

vient d'émettre, puis réémettre rapidement un photon, qu'il réabsorbe, et ainsi de suite. De telles oscillations sont dites « induites par les fluctuations électromagnétiques du vide », car elles ont lieu quand la cavité ne contient initialement pas de champ électromagnétique. Si la cavité contient un ou plusieurs photons avant que l'atome excité y pénètre, ce dernier subira en outre des oscillations de Rabi, de sorte qu'il émettra et absorbera des photons à un rythme encore supérieur.

Cet effet a été observé en laboratoire en 1984, à l'Institut Max Planck de Garching : Herbert Walther l'utilisa pour construire un « micromaser ». Dans cet appareil, des atomes de Rydberg (des atomes fortement excités, où les électrons sont très éloignés du noyau) pénètrent un à un dans une cavité métallique aux parois fortement réfléchissantes (on utilise des matériaux supraconducteurs, pour les pertes à la réflexion sont très faibles). Comme dans un laser, la cavité a des dimensions déterminées par la longueur d'onde des photons micro-ondes émis par les atomes de Rydberg lorsqu'ils se dés excitent. H. Walther observa que les atomes émettent bien plus rapidement des photons que dans le vide, conformément à la théorie de E. Jaynes et de F. Cummings. En outre, les photons s'accumulent dans le résonateur si l'on augmente la réflectivité des parois.

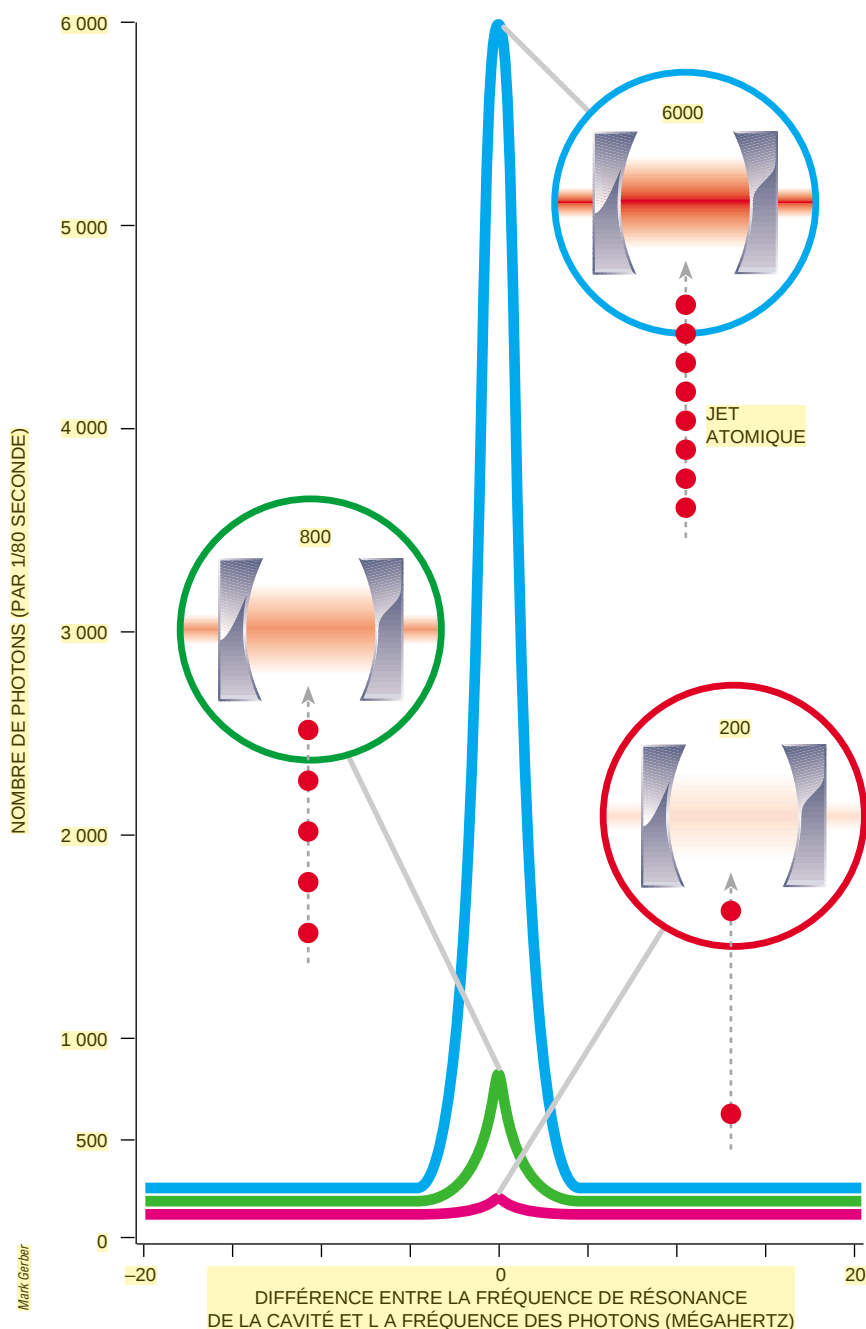
Un micromaser optique

Le laser à un seul atome est une version optique du micromaser : des atomes excités ayant deux niveaux d'énergie pénètrent un à un dans un minuscule résonateur et émettent des photons infrarouges dont la longueur d'onde est juste inférieure à celle de la lumière rouge. Un premier photon est émis dans la cavité vide en raison du phénomène des oscillations dues aux fluctuations électromagnétiques du vide ; puis l'oscillation de Rabi assure une amplification. Plus le nombre de photons augmente dans la cavité, plus la probabilité qu'un atome traversant la cavité émette un autre photon augmente. Ce renforcement est analogue à l'émission stimulée des lasers classiques.

Comment passer du micromaser, qui émet des micro-ondes, au laser à un seul atome ? Nous devons tout d'abord fabriquer un résonateur optique capable de stocker un photon avant qu'il ne soit absorbé par l'un des miroirs ou émis

hors de la cavité. La « supercavité » que nous avons utilisée est délimitée par deux miroirs très précisément alignés et de très grande réflectivité. Vers 1960, les ingénieurs de la NASA qui travaillaient à un système de propulsion d'engin spatial par éjection d'ions observèrent que l'on obtenait des parois très réfléchissantes en déposant une mince couche d'ions sur un substrat. Entre 1970 et 1980, ils utilisèrent ces faisceaux d'ions pour recouvrir les miroirs des gyroscopes à laser.

En utilisant ces techniques de dépôt sur des surfaces de petite taille (quelques millimètres carrés), nous avons obtenu des parois de cavité très réfléchissantes : dans notre laser à un seul atome, les miroirs, espacés d'un millimètre, ont une réflectivité de 99,997 pour cent (dans un laser classique, la réflectivité des miroirs est de 99 pour cent environ ; les miroirs domestiques ont une réflectivité de 90 pour cent) ; les photons y font quelque 250 000 allers et retours avant d'être absorbés ou de s'échapper.



3. L'INTENSITÉ DU FAISCEAU d'un laser à un seul atome augmente brusquement lorsque les atomes de baryum sont nombreux dans la cavité. D'autre part, le faisceau n'est intense que si la cavité est accordée : sa longueur doit être un multiple de la longueur d'onde des photons émis.