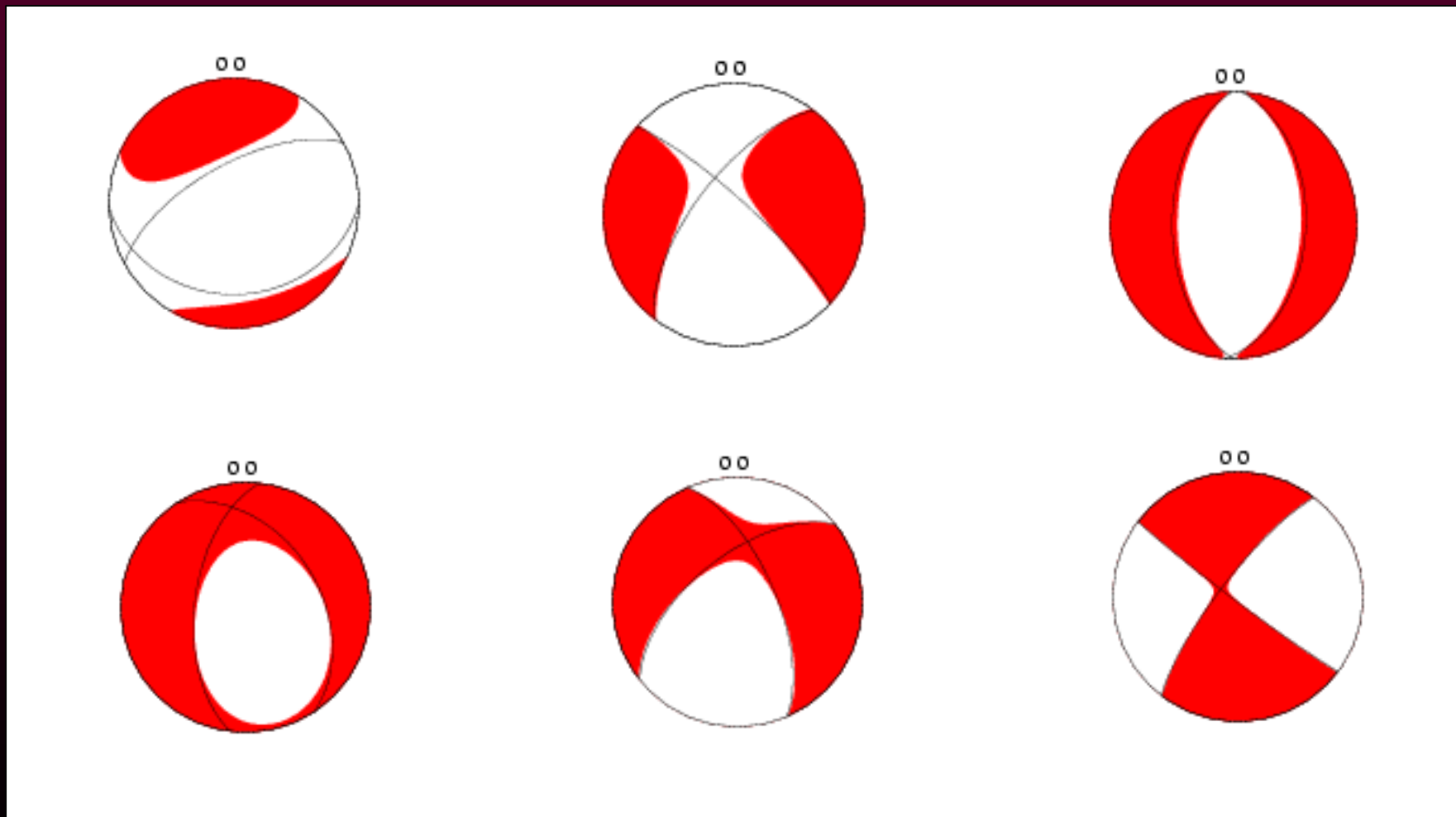
Focal sphere side view



Explosion



Rzeczywiste mechanizmy wstrząsów



Szczeliny – źródło pęknięć



Czy podobnie pęka ziemia?



Procesy w ogniskach trzęsień ziemi – spękanie masywu skalnego – „hiper- szczeliny”

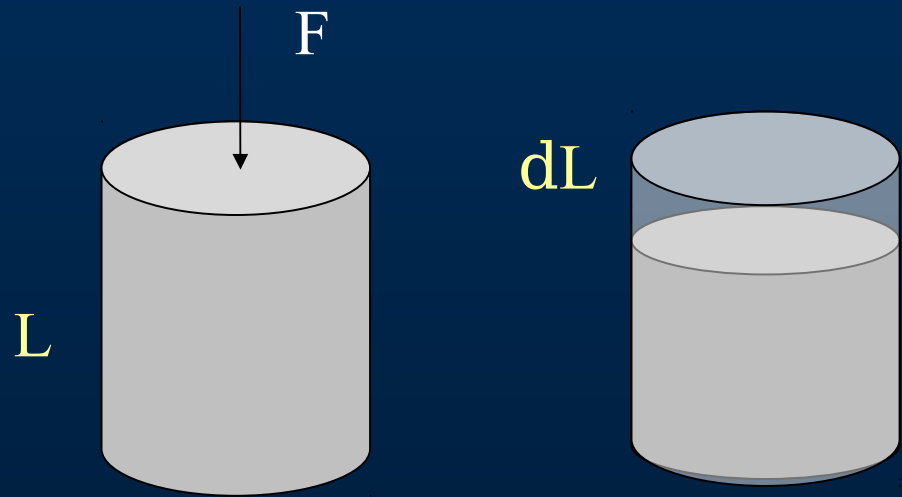


Teoria *Griffitha* pękania materiałów (kruchych)

Moduł Younga:

$$\varepsilon = dL/L$$

$$E = F/S/\varepsilon$$

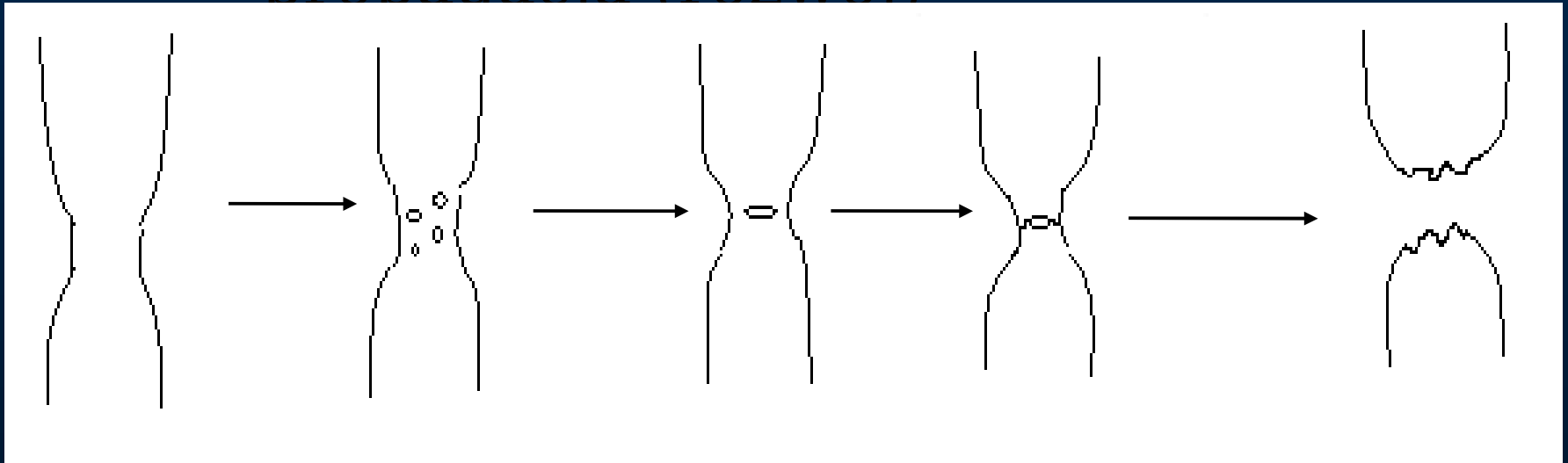


Empiryczne oszacowanie wytrzymałość materiałów $\sim E/10$

Niestety czasami taka reguła zawodziła

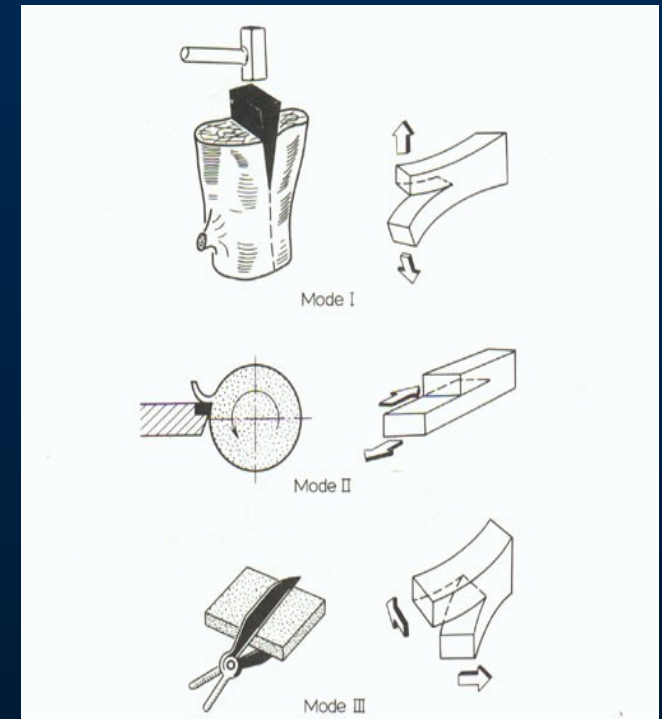
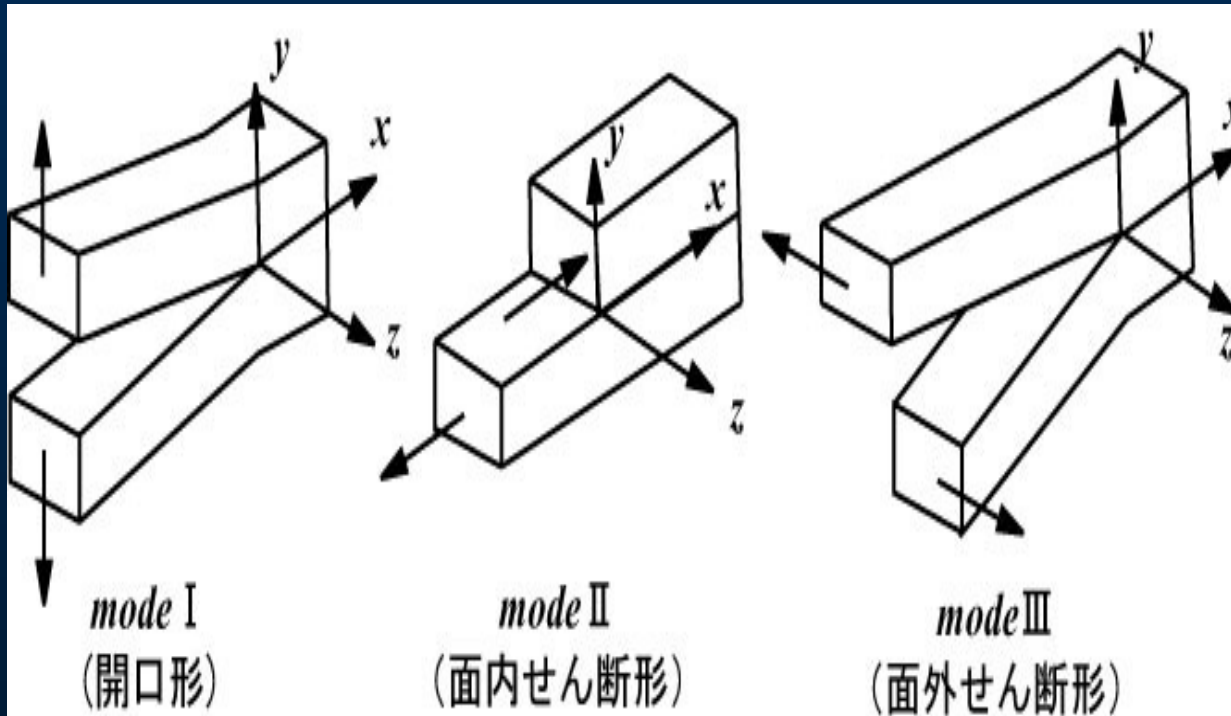
Spękanie materiału - szczeliny

- Powodem osłabienia materiału jest obecność szczelin
- Proces pękanie materiału:
 - inicjacja (powstanie) szczeliny
 - propagacja (rozwój)



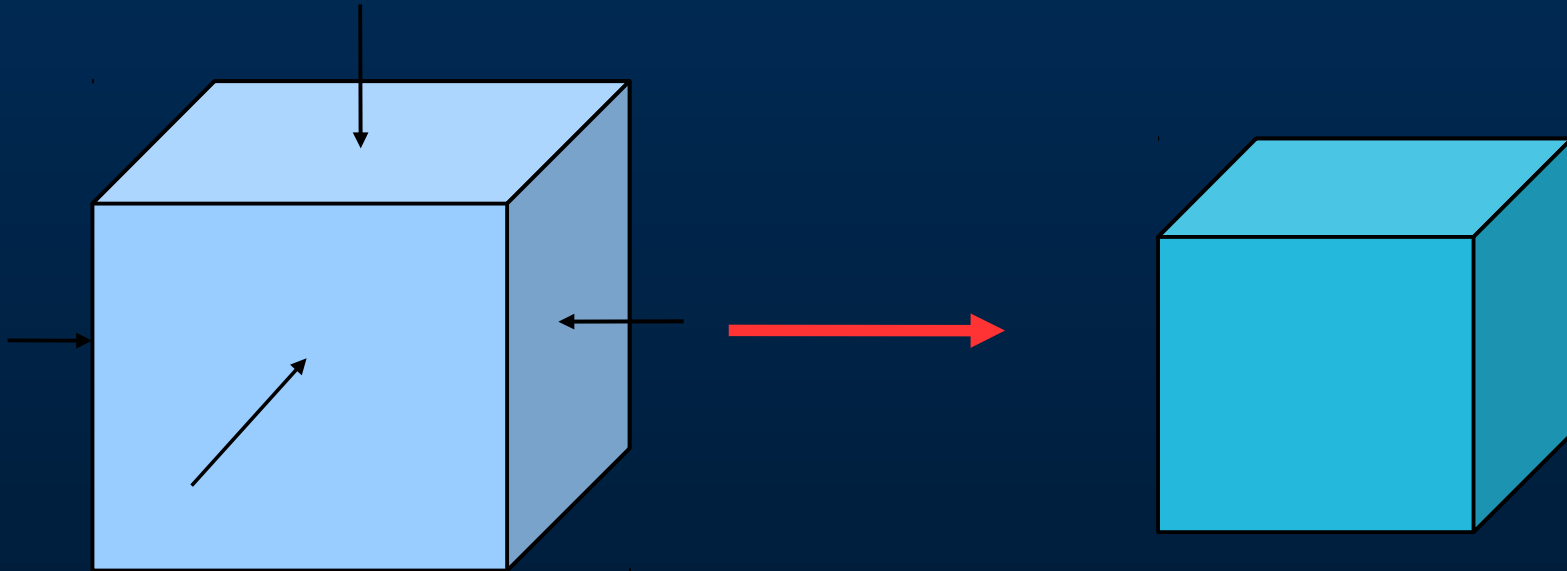
Rodzaje szczelin

- Istnieją trzy fundamentalne mody powstawania szczelin



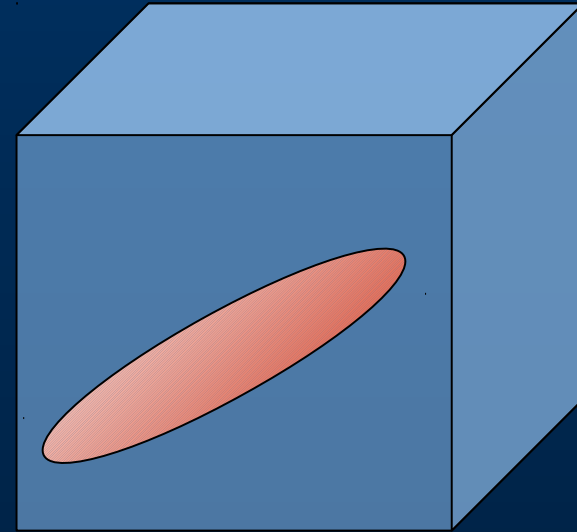
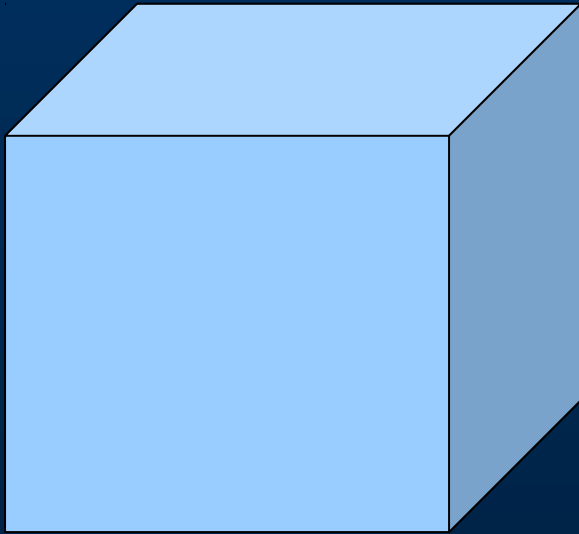
Energetyczny warunek rozwoju szczeliny

- Analiza rozwoju szczeliny oparta o bilans energetyczny



$$U_e = \frac{1}{2} \int \sigma_{ij} \epsilon^{ij} dV$$

Stan podstawowy ze szczeliną



$$U_h = U_o + U_e$$

$$U_c = U_o + U_e - U_c + U_s$$

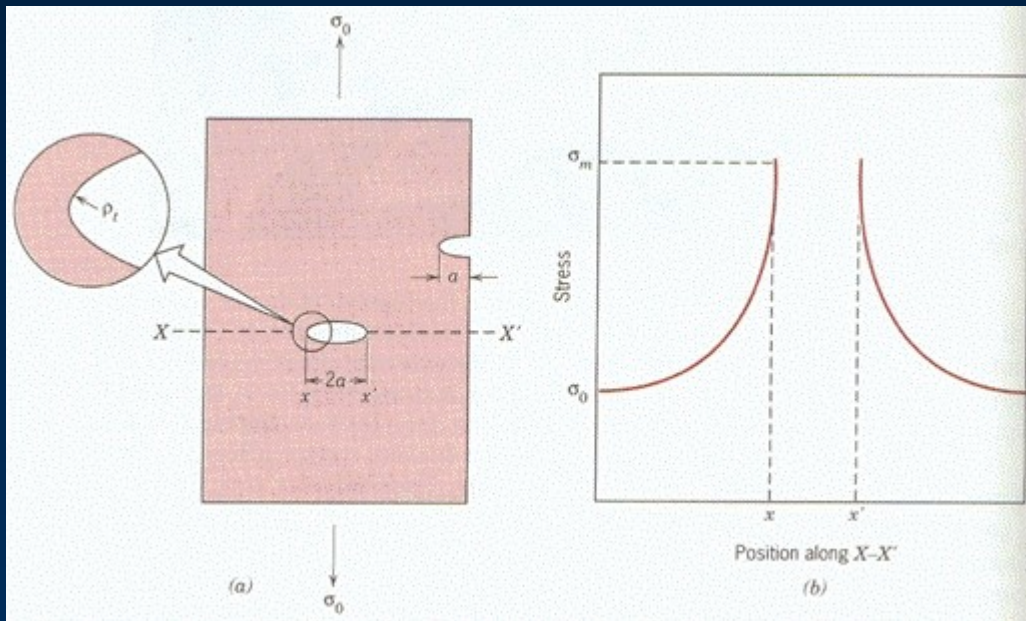
$$U_c < U_h$$

Warunek stabilności Griffith'a

$$\sigma_c^2 \geq \frac{2\gamma E}{\pi a}$$

Warunek mikroskopowy

Wzrost naprężeń przy końcu szczeliny

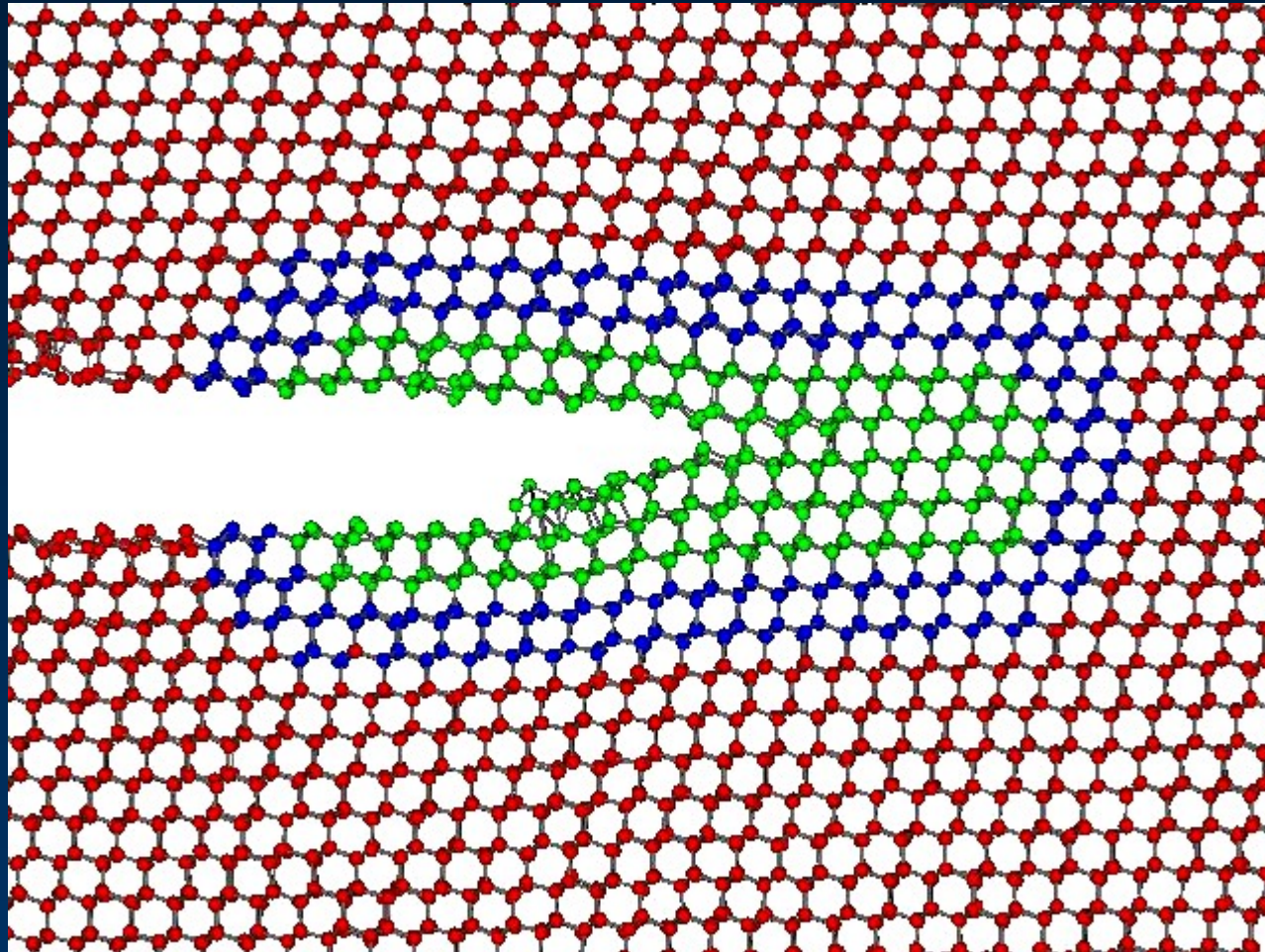


$$\sigma_m = 2\sigma_0 \left(\frac{a}{\rho_t} \right)^{1/2}$$

$$K = \sigma \sqrt{(\pi a)}$$

$$K >$$

Ilustracja warunku mikroskopowego



Prędkość rozwoju szczeliny

„Crack resistance”

$$R = \partial W / \partial a$$

„Energy release rate”

$$G = \partial (F - U_e) / \partial a$$

Jeśli **$G > R$**

Więcej energii jest wyzwalanej niż absorbuje statyczny
rozwój szczeliny → rozwój szczeliny „dynamicznej”

Prędkość propagacji szczeliny

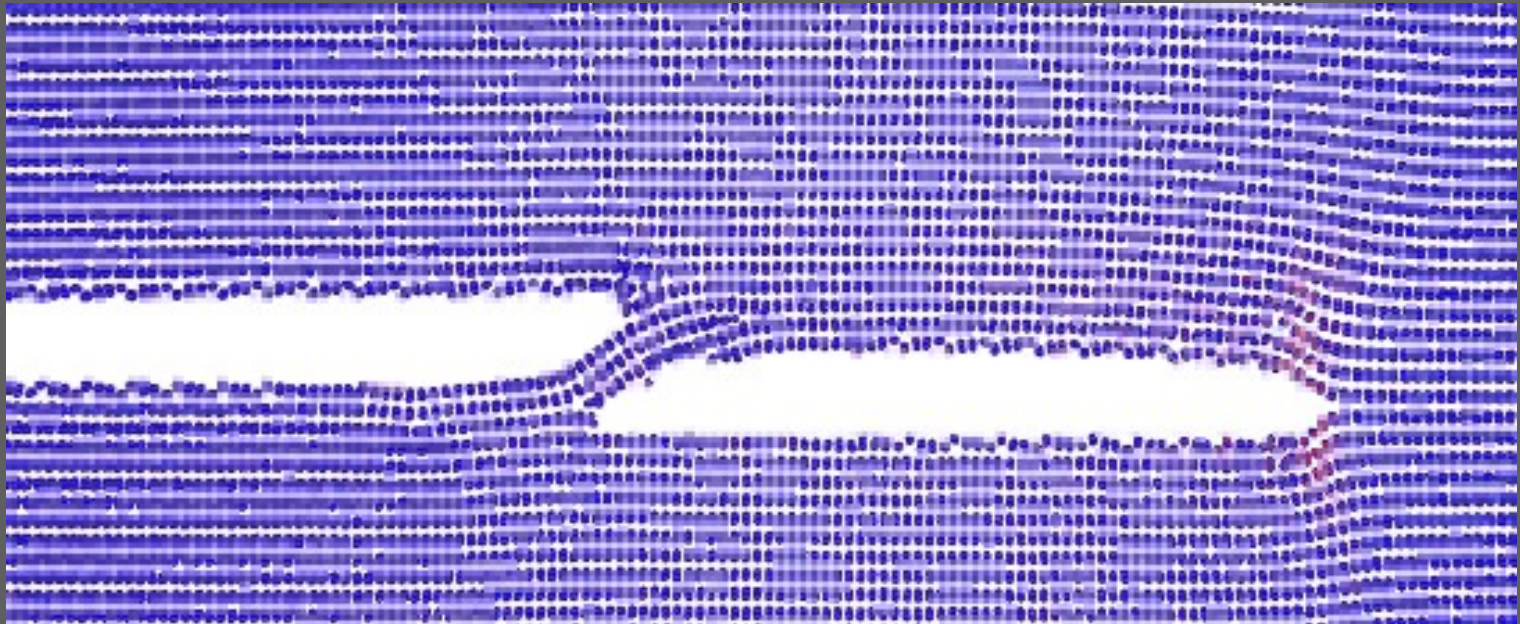
- Energia kinetyczna „szczeliny”: $E_k = G - R$
- Rozryw potencjalnie niestabilny

$$V_r \approx 0.38 V_s (1 - a_c/a)$$

W trzęsieniach ziemi obserwujemy $0.1 V_s < V_r < 1.5 V_s$

kruszenie, upłynnienie,

Symulacje numeryczne - II



Pękający balonik: ($V_r > V_s$)



Symulacje numeryczne

***Czy pękające baloniki mają coś
wspólnego z
trzęsieniami ziemi?***

Z punktu widzenia fizyki są to te same
procesy tylko
zachodzące w innej skali. Efekty i ich
znaczenie społeczne są często jednak
diametralnie różne.