

## TAREFAS

- Ajuste do laser de diodo para bombeamento óptico estável do laser Nd:YAG.
- Determinação a vida útil do nível superior de laser  ${}^4F_{3/2}$  no cristal Nd:YAG.
- Ajuste do ressonador e observação dos modos de ressonador.
- Medição da potência de saída do laser Nd:YAG em dependência da potência de bombeamento e determinação do limiar do laser.
- Observação do *spiking* na operação de pulsos do diodo laser.

## ADVERTÊNCIA

Na experiência, uma instalação de classe 4, que emite no âmbito espectral infravermelho (não visível) é operada. Portanto, deve-se sempre usar óculos de proteção contra laser. O raio laser não pode ser observado diretamente, mesmo com óculos de proteção.

## OBJETIVO

Instalação e otimização de um laser Nd:YAG

## RESUMO

Na experiência, um laser Nd:YAG bombeado com um laser de diodo é instalado e otimizado. Após ajuste do laser de diodo para bombeamento óptico estável e otimização do ressonador, o sistema pode ser operado como laser Nd:YAG. São analisadas as operações não estacionárias e estacionárias. Além disso, a vida útil do nível superior de laser  ${}^4F_{3/2}$  é determinada no cristal Nd:YAG.

## APARELHOS NECESSÁRIOS

Número	Instrumentos	Artigo Nº
1	Excitador do diodo do laser e controlador de temperatura duplo Dsc01-2,5	U14021
1	Banco óptico KL	U14040
1	Diodo laser 1000 mW	U14022
1	Cristal Nd:YAG	U14025
1	Lente colimadora $f = +75$ mm	U14044
1	Espelho laser I	U14028
1	Fotodiodo PIN	U14038
1	Filtro RG850	U14046
1	Laser diodo de ajuste	U14024
1	Mala para transporte KL	U14049
1	Óculos de proteção laser para Nd:YAG	U14085
1	Multímetro digital P3340	U118091
1	Osciloscópio digital 4x60 MHz	U22060
1	Cabo HF, BNC / conector de 4 mm	U11257
1	Cabo HF	U11255
1	Cartão detector de infravermelho	U10530

## FUNDAMENTOS GERAIS

O laser Nd:YAG é um laser de corpo sólido que emite luz infravermelha. Como mídia do laser, é utilizado um cristal de ítrio-alumínio-granada dopado com neodímio. O bombeamento é realizado com laser de diodo semi-condutor. Normalmente, é emitido um comprimento de onda de 1064 nm.

A Fig. 1 mostra os níveis de energia do cristal Nd:YAG com as transições mais importantes para o bombeamento óptico e a operação do laser. Através do bombeamento óptico com luz com comprimento de

onda de cerca de 808 nm, são estimuladas transições do estado básico (1) ao nível de bombeamento superior (4). Sua vida útil é muito curta e ocorrem transições rápidas e livres de radiação para o nível de laser superior metaestável (3). Transições de volta para o estado básico são, assim, impedidas. A transição do laser ocorre com  $\lambda = 1064$  nm para o nível de laser inferior (2). Isto tem vida útil muito curta e se decompõe, sem radiação, para o estado básico. Assim, cada estado é ocupado até um determinado grau. Porém, os estados 4 e 2 se decompõem tão rapidamente que as densidades numéricas dos átomos nestes estados pode ser considerada zero. Daí se podem descrever o comportamento dinâmico do laser através das equações de taxas a seguir para a densidade de inversão  $n$  (a diferença das densidades numéricas dos átomos de Nd nos estados 2 e 3) e para a densidade de fótons  $p$  do campo luminoso do laser:

$$(1a) \quad \frac{dn}{dt} = W \cdot (N_{Nd} - n) - \sigma \cdot c \cdot p \cdot n - \frac{n}{\tau_3}$$

$$(1b) \quad \frac{dp}{dt} = \frac{L_{Nd}}{L} \cdot \sigma \cdot c \cdot p \cdot n - \frac{p}{\tau_{res}}$$

$W$ : Taxa de bombeamento

$N_{Nd}$ : Densidade numérica dos átomos de Nd

$\sigma$ : Perfil efetivo de ação para a emissão ou absorção de um fóton

$c$ : Velocidade da luz

$\tau_3$ : Vida útil do nível superior de laser 3

$L$ : Comprimento do ressonador

$L_{Nd}$ : Comprimento do cristal Nd:YAG

$\tau_{res}$ : Constante temporal dos prejuízos no ressonador

Em (1a), o primeiro termo descreve o bombeamento óptico, o segundo, a emissão induzida e o terceiro, a decomposição do nível superior de laser através de emissão espontânea. O primeiro termo em (1b) considera a geração de fótons por emissão induzida, o segundo, a redução da densidade de fótons por prejuízos no ressonador. Ainda mais precisamente precisa ser considerado o fato que, por conta da emissão espontânea, já existem fótons no início.

Para a operação estacionária, obtém-se, mediante desconsideração da emissão espontânea, a solução a seguir:

$$(2) \quad p = \frac{1}{\sigma \cdot c \cdot \tau_3} \cdot \frac{W - W_s}{W_s}$$

$$\text{com} \quad W_s = \frac{1}{\tau_3} \cdot \frac{n_i}{n_i - N_{Nd}} \quad n_i = \frac{L}{L_{Nd} \cdot \sigma \cdot c \cdot \tau_{res}}$$

A taxa de bombeamento, portanto, tem que ultrapassar um valor limiar, depois disto, a densidade de fótons aumenta linearmente com a taxa de bombeamento. Uma medição direta da densidade de fótons e da taxa de bombeamento é impossível. Na experiência, portanto, é mostrado que a potência de saída do laser  $P_L$  acima de um valor limiar depende linearmente da potência de bombeamento.

A Fig. 2 mostra soluções das equações de taxas para a operação não estacionária. Nisto, inicialmente a inversão de ocupação se desenvolve. Uma vez alcançada a inversão limiar  $n_i$ , a densidade de inversão cresce linearmente. Seguem-se um aumento rápido da densidade de fótons e uma queda da densidade de inversão para um valor pouco abaixo da inversão limiar. Nas repetições deste processo, a superação da densidade de inversão se torna cada vez menor, até que se instaure o estado estacionário. Este *spiking*, como é chamado, também é comprovado na experiência.

Antes, porém, o comprimento de onda do laser de diodo empregado para o bombeamento é ajustado para a transição em  $\lambda = 808$  nm e, em seguida, o

percurso temporal da emissão espontânea é medido na operação de pulso do laser de diodo (Fig. 3). A partir destes valores de medição, pode-se determinar a vida útil do nível superior do laser. Após a montagem e ajuste do ressonador, o *spiking* é observado (Fig. 4) e, em seguida, a potência de saída é medida em dependência da potência de bombeamento.

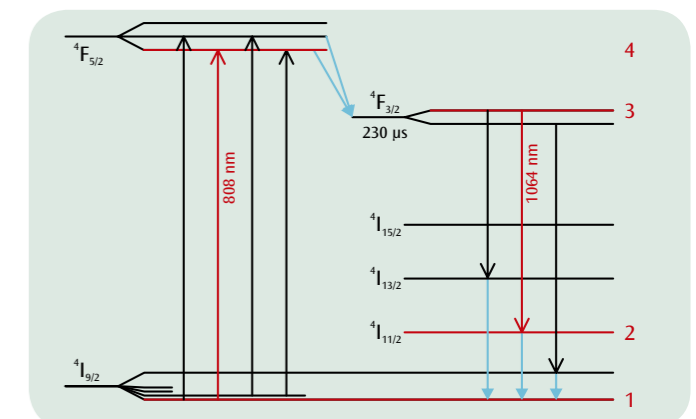


Fig. 1: Esquema de nível de energia do cristal Nd:YAG. As transições relevantes para a experiência são representadas em vermelho

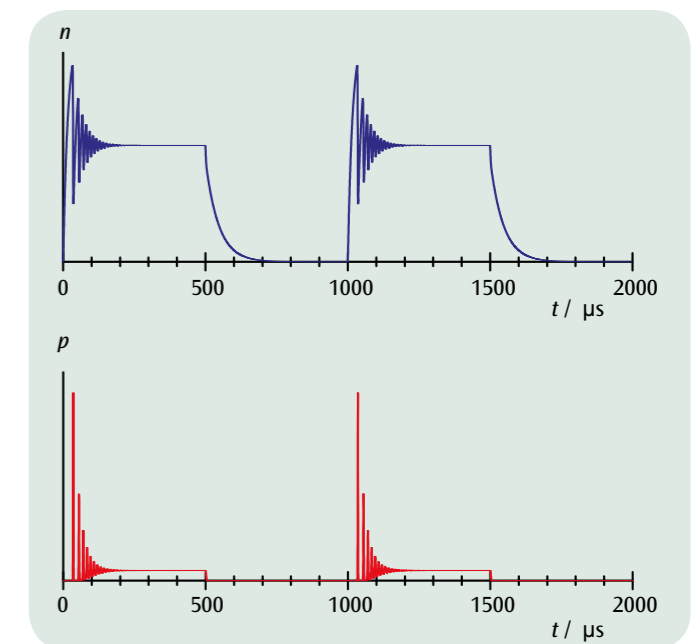


Fig. 2: Soluções não estacionárias da equação de taxas (*Spiking*)

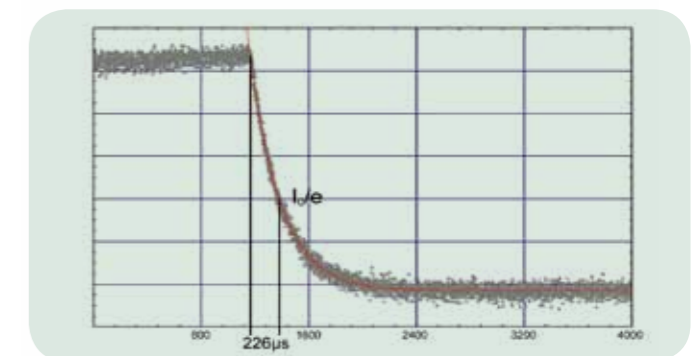


Fig. 3: Medição da emissão espontânea para determinação da vida útil do nível superior do laser