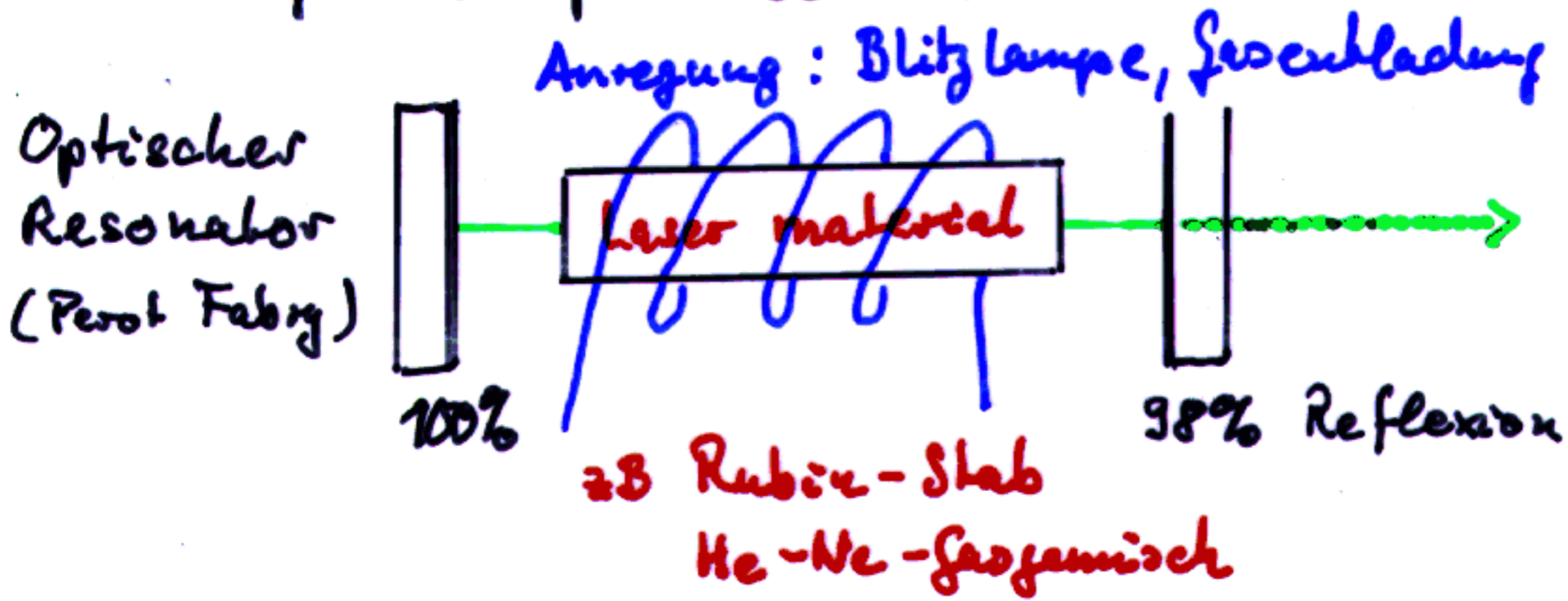
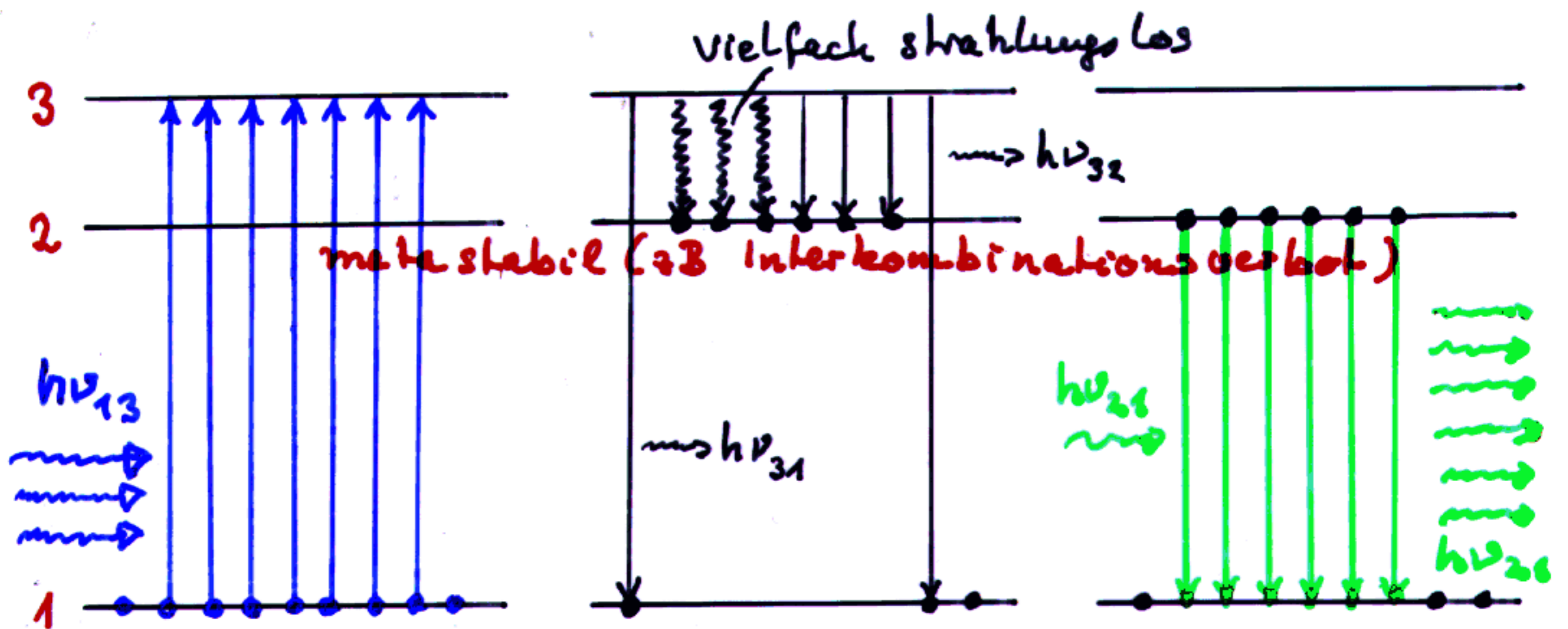


a) LASER Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Prinzip aus Optik bekannt:



3-Niveau-Laser



Pumpprozess
(bestenfalls 1-3
gleichbesetzung)

Besetzungsumkehr
(2 mehr als 1)

induzierte
Emission ($h\nu_{21}$)
im Laser-Resonator
"aufgeschaukelt"

i) He-Ne-Gaslaser

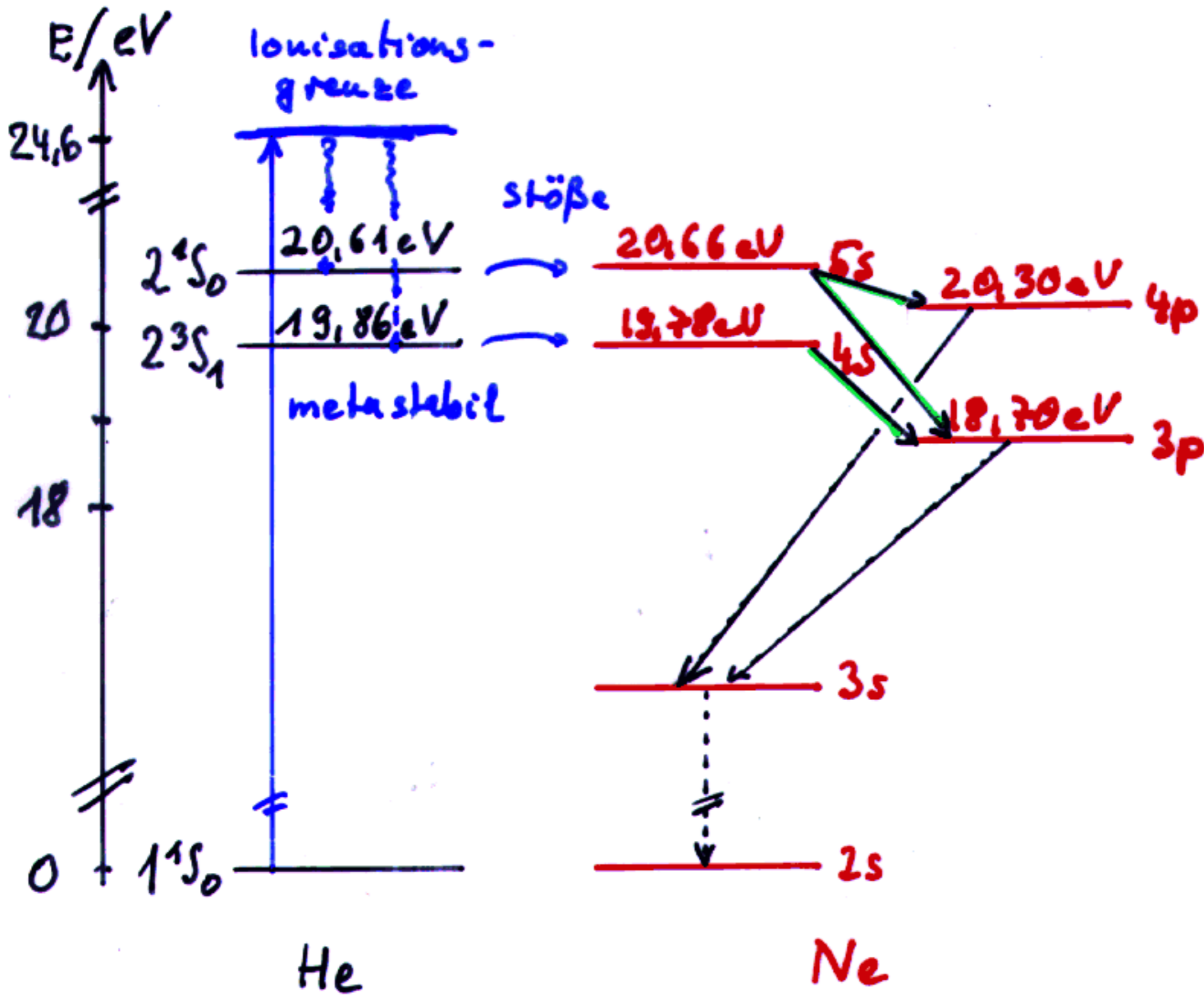
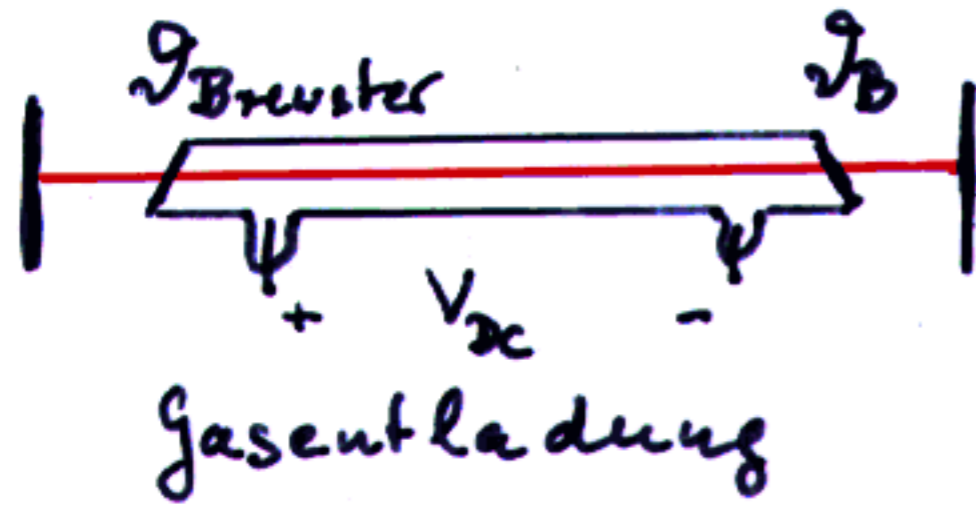
ii) Nd-YAG- oder Nd-Glas-Laser (Yttrium-Alum.-Granat)

iii) Rubin-Laser ($Al_2O_3 : Cr^{3+}$)

i) Helium - Neon - Laser

He : Ne ≈ (5-10) : 1

kontinuierlich (Continuous Wave)



Laser - Linien

- 3391,2 nm
- 632,8 nm
- 1152,3 nm

Pumpprozess: Stöße in Gasentladung, He metastabile Niveaus

Inversion: Inelastische He → Ne - Stöße

3 nutzbare Ne - Laserlinien

ii), iii) Festkörper Laser, Übergangsmetallionen Nd^{3+} , Cr^{3+} V/17
als aktive Zentren

> MW/cm²
i.d.R. gepulst

ii) Nd - Glas - oder Nd - YAG - LASER

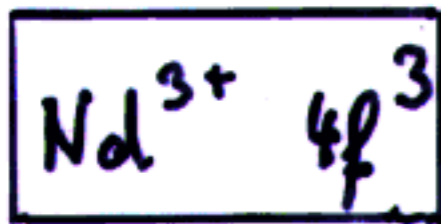
↑ Glas

ungeordnet

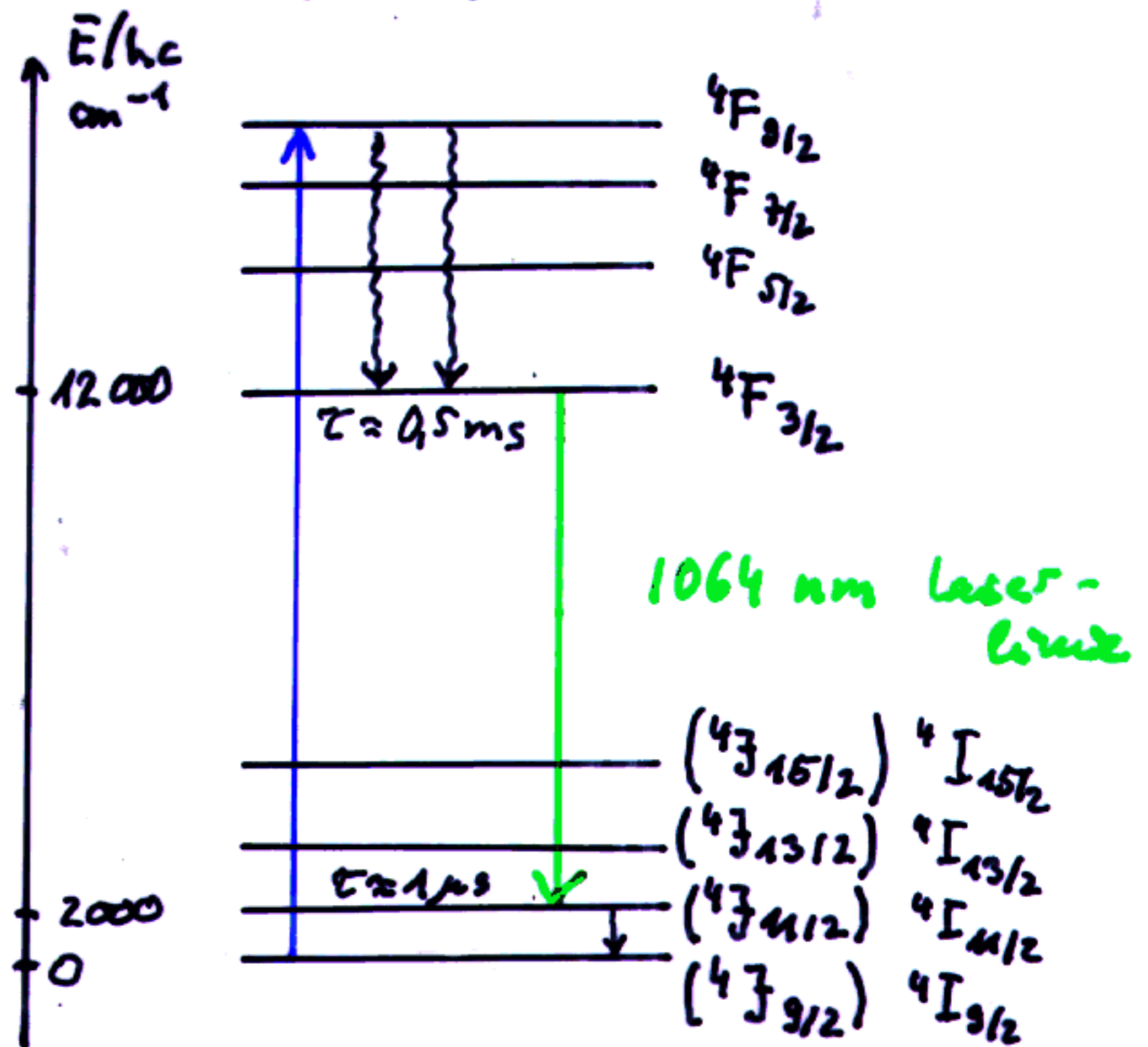
↑ Kristall

wohlgeordnete Nachumgebung

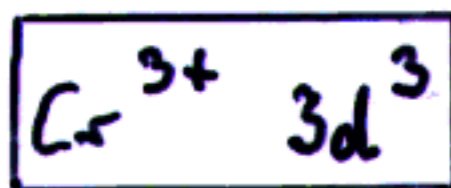
→ primär Einzelioneffekte genutzt (Spin-Bahn-Aufspaltung)



"4-Niveau-Laser"



iii) Rubin-Laser : $\alpha - Al_2O_3 : Cr^{3+}$ (0,05%) ; Einkristall
Maiman (1960)



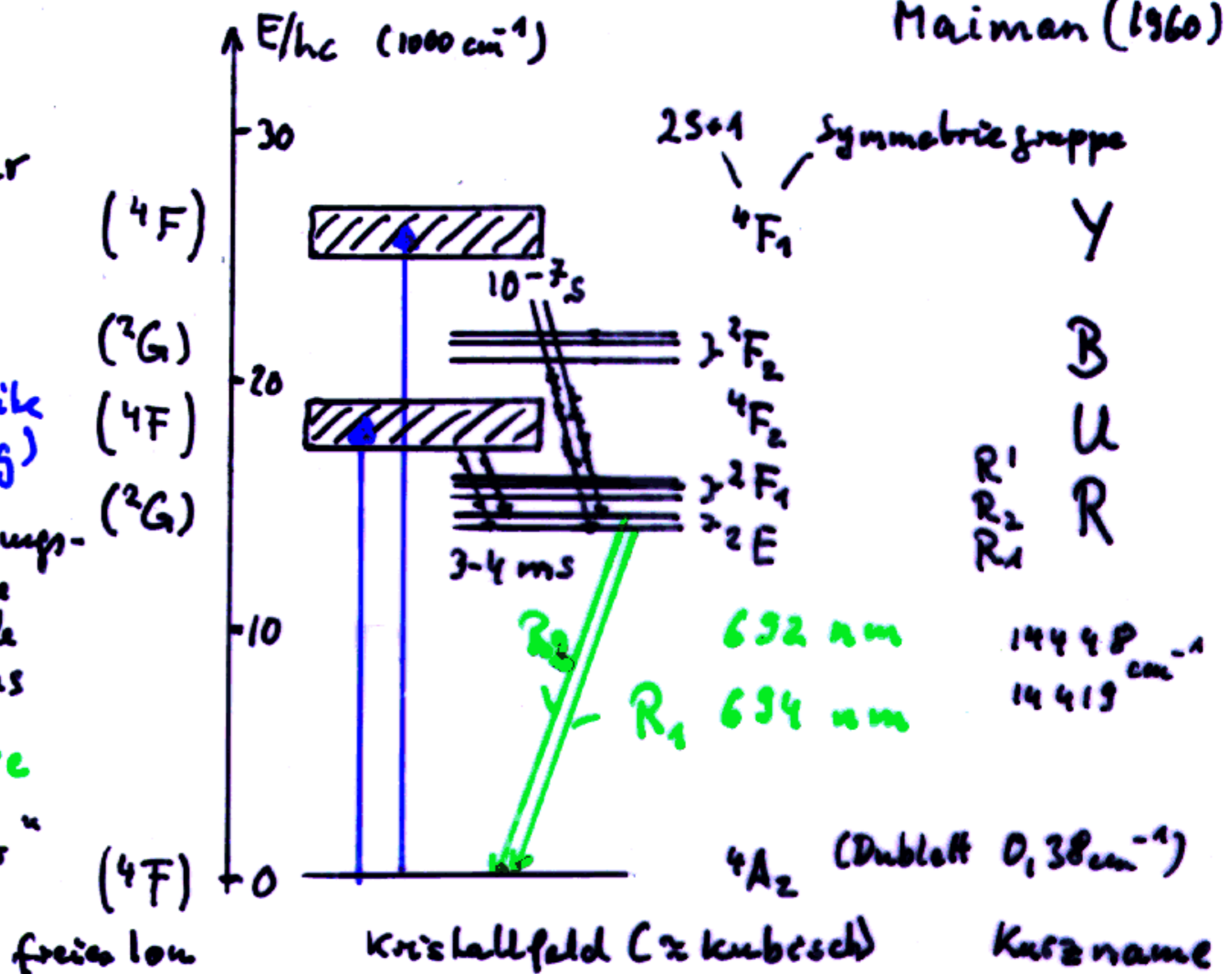
dominierender
Kristallfeld-
Einfluß

Pumpen in breite
U, Y-Bänder (Hg)

schnelle, strahlungs-
lose Übergänge
in metastabile
 R_1, R_2 -Niveaus

rote Laserlinie

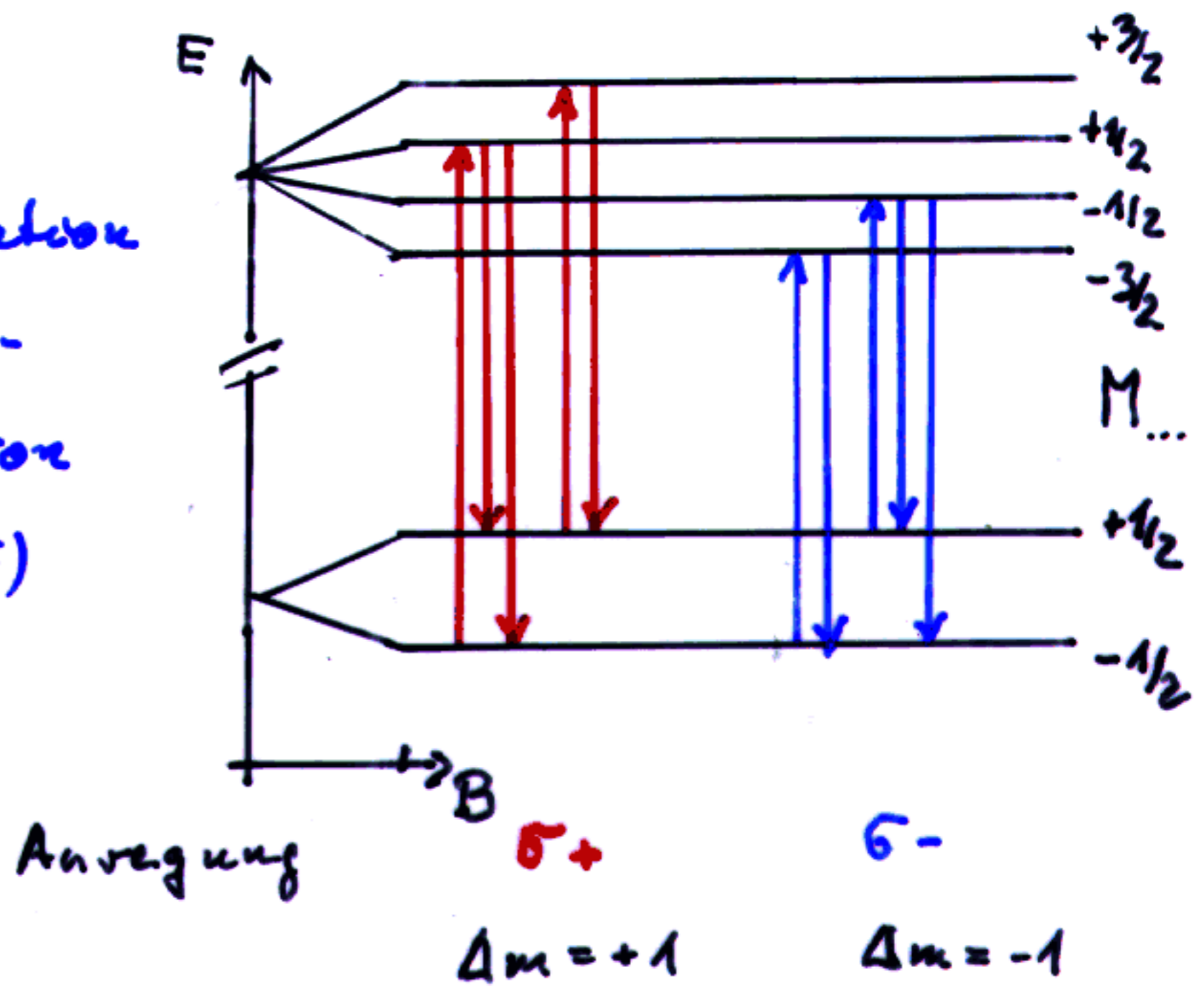
"3-Niveau-Laser"



b) Pompage optique

(N) 1966 Alfred Kastler

Optisches Pumpen
 Elektronenspin-Polarisation
 Hyperfeinstruktur \rightarrow Kern-
 spin polarisation
 Doppelresonanz (Opt. + RF)



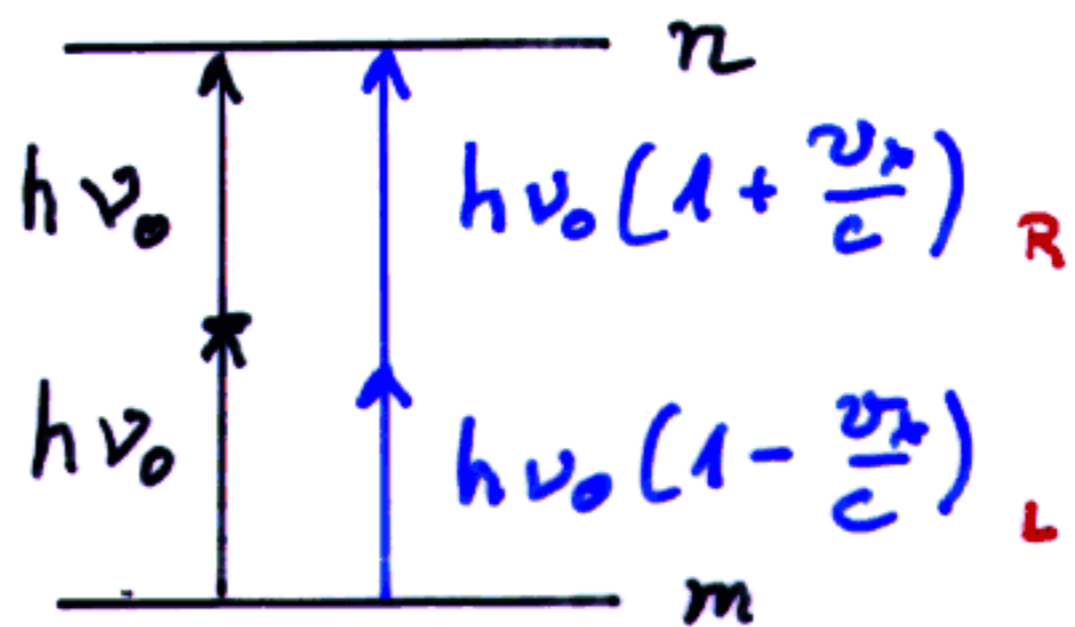
c) Doppler freie Spektroskopie (2 Photonen - Spektroskopie)

(2 Quanten - Übergänge)

$$\nu_{\text{Doppler}} \approx \nu_0 \left(1 \pm \frac{v_x}{c}\right)$$



andere Auswahlregel (gleiche Parität)



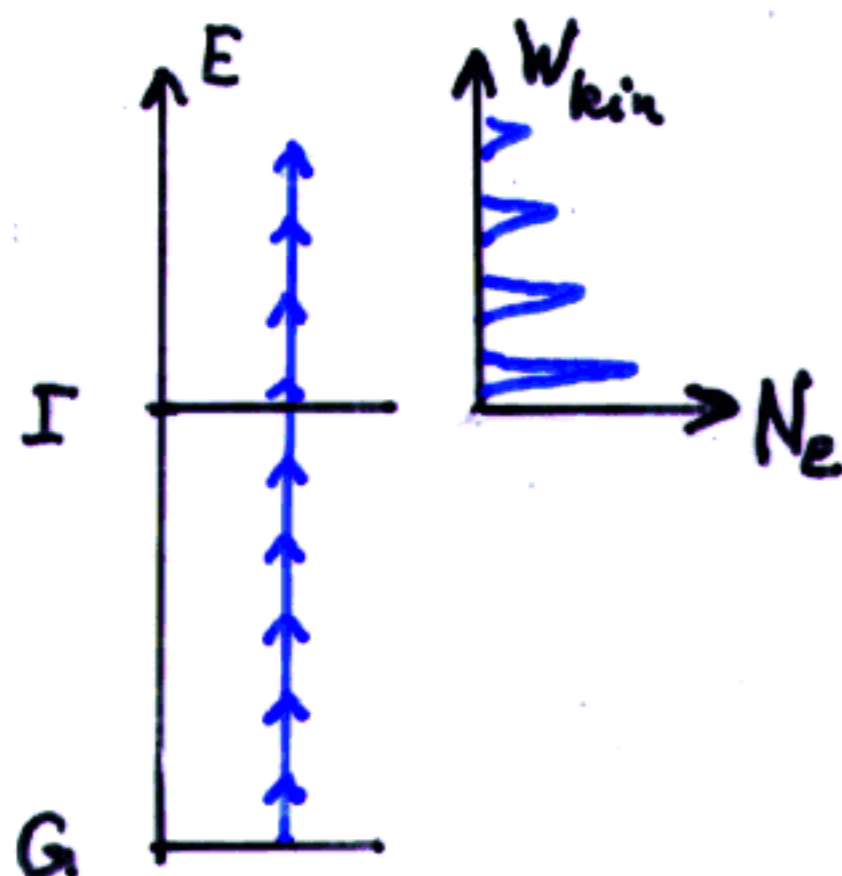
d) Atome in starken Feldern

z.B. Titan-Saphir-Laser $\Phi_{0.1 \text{ mm}}$

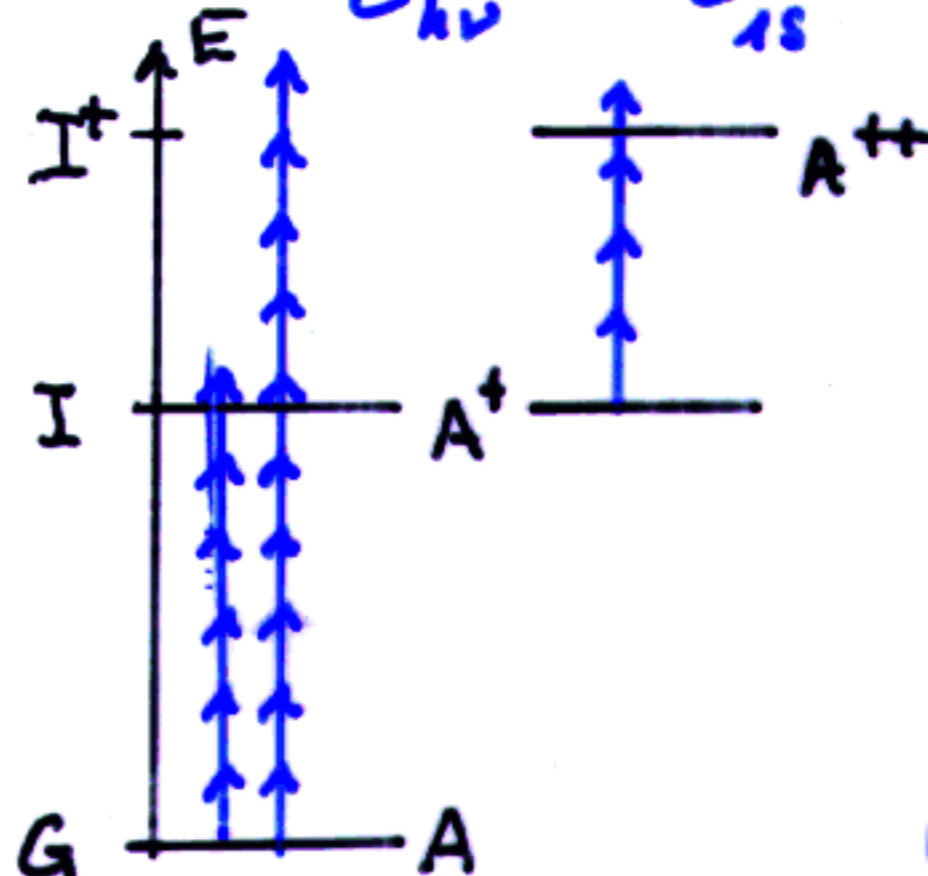
1980-1990 $n \times h\nu$

$\sim 10^{14} - 10^{15} \text{ W/cm}^2, \geq 10 \text{ fs}$

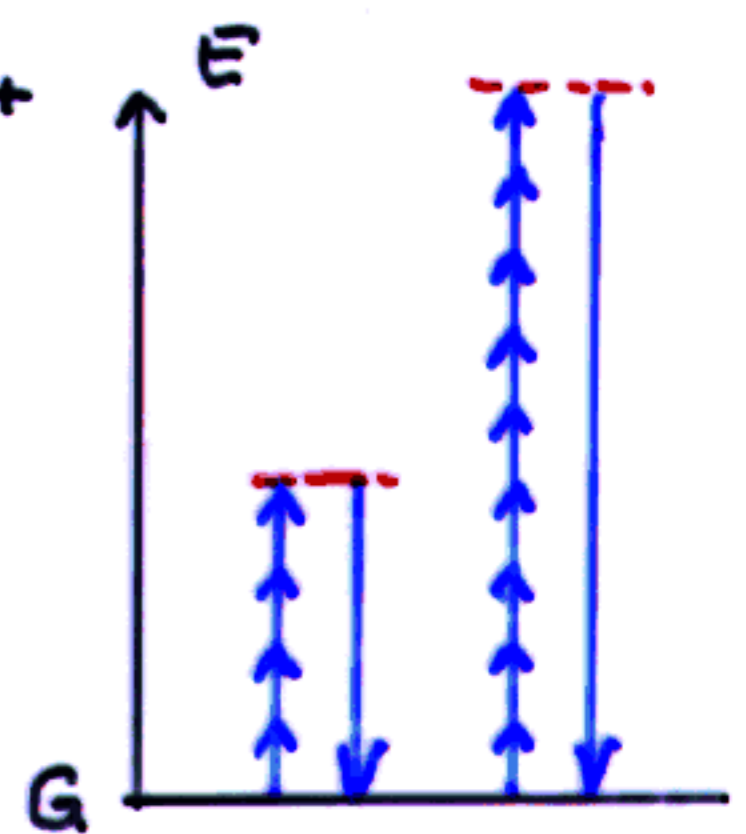
$$\vec{E}_{h\nu} \approx \vec{E}_{1s} \approx 5,1 \cdot 10^9 \text{ V/m}$$



Above Threshold
Ionisation



Multiple
Ionisation



High-order
Harmonic
Generation

V1.E.e) Atomfallen, Atominterferenz, Bose-Einstein-Kondensation, "Atomlaser"

32.B.

Kühlen, Fallen (N) 1997

- Steven Chu (Stanford)
- Claude Cohen-Tannoudji (ENS/CF Paris)
- Bill Phillips (NIST, Boulder)

Bose-Einstein-Kondensation (1995) (N) 2001

- Eric Cornell: Rb (JILA, Boulder)
- Carl Wieman
- Randall Hulet Li (Rice, Houston)
- Wolfgang Ketterle: Na (MIT)

- D
- Gerhard Rempe (Mlynek); Konstanz
 - Ted Haensch; München
 - Wolfgang Ertmer; Hannover

Abkühlen, Abbremsen (Alkali-Atome)

Beschleunigen, Bremsen, Stoppen durch Impulsübertrag mit Laserfeld



isotrope
Reemission

$$p = \frac{h}{\lambda} = \hbar k$$

Impuls + Energiesatz

$$v_{\text{laser}} \approx v_{\text{res.}}$$

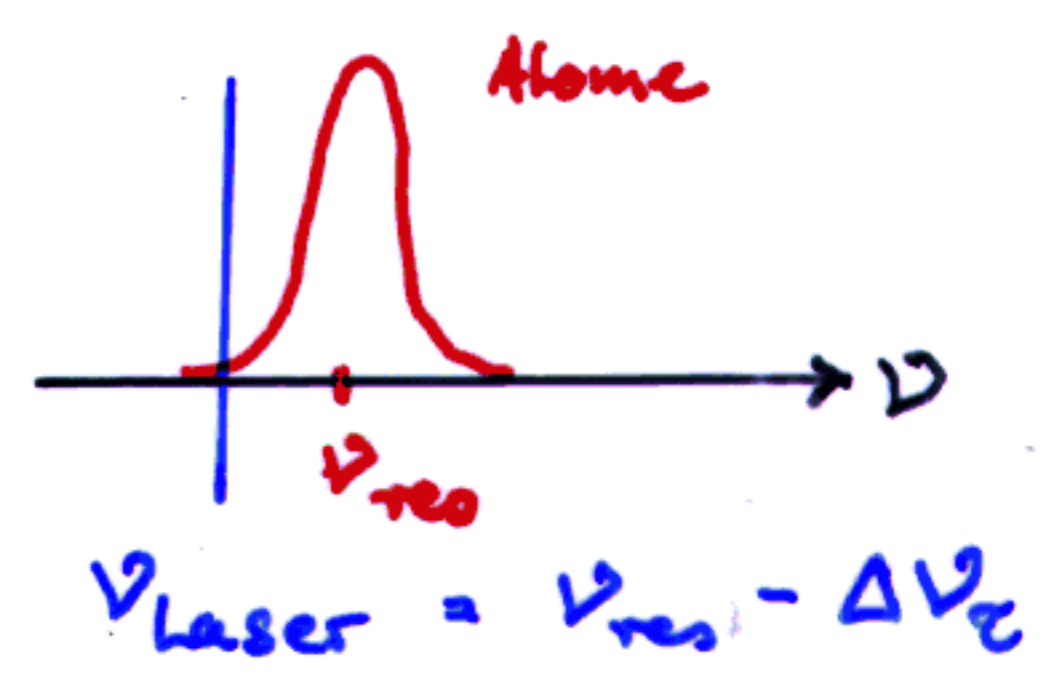
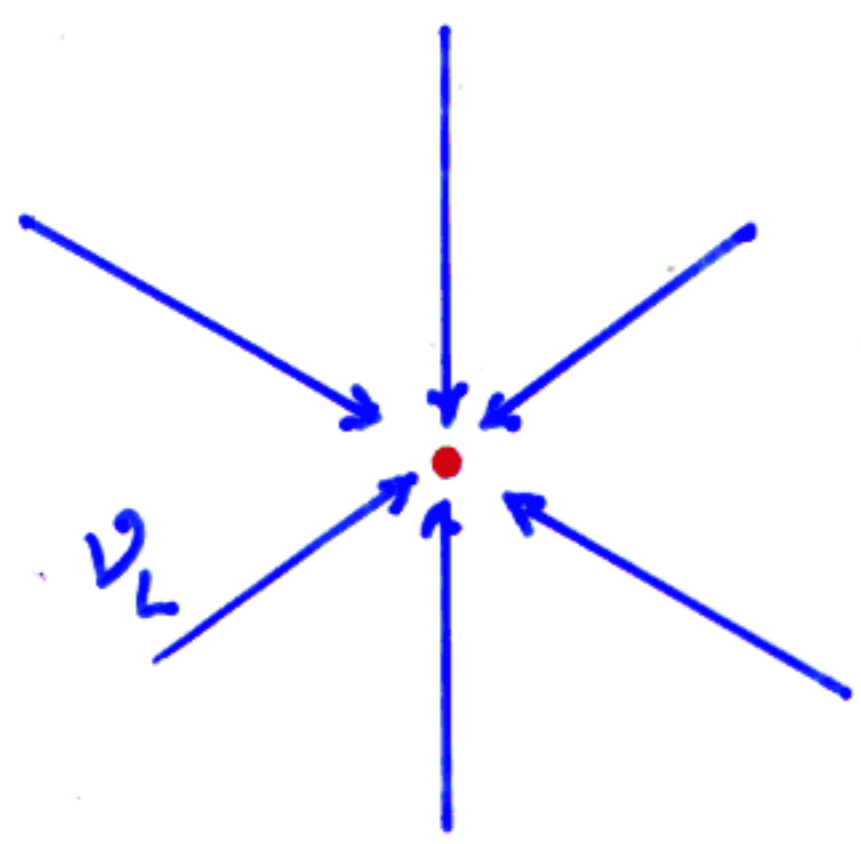
$$\Delta v \approx \frac{0.5 - 1 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}{1 \text{ Absorption}}$$

$$10^7 \frac{(\text{Abs.} + \text{Em.})}{\text{s}}$$

- Einfangen : Dopplerverschiebung variiert beim Bremsen
- Resonanzbedingung variieren
 - Zeeman-Slowing (ortsabhängiges Magnetfeld)
 - Chirp-Slowing (Laserfrequenz synchron variiert)

"Optische Melasse"

3 Paare von Laserbündeln (ν_L)



bewegte Atome immer gebremst

ausbalancierte Kräfte für unbewegte Atome

→ gedämpfte Bewegung (viskoses Medium)

$\frac{m}{2} \overline{v^2} = \frac{3}{2} kT \rightarrow T \approx 1 \text{ mK} \dots 100 \mu\text{K}$; "Doppler-Limit"

Atome durch Diffusionsbewegung verloren.

Fallen 10^{10} Atome, mehr als Sekunden, $T \approx 1 \text{ mK}$

- MOT (magneto-Optic trap) : Inhomogenes Magnetfeld
Atome → lokales Minimum der Zeeman-Verschiebung.
- Fokussierte, verstimmte Laserbündel, AC-Stark-Versch.
- 6 verstimmte, zirkular-polarisierte Laserlichtbündel und schwaches magn. Quadrupolfeld (räuml. antisym.)

Sub-Doppler-Kühlen $T \approx 1 \mu\text{K}$ (Photon-Rückstoß-Limit)

"Freie Expansion", "Verdampfen": schnellste Atome entfernt

→ Bose-Einstein-Kondensation $T < 100 \text{ nK}$

$\sim 0,1 \text{ mm}$ Ausdehnung der Wellenfunktion

("Springbrunnen", "Atomlaser", (g!), "Atominterferenz")