Misure di scattering anelastico

Cosa si misura?

In esperimenti di scattering anelastico l'intensità viene registrata (generalmente) al variare di θ e E , ovvero i neutroni diffusi dal campione sono discriminati anche in base all'energia scambiata col sistema in studio.

Misurare l'intensità anche al variare dell'energia scambiata $E = E_0 - E_1$

RICHIEDE

la definizione *a priori* dell'energia dei *neutroni incidenti* (E_0), e la misura/scan dell'energia finale (E_1)

OPPURE

la definizione *a priori* dell'energia dei *neutroni diffusi* (E_1), e la variazione/scan dell'energia incidente (E_0)

2 classi distinte di spettrometri

(alcuni possono operare in entrambi i modi)

Geometria diretta

Geometria inversa

Scattering anelastico di neutroni

Qualche altra considerazione preliminare…

Nello scambio di energia con una sonda, un campione può "accettare" o "cedere" solo quanto si ***accorda*** con i suoi livelli energetici quantizzati o con quanti di vibrazione (e.g. fononi nei solidi, "pseudo-fononi" nei liquidi) o con altre forme quantizzate di possibili eccitazioni (e.g. rotoni nei superfluidi) governate dalla struttura, simmetria, proprietà e composizione specifica del sistema.

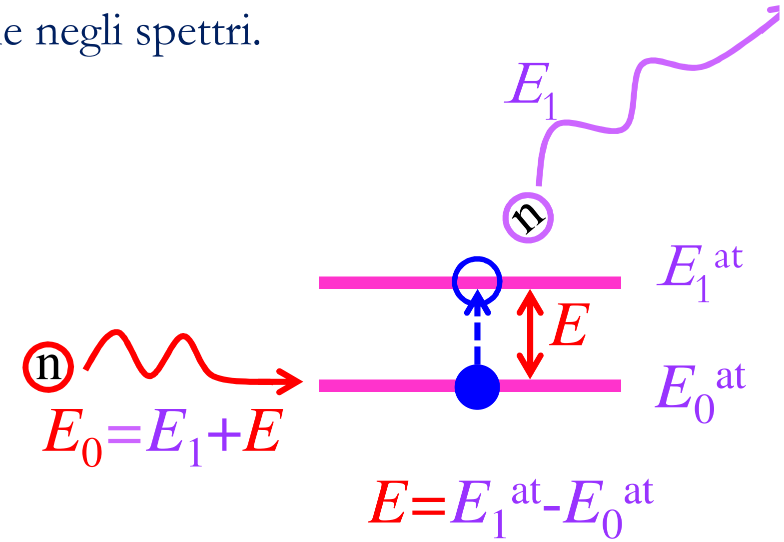
La risposta ad una sonda permette di risalire a queste proprietà fondamentali del sistema di interesse grazie ad un mero fenomeno di ***risonanza*** : quando la "sollecitazione" (scambio di energia con la sonda) si accorda con le energie delle eccitazioni possibili per quel dato sistema, la risposta è "massima" e si osservano strutture anelastiche negli spettri.

Una sonda con energia incidente E_0 molto maggiore degli scambi di energia (E) che si vogliono misurare richiede strumenti con una risoluzione in energia ΔE estremamente buona. Esempio: Raggi X

$E_0 \sim 10$ keV, $E \sim 10$ meV $\Rightarrow \Delta E/ E_0 \lesssim E/ E_0 \sim 10^{-6}$!!

I neutroni richiedono poteri risolutivi di gran lunga meno impegnativi da un punto di vista strumentale:

$E_0 \sim 25$ meV, $E \sim 10$ meV $\Rightarrow \Delta E/ E_0 \lesssim E/ E_0 \sim 4 \cdot 10^{-1}$!!



Scattering anelastico di neutroni: i fondamentali

Ma è possibile misurare qualsiasi scambio di energia e impulso?

La risposta è NO. Capiamo perché. Se si combinano le due leggi di conservazione si trova la relazione generale che lega Q e ω, attraverso l'angolo di scattering (considerato come parametro nelle varie curve mostrate sotto):

$$\omega_0 = \frac{\hbar k_0^2}{2m} \qquad \frac{k_1}{k_0} = \sqrt{1-\frac{\omega}{\omega_0}} \qquad Q^2 = k_0^2 + k_1^2 - 2\,k_0 k_1 \cos\theta$$

dalla conservazione dell'energia

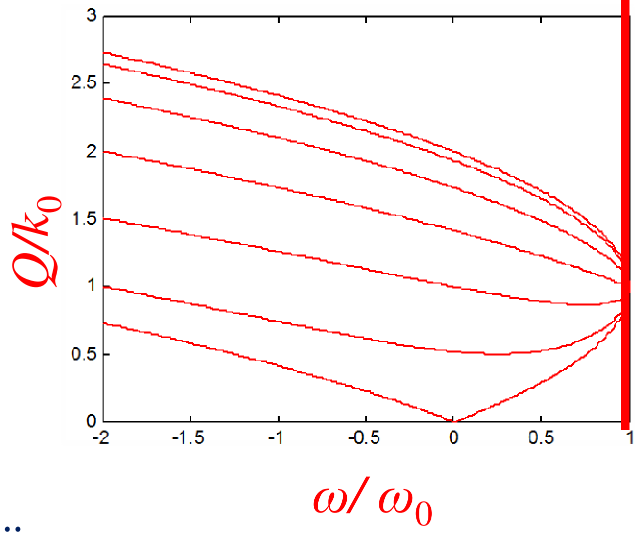
dalla conservazione dell'impulso

$$\boxed{\frac{Q}{k_0} = \sqrt{1+\left(1-\frac{\omega}{\omega_0}\right) - 2\cos\theta\sqrt{1-\frac{\omega}{\omega_0}}}}$$

FIGURA FONDAMENTALE!!

(caso della geometria diretta)

$\omega < \omega_0$



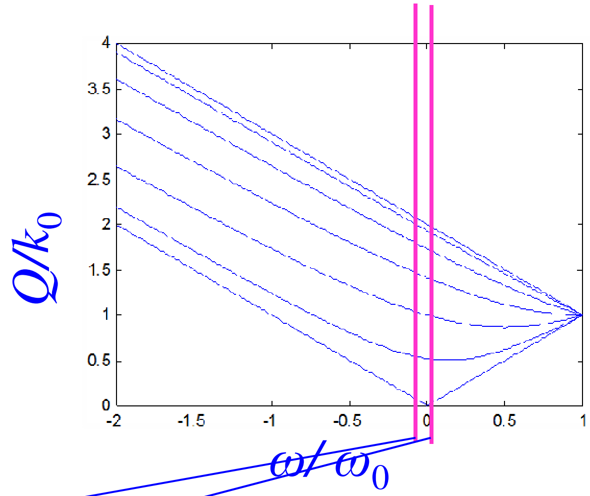
Una situazione simile vale, in unità ridotte, anche per i raggi X....

raggi X

$$\omega_0 = ck_0$$

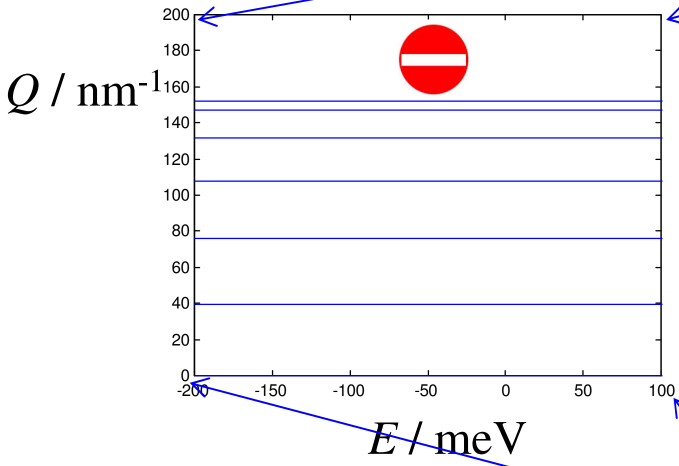
$$\frac{k_1}{k_0} = 1 - \frac{\omega}{\omega_0}$$

$$\frac{Q}{k_0} = \sqrt{1 + \left(1 - \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 - 2\cos\theta\left(1 - \frac{\omega}{\omega_0}\right)}$$



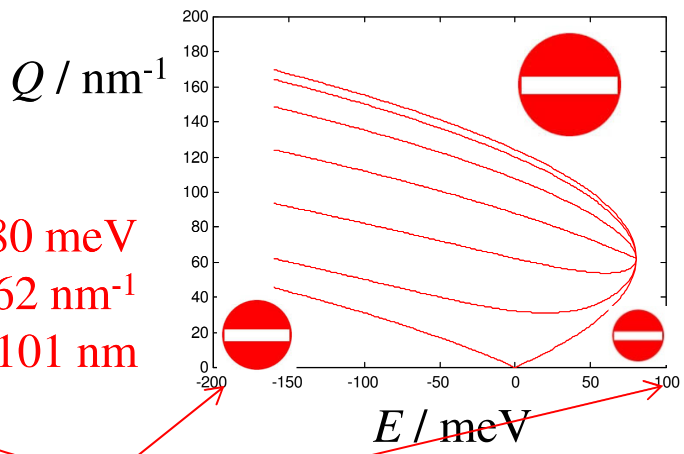
Ma in unità assolute la situazione è ben diversa fra le due sonde:

raggi X



E_0=15 keV
k_0=76 nm^{-1}
λ_0=0.083 nm

neutroni

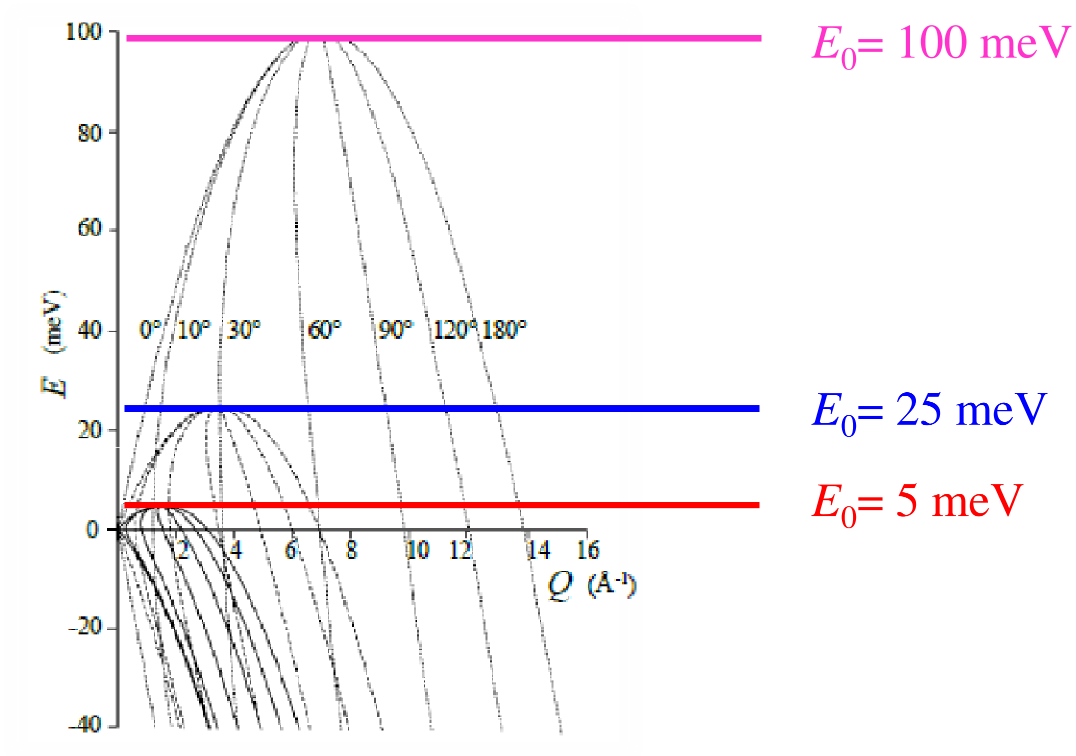


E_0=80 meV
k_0=62 nm^{-1}
λ_0=0.101 nm

STESSO
range di *E*!!

Scattering anelastico di neutroni: i fondamentali

Ma aumentando l'energia incidente….



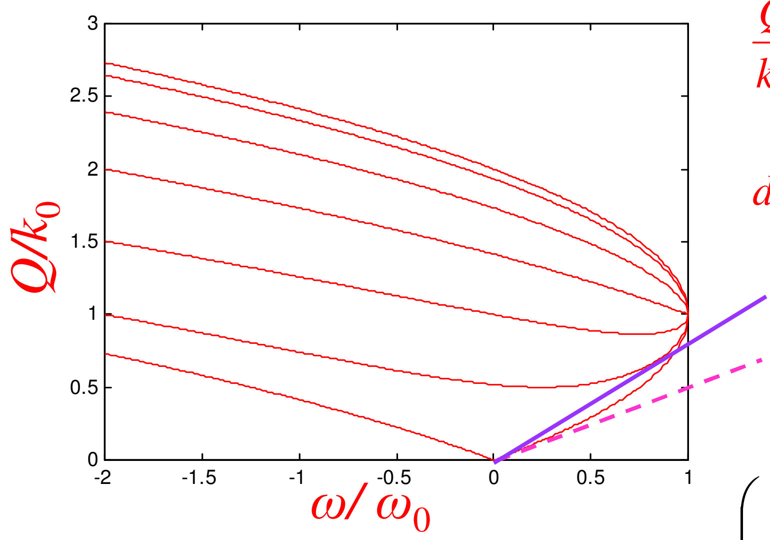
Aumentando l'energia incidente si mappano zone sempre più ampie del piano cinematico (*Q*, *E*), ma purtroppo "la coperta è corta", infatti non può essere aumentata a piacere poiché ciò comporta un **peggioramento critico della risoluzione in energia** raggiungibile ed una riduzione netta della possibilità di osservare eccitazioni con energia e vita media (larghezza delle righe anelastiche) troppo piccole rispetto all'energia incidente.

Scattering anelastico di neutroni: i fondamentali

Esempio: condizioni per l'osservabilità di eccitazioni acustiche

In liquidi semplici non conduttori la frequenza dei modi collettivi segue, al di sotto di certi valori di Q (per es. per Q < 3 nm^{-1}), la legge lineare prescritta dalla teoria idrodinamica: $\omega = c_s Q$, con c_s velocità adiabatica del suono.

Se non si sceglie opportunamente l'energia incidente in base al valore (presunto) di c_s si rischia di non osservare l'eccitazione: i neutroni devono essere sufficientemente energetici per eccitarla, i.e. la retta idrodinamica deve essere ben contenuta nella regione cinematica ammessa e quindi avere coefficiente angolare maggiore della tangente in ω=0 alla curva per θ=0:



$$\frac{Q}{k_0} = \sqrt{1+\left(1-\frac{\omega}{\omega_0}\right)-2\sqrt{1-\frac{\omega}{\omega_0}}} = \sqrt{\left(1-\sqrt{1-\frac{\omega}{\omega_0}}\right)^2} = 1-\sqrt{1-\frac{\omega}{\omega_0}}$$

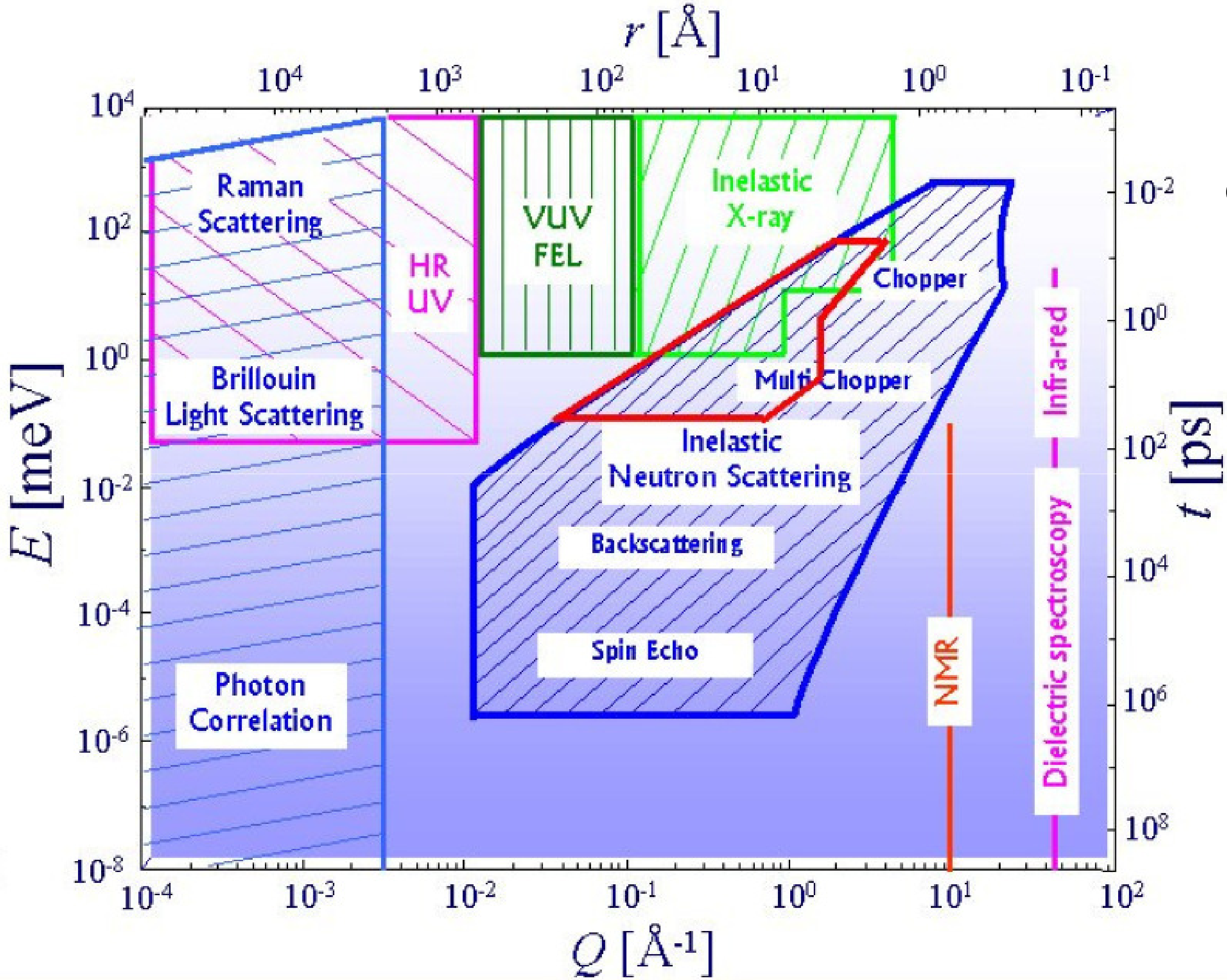
$$d\left(\frac{Q}{k_0}\right)\Big/ d\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)\Bigg|_{\omega=0} = \textit{coefficiente angolare} = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{Q}{k_0} = \boxed{\frac{1}{2}}\frac{\omega}{\omega_0}$$

$$\omega = c_s Q \Rightarrow \frac{\omega}{k_0} = \frac{c_s Q}{k_0} \Rightarrow \frac{Q}{k_0} = \left(\frac{1}{c_s k_0}\right)\omega = \boxed{\left(\frac{\omega_0}{c_s k_0}\right)}\frac{\omega}{\omega_0}$$

$$\left(\frac{\omega_0}{c_s k_0}\right) > \frac{1}{2} \Rightarrow c_s < \frac{2\omega_0}{k_0} = \frac{2E_0}{\hbar k_0} = \frac{m v_0^2}{m v_0} = v_0$$

$$\boxed{c_s < v_0}$$

Dynamical ranges and comparisons



(10^{-14} s = 10 fs)

(10^{-12} s = 1 ps)

(10^{-10} s = 0.1 ns)

(10^{-8} s = 10 ns)

(10^{-6} s = 1 μs)