

## EXERCICES

- Ajuster la diode laser en vue d'un pompage optique stable du laser Nd:YAG.
- Déterminer le temps de vie du niveau laser supérieur  ${}^4F_{3/2}$  dans le cristal de Nd:YAG.
- Ajuster la cavité résonante et en observer les modes de résonance.
- Mesurer la puissance en sortie du laser Nd:YAG en fonction de la puissance de pompage et définir le seuil laser.
- Observation du « laser spiking » en mode pulsé de la diode laser.

## AVERTISSEMENT

L'expérience est réalisée avec une installation laser de classe IV qui émet des ondes infrarouges (donc dans le spectre invisible à l'œil nu). Le port de lunettes de protection est par conséquent obligatoire. Même avec des lunettes de protection, ne jamais regarder directement le faisceau laser ni mettre ses yeux au même niveau.

# 3

## OBJECTIF

Installation et optimisation d'un laser Nd:YAG

## RESUME

L'expérience décrite ici consiste à installer et à optimiser un laser Nd:YAG pompé par diode. Après l'ajustement de la diode laser pour un pompage optique stable et l'optimisation de la cavité résonante, le système peut être utilisé en tant que laser Nd:YAG. Le laser est étudié en régime stationnaire et non stationnaire. De plus, l'expérience permet de déterminer le temps de vie du niveau laser supérieur  ${}^4F_{3/2}$  dans le cristal de Nd:YAG.

## DISPOSITIFS NECESSAIRES

Nombre	Aparato	Référence
1	Pilote de diode laser et double contrôleur de température Dsc01-2,5	1008632
1	Banc optique KL	1008642
1	Laser à diode 1000 mW	1009497
1	Cristal Nd:YAG	1008635
1	Lentille à collimateur $f = +75$ mm	1008646
1	Laser-miroir I	1008638
1	Diode photoélectrique PIN	1008640
1	Filtre RG850	1008648
1	Diode laser d'ajustage	1008634
1	Coffret de transport KL	1008651
1	Lunettes de protection pour laser Nd:YAG	1002866
1	Multimètre numérique P3340	1002785
1	Oscilloscope numérique 4x60 MHz	1008676
1	Cordon HF, BNC / douille 4 mm	1002748
1	Cordon HF	1002746
1	Carte de détecteur infrarouge	1017879

## GENERALITES

Le laser Nd:YAG est un laser solide qui émet une lumière infrarouge. Le milieu amplificateur utilisé est un grenat d'aluminium et d'yttrium dopé Néodyme. Le pompage est effectué par une diode laser à semi-conducteur et les longueurs d'ondes émises sont généralement de l'ordre de 1064 nm. La Fig. 1 livre une vue d'ensemble des niveaux d'énergie du cristal de Nd:YAG avec les principales transitions pour le pompage optique et le fonctionnement du laser. Le pompage optique avec un faisceau lumineux d'une longueur d'onde d'env. 808 nm permet d'exciter des transitions laser de l'état fon-

mental (1) vers le niveau de pompage supérieur (4). Le temps de vie de celui-ci est très court et il génère des transitions rapides, non radiatives, vers le niveau laser supérieur métastable (3). De cette façon, les transitions retour vers l'état fondamental sont évitées. La transition laser s'effectue à  $\lambda = 1064$  nm vers le niveau laser inférieur (2). Celui-ci a un temps de vie très court et se désexcite de façon non radiative pour se retrouver à l'état fondamental. Ainsi, chaque état est peuplé jusqu'à un certain degré. Les états 4 et 2 se désexcitent si rapidement que les densités de population des atomes à ces états peuvent être considérées comme nulles. Par conséquent, pour l'inversion de population  $n$  (= la différence des densités de population des atomes Nd dans les états 2 et 3) et pour le flux de photons  $p$  du champ du faisceau laser, le comportement dynamique du laser peut être décrit par les équations suivantes :

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

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

$W$  : taux de pompage

$N_{Nd}$  : densité de population des atomes Nd

$\sigma$  : section efficace pour l'émission ou l'absorption d'un photon

$c$  : vitesse de la lumière

$\tau_3$  : temps de vie du niveau laser supérieur 3

$L$  : longueur de la cavité résonante

$L_{Nd}$  : longueur du cristal de Nd:YAG

$\tau_{res}$  : constante de temps des pertes dans la cavité

Dans l'équation (1a), le premier terme décrit le pompage optique, le second l'émission stimulée et le troisième la désexcitation du niveau laser supérieur par émission spontanée. Dans l'équation (1b), le premier terme considère la génération de photons par émission stimulée, le second la réduction du nombre de photons due aux pertes dans la cavité. Pour plus de précision, il convient de considérer le fait qu'en raison de l'émission spontanée, des photons sont présents dès le départ.

Si on néglige les émissions spontanées, on obtient pour le régime stationnaire l'expression suivante :

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

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

Le taux de pompage doit donc dépasser une valeur seuil, après quoi la densité de population des photons croît linéairement avec le taux de pompage. Ni la densité de population de photons, ni le taux de pompage ne peuvent être mesurés directement. L'expérience vise donc à démontrer que la puissance de sortie du laser  $P_L$  au-dessus d'une valeur seuil est proportionnelle à la puissance de pompe.

À la Fig. 2 sont indiquées des solutions aux équations d'évolution en régime non stationnaire. L'inversion de population doit se construire dans un premier temps. Dès que l'inversion de seuil  $n_i$  est atteinte, la densité d'inversion augmente linéairement. Le nombre de photons croît alors rapidement et la densité d'inversion chute à une valeur située légèrement en dessous de l'inversion de seuil. Si on répète cette procédure plusieurs fois, l'état d'oscillation de l'intensité laser diminue progressivement jusqu'à ce que le régime stationnaire s'installe définitivement. Cette intensité laser oscillante en sortie, appelée « laser spiking », est également mise en évidence au cours de l'expérience.

Mais avant cela, on ajuste la longueur d'onde de la diode laser de pompage sur la transition à  $\lambda = 808$  nm, puis, la diode étant en régime pulsé, on

mesure l'évolution temporelle de l'émission spontanée (Fig. 3). Les valeurs obtenues permettent de déterminer le temps de vie du niveau laser supérieur. Lorsque la cavité résonante a été assemblée et ajustée, on observe le phénomène de laser spiking (Fig. 4), puis on mesure la puissance de sortie du laser en fonction de la puissance de pompe.

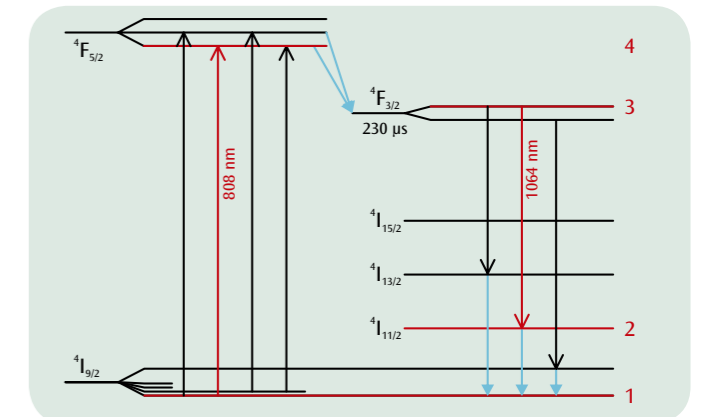


Fig. 1 Schéma des niveaux d'énergie laser du cristal de Nd:YAG. Les transitions qui nous intéressent sont représentées en rouge

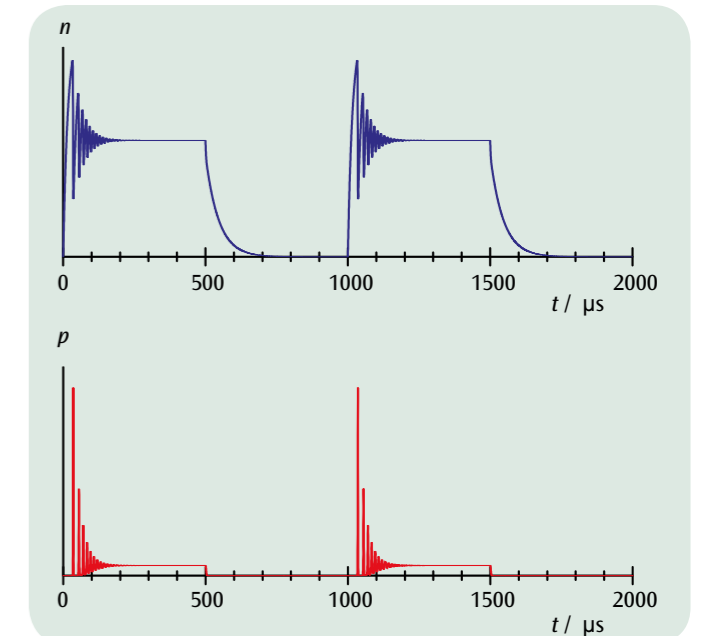


Fig. 2 Solutions non stationnaires des équations d'évolution (laser spiking)

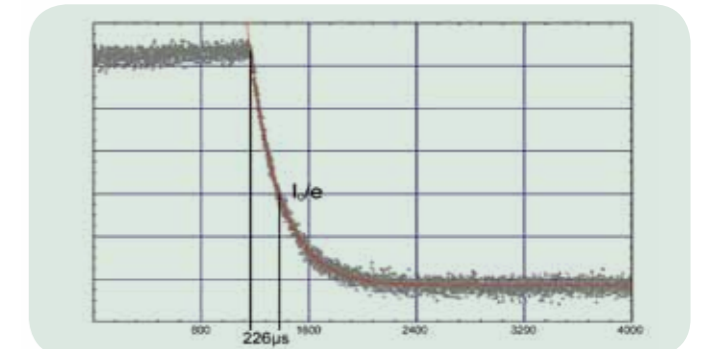


Fig. 3 Enregistrement sur un oscilloscope : le spiking d'un laser Nd:YAG