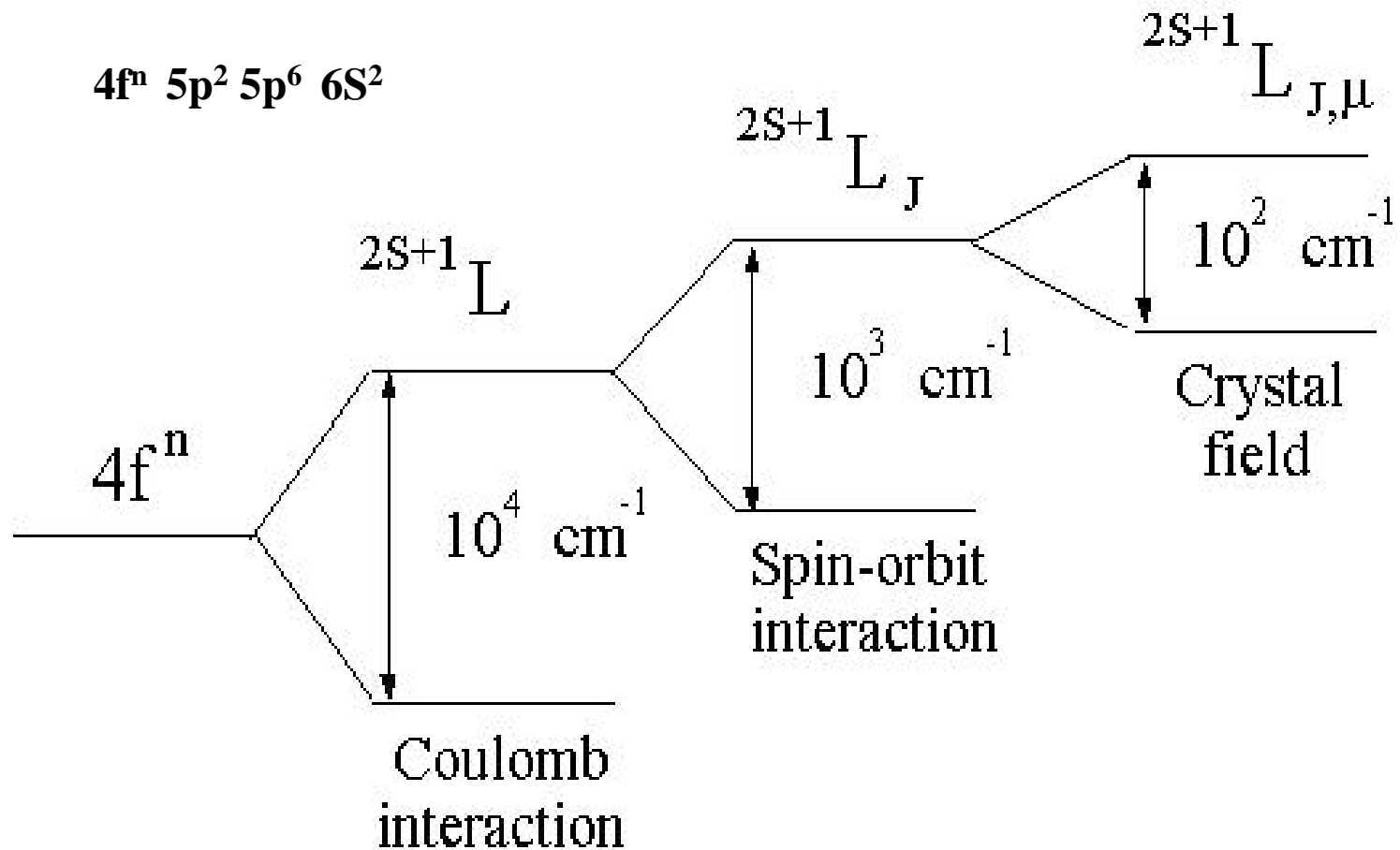


Pisa -1 Luglio 2013-Gruppo V

Double Resonance Laser (DORELAS)

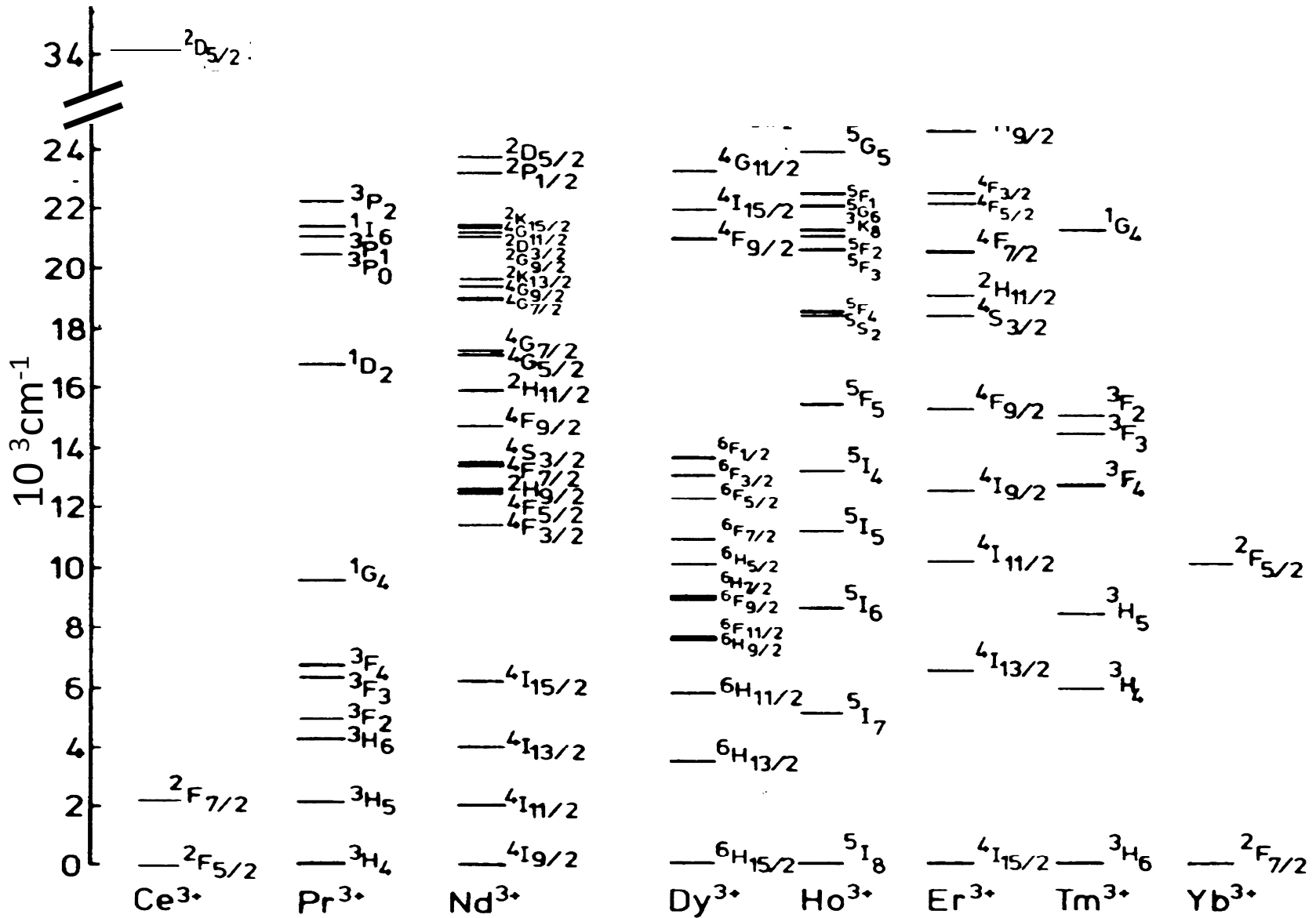
- Terre rare trivalenti
- Sistema di crescita dei cristalli
- Cristalli ed applicazioni
- Stato attuale dei rivelatori a bassa soglia di radiazione
- Rivelatori IR a stato solido a doppia risonanza
- Proposta: **applicare questo processo per rivelatori di radiazione a bassa soglia**
- Persone coinvolte e richiesta finanziaria

Rare earths in crystals



$1 \text{ eV} = 8065.54429 \text{ cm}^{-1}$

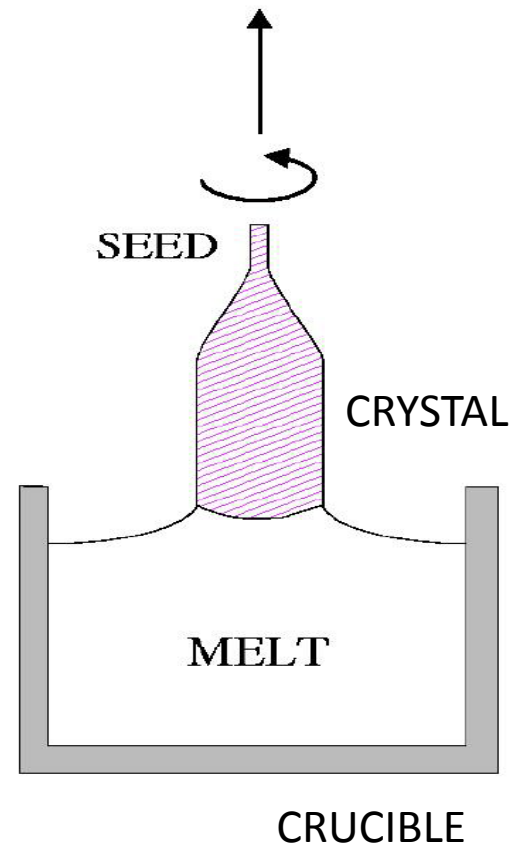
Rare earth energy levels



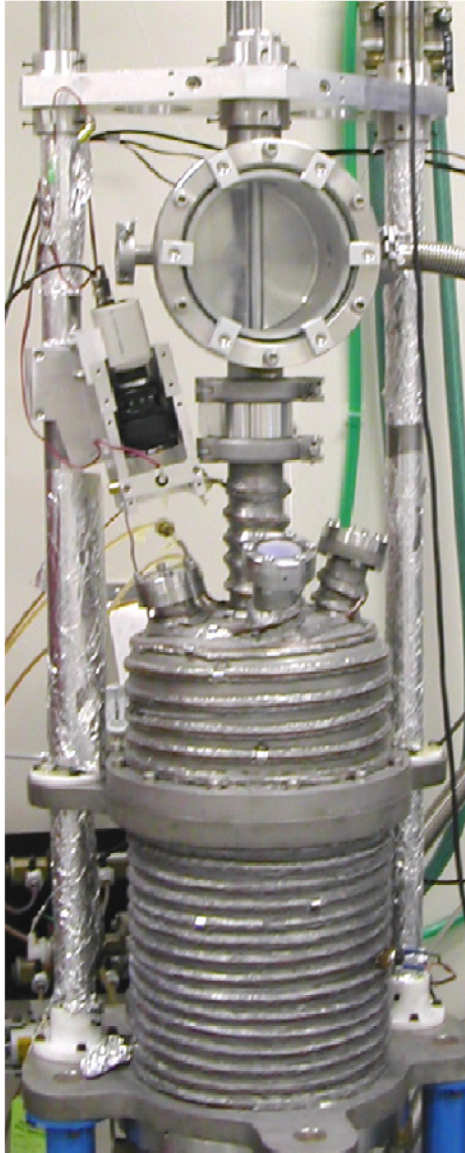
Czochralski method

Liquid phase growth

- Supercooling
- Pull
- Rotation



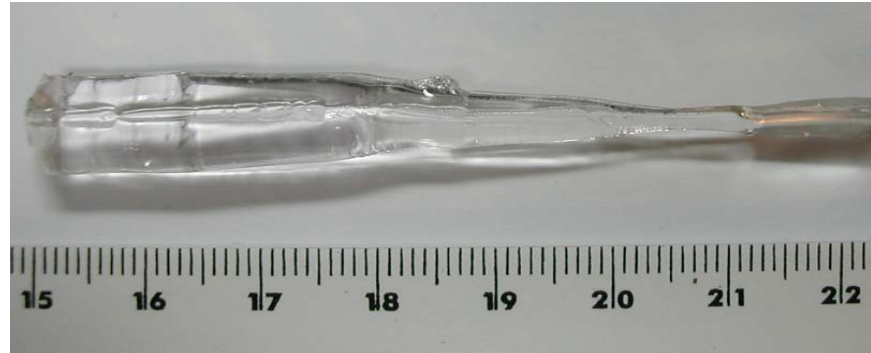
Czochralski Furnaces: Pictures



Esempi di alcuni cristalli drogati con ioni di terre rare



BAY₂F₈ : 0.8% Nd³⁺



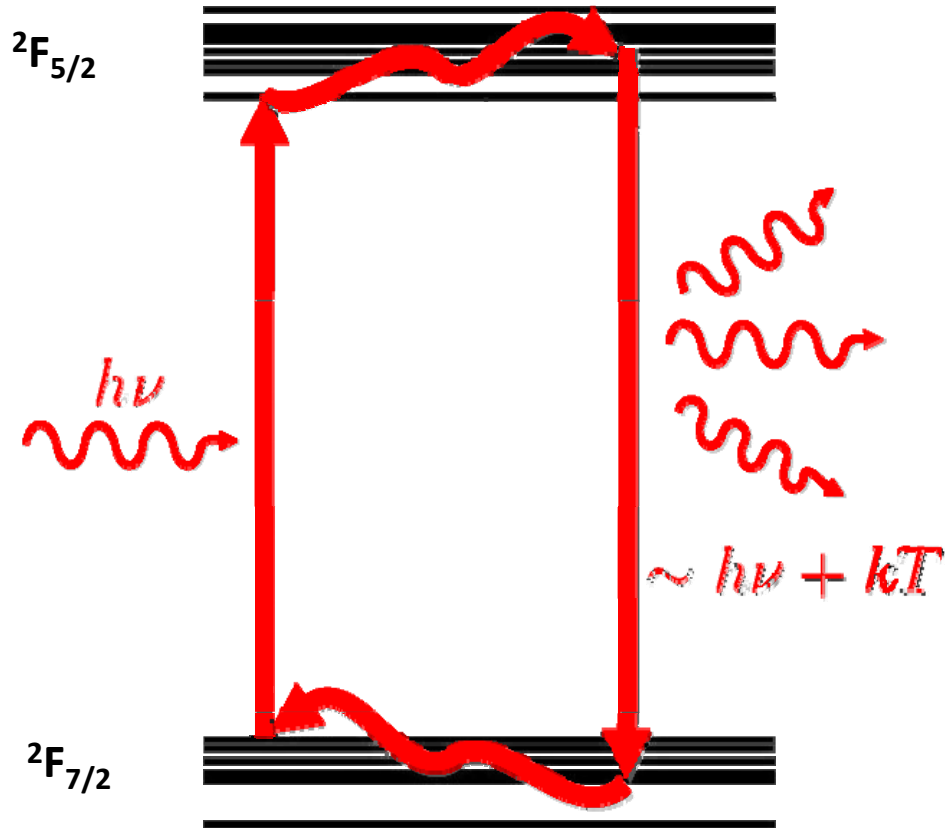
LiYF₄:5% Yb³⁺



BAY₂F₈ : 1% Pr³⁺

- Laser UV-VIS-IR
- Photovoltaic Application
- Scintillator
- Biomedical application
- Quantum computation
- Solid state cryocooler
-

What is laser cooling: the anti-Stoke cycle



Yb³⁺ multipletts

Average wavelength of the emitted photons:

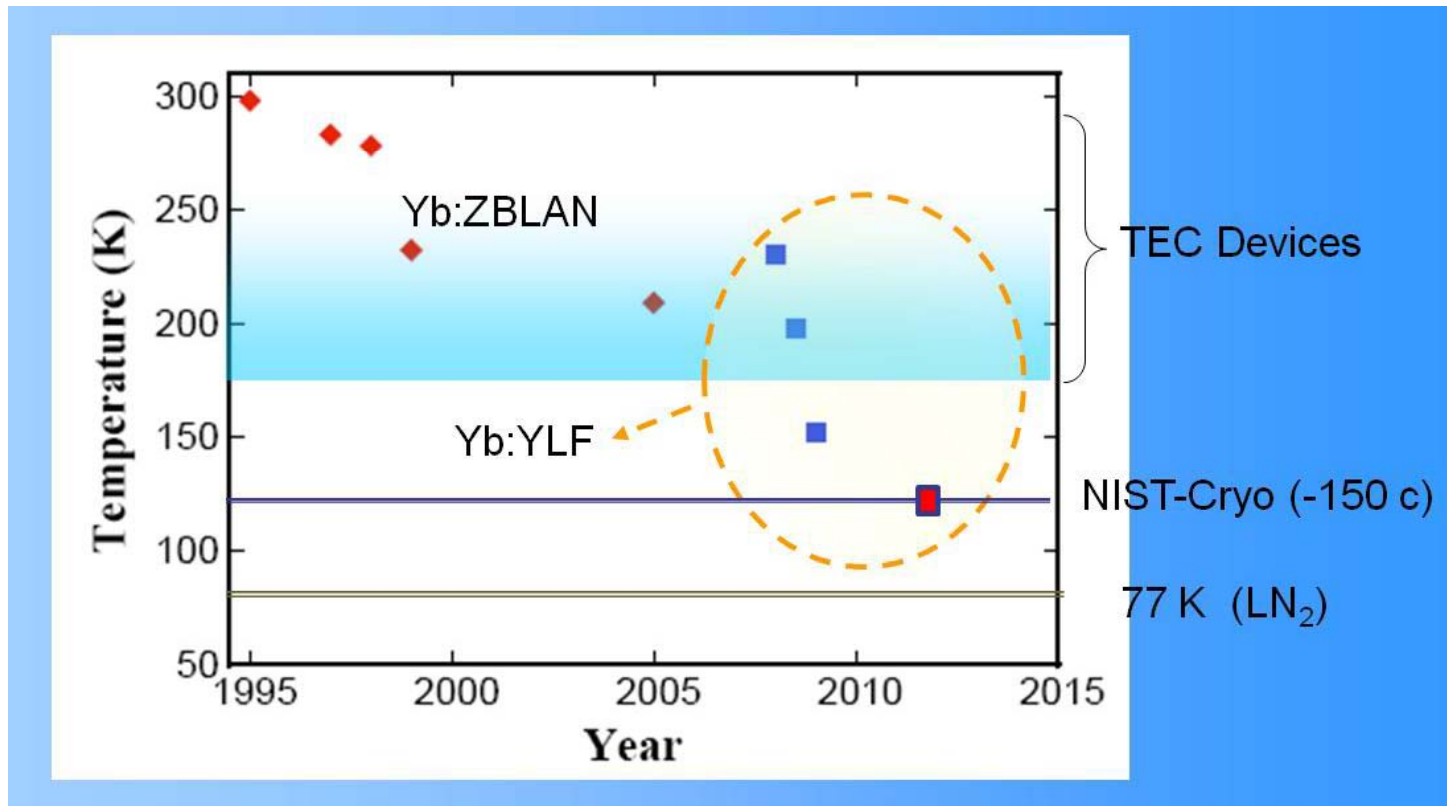
$$\lambda_f = \frac{\int I(\lambda)\lambda d\lambda}{\int I(\lambda)d\lambda}$$

Ideal case: each emitted photon carries off an amount of energy

$$\Delta E = h\nu_f - h\nu \approx kT$$

$$\eta_{cool} = \frac{P_{cool}}{P_{abs}} = \frac{h\nu_f - h\nu}{h\nu} \approx \frac{kT}{h\nu}$$

Optical Cooling



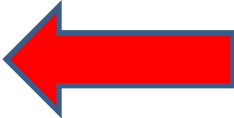
Now the lowest temperature: 119+₋₁ K (~ -154 C)! (124 K cooling power 50 mWatt)

- Opt. Letters **38** (2013) 1588-1590
- Nature Photonics **4** (2010) 161-164
- Opt. Express **18** (2010) 18061-18066

$$\alpha_{\beta} = \sim 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$\eta_{cool}(\lambda, T) = \eta_{ext} \left[\frac{1}{1 + \alpha_b / \alpha(\lambda, T)} \right] \frac{\lambda}{\lambda_f(T)} - 1$$

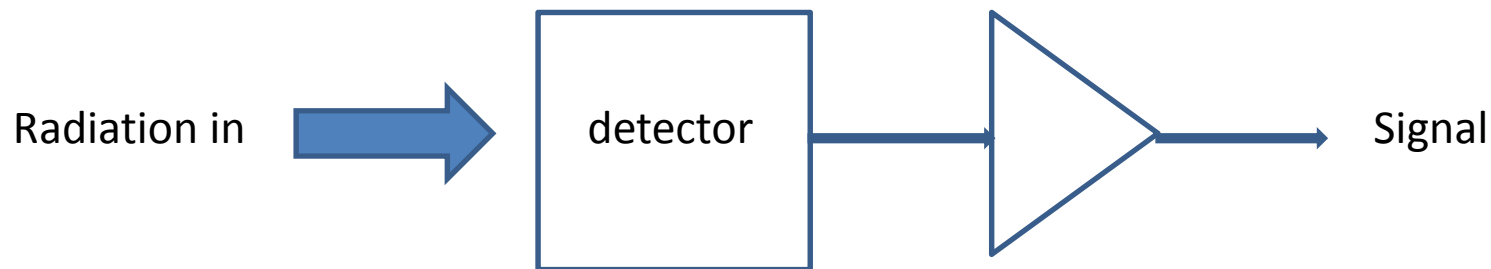
Materials Phonon Energy

- **Oxide crystal** : ~ 800-900 cm^{-1} $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, $\text{Gd}_3\text{Sc}_2\text{Al}_3\text{O}_{12}$, ...
- **Fluoride Crystal**: ~ 300-400 cm^{-1}  LiYF_4 , BaYLuF_8 , LiLuF_4 , ...
- **Chloride Crystal**: ~ 200-300 cm^{-1} LaCl_3 , KPb_2Cl_5 , ...

Stato Attuale Rivelatori Basse Soglie

$$\text{Segnale} \propto E_{\text{rilasciata}} / w_{\text{detector}} \quad (\text{Fano Factor , Quenching Factor,...})$$

$$W \approx 2,5E_{\text{gap}} \quad \text{Shockley}$$

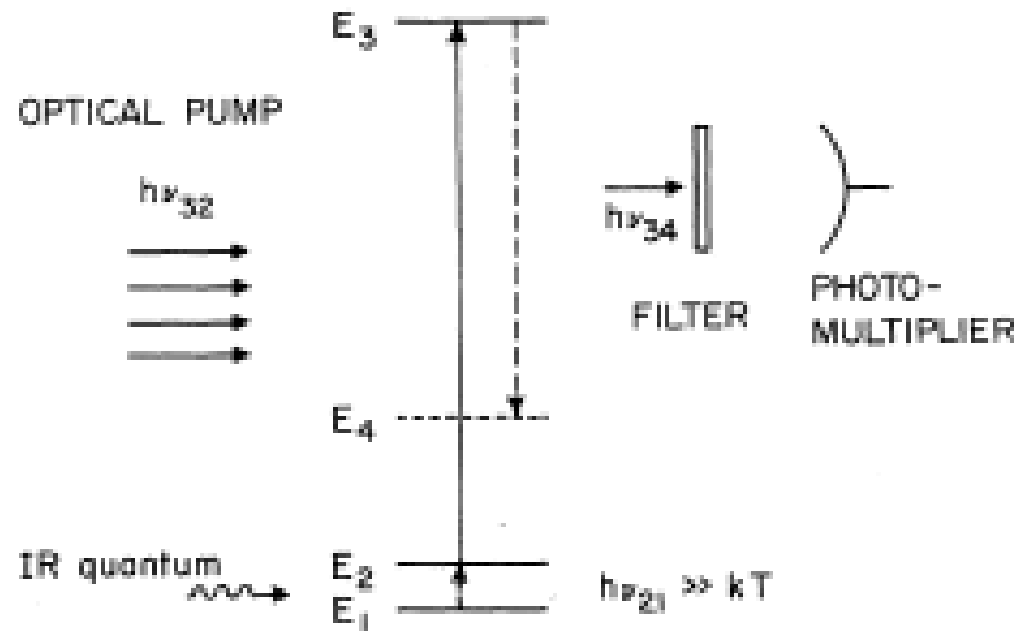


Scintillatori : keV (40 ph/keV) Q.F. bassa per basse energie , F.F. alto

Semiconduttori : 300 eV (1 e/h /3,6 eV Si , 100 elettroni rumore a bassa Capacita')

Bolometri : 100 eV (Capacita termica totale, basse soglie piccole masse e milliKelvin)

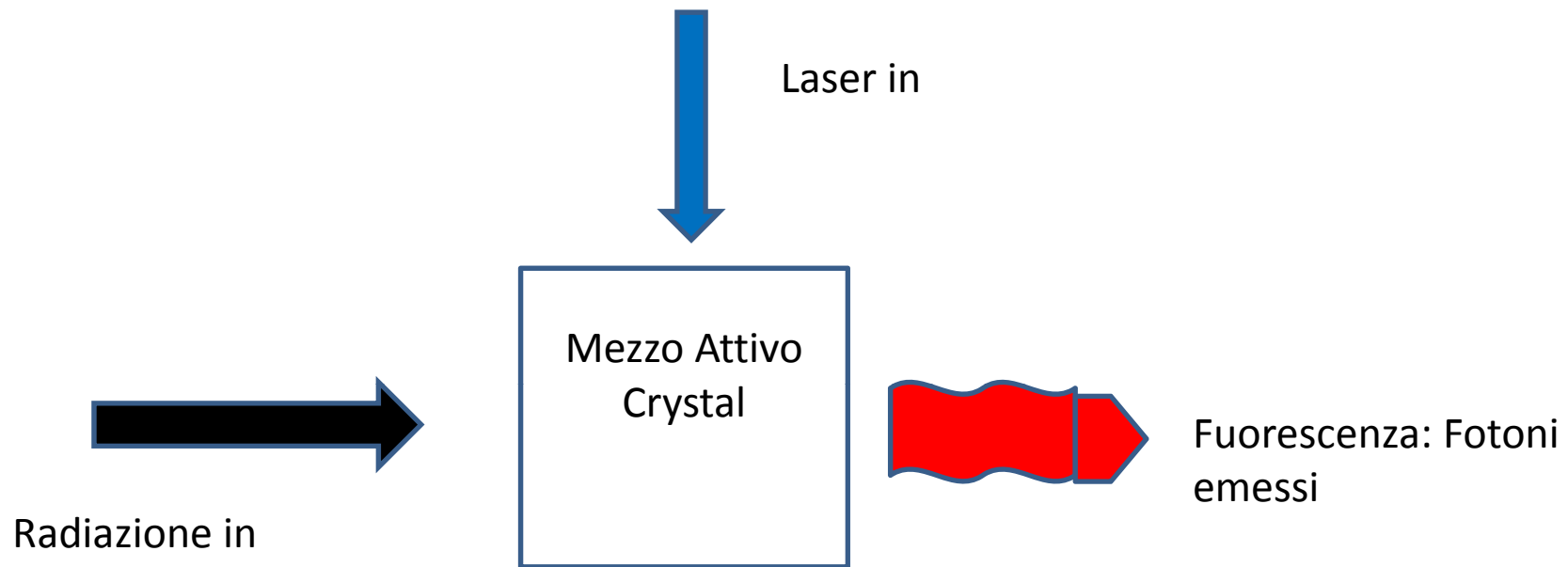
Schema di esperienza di doppia risonanza



N. Bloembergen: Physics Review Letters 2 (1959) 84-85

Prima proposta di un contatore a stato solido

A New Detector Approach For Low Energy Release



Radiazione in Attraverso dE/dx Promuove ioni su stati eccitati

Maggior probabilita' $P(e) = 1/E^2$ su stati di bassa energia

Campo Cristallino Mezzo Attivo rimuove la degenerazione sullo stato fondamentale

Generando primi stati eccitati a livelli di 10 meV

Scattering elettronici su fononi ottici

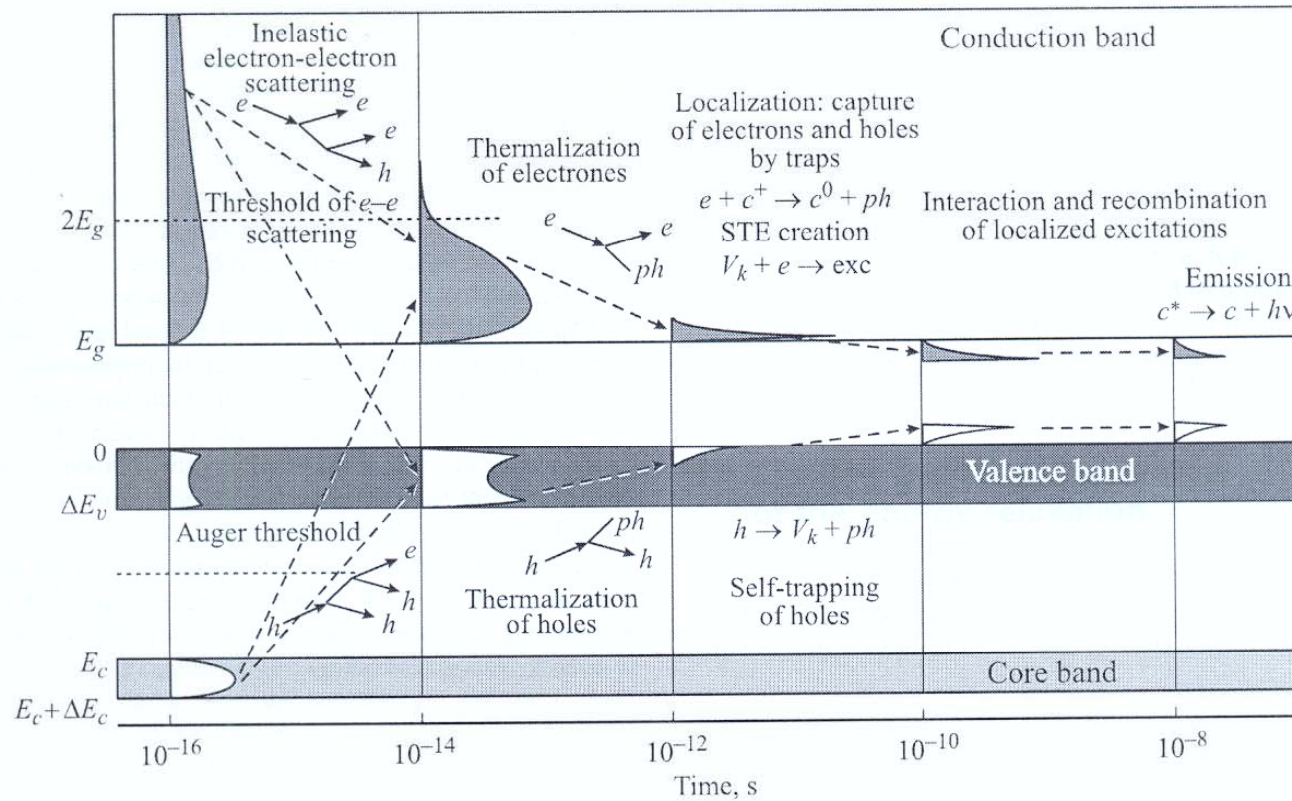
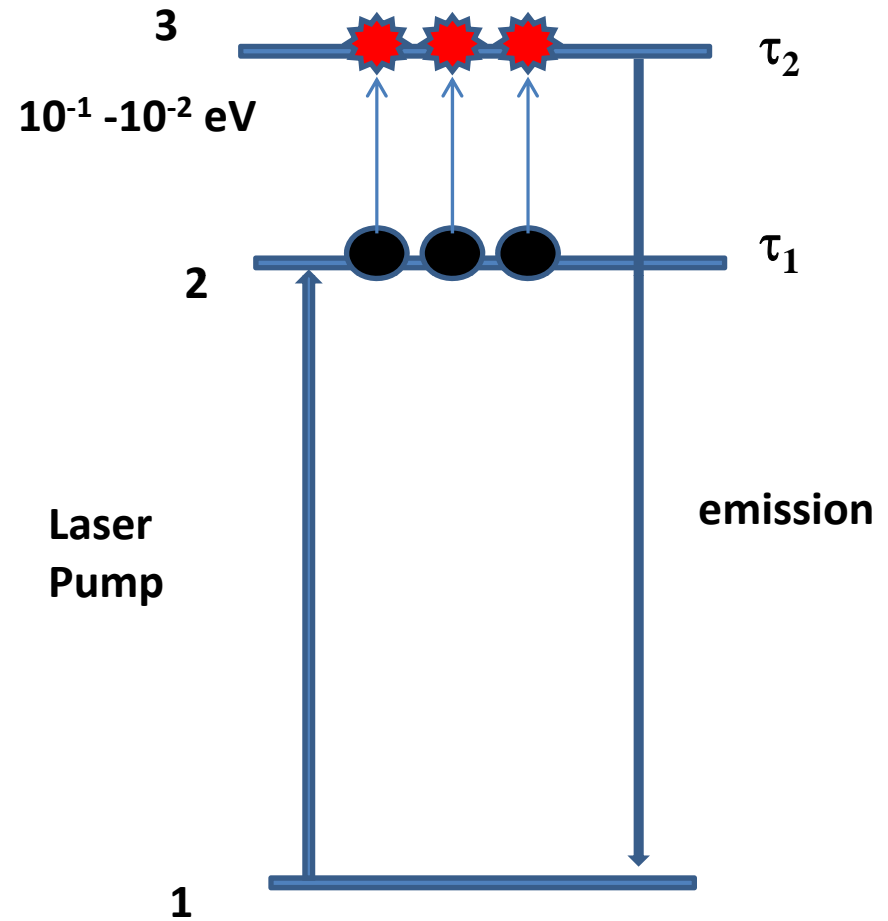
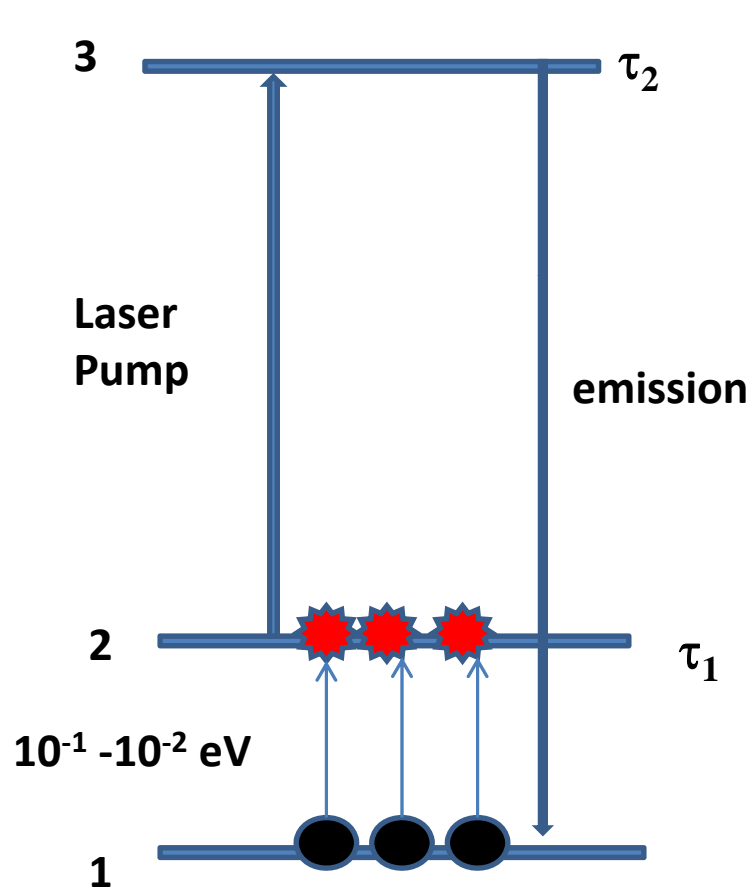


Figure 1. General scheme of relaxation of electronic excitations in an insulating material.

Schema per la doppia risonanza radiazione-laser

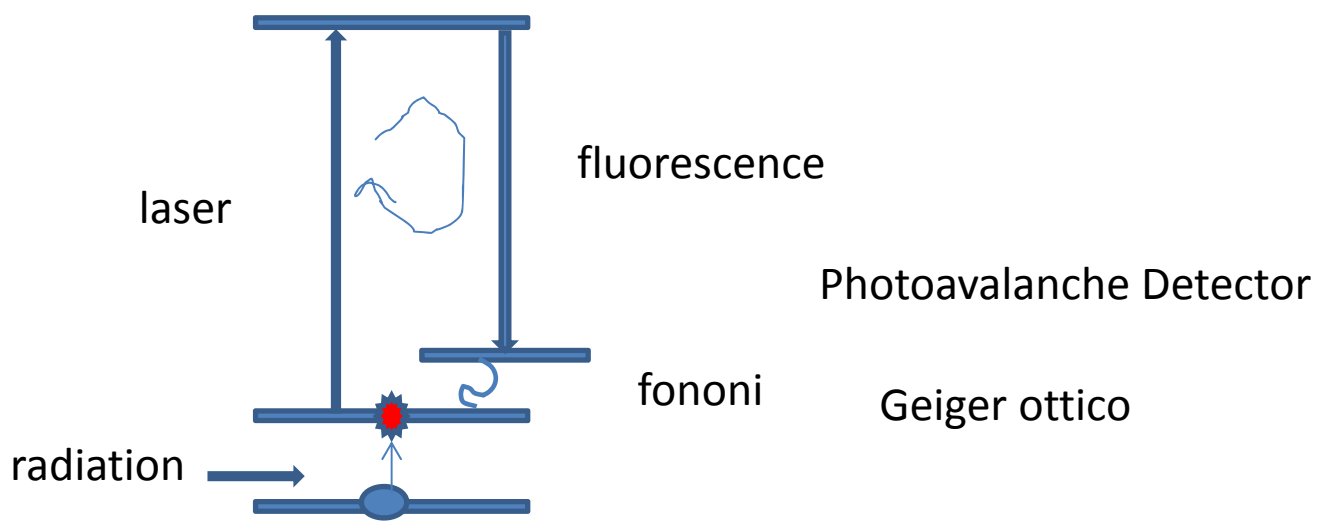
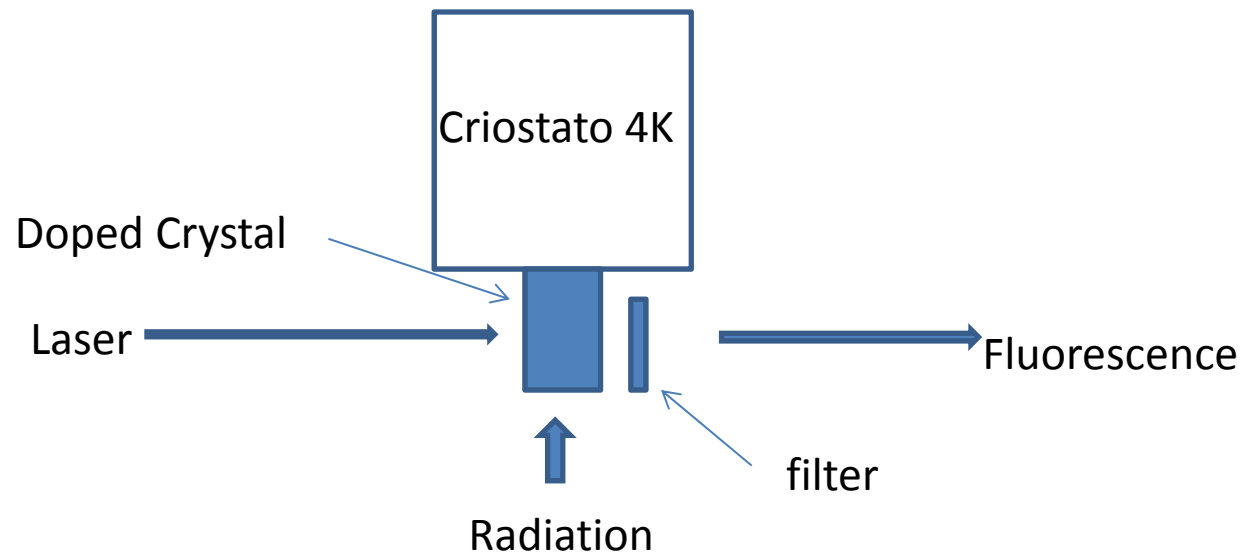


Efficienza del processo nei rivelatori IR

- L'efficienza del processo ($3 \rightarrow$ ground state) e' legato ai parametri della transizione: $W = (Ac^2 I_\nu / 8\pi h \nu^2) g(\nu - \nu_0)$.
- Questo valore puo' raggiungere oltre il 20% in funzione della potenza laser W/m^2
- Naturalmente questo e' legato ai parametri della transizione : **forza dell'oscillatore**, σ_{abs} , **vite medie** (τ_1 e τ_2) e **larghezza della riga di transizione**

- Phys. Rev. **127** (1962) 1542-1548
- J. Applied Physics , **44** (1973) 781-786
- Applied Opt., **42** (2003) 615-620
- IEEE J. Q.E. , **13** (1977) 421-424
- J. Appl. Phys. , **54** (1983) 1261-1267

Possibili schemi per lo sviluppo di rivelatori DORELAS



Esempi per DORELAS

- **Dy³⁺** : ${}^6\text{H}_{15/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{13/2}$, 0.35 eV, $\tau {}^6\text{H}_{13/2} = 6$ ms (4K);
 ${}^6\text{H}_{13/2} \rightarrow {}^4\text{G}_{11/2}$ eccitazione $\sim 405 - 445$ nm, emissione
gialla e rossa
- **Ho³⁺**: ${}^5\text{I}_8 \rightarrow {}^5\text{I}_7$, 0.5 eV, $\tau {}^5\text{I}_7 = 20$ ms (4K),
eccitazione ~ 740 nm (${}^5\text{I}_7 \rightarrow {}^5\text{S}_2$), emissione verde
- **Pr³⁺**: ${}^3\text{H}_4 \rightarrow {}^3\text{H}_5$, 0.2 eV, $\tau {}^3\text{H}_5 = 200$ μs (4K),
eccitazione ~ 640 nm ${}^3\text{H}_5 \rightarrow {}^3\text{P}_2$, emissione blu, verde
e rosso

Piano Ricerca 3 Anni

Sezioni : Padova , Pisa 1 FTE , Cagliari

Pisa (persone) : Alberto Di Lieto 50%, Mauro Tonelli 50%

- Componentistica di crescita (Pt 99.99%) : Crogiolo + Estensione
- Polveri di crescita 99.999% e Gas Ar della stessa purezza
- Componentistica per la crescita : Schermi Molibdeno + viti Tantalio+ manufatti di grafite
- Elio Liquido
- Lampada Xe con opportuni filtri IR
- Pompa da vuoto a secco
- laser a diodo singolo modo
- Trasferte: congressi+Italia

Richieste Finanziarie : 2014 30 K€ , 2015 25K€ , 2016 20K€ = Tot. 75 K€

Nessuna richiesta di servizi (elettronica e officina) dalla Sezione