

Nguyên lý và lựa chọn điều trị bằng Laser trong Da liễu

Principles and Choice of
Laser Treatment in Dermatology

With Special Reference to the
Asian Population

Jae Dong Lee
Jong Kook Lee
Min Jin Maya Oh

Dịch: Các bác sĩ DA LIỄU THẨM MỸ GROUP

 Springer

Principles and Choice of Laser Treatment in Dermatology

Jae Dong Lee • Jong Kook Lee
Min Jin Maya Oh

Principles and Choice of Laser Treatment in Dermatology

With Special Reference to the Asian
Population

 Springer

Jae Dong Lee
MISODAM Clinic
Daejeon
Republic of Korea

Jong Kook Lee
Research and Development
Cyberlogitec, Inc.
Seoul
Republic of Korea

Min Jin Maya Oh
ARA Clinic
Incheon
Republic of Korea

ISBN 978-981-15-6555-7 ISBN 978-981-15-6556-4 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-981-15-6556-4>

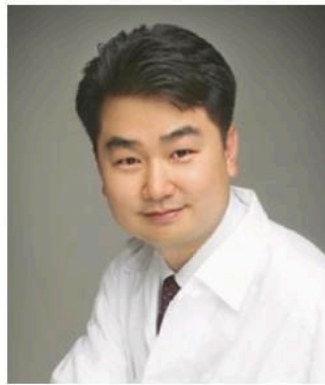
© The Editor(s) (if applicable) and The Author(s), under exclusive license to Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2018, 2020

This work is subject to copyright. All rights are solely and exclusively licensed by the Publisher, whether the whole or part of the material is concerned, specifically the rights of translation, reprinting, reuse of illustrations, recitation, broadcasting, reproduction on microfilms or in any other physical way, and transmission or information storage and retrieval, electronic adaptation, computer software, or by similar or dissimilar methodology now known or hereafter developed. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, service marks, etc. in this publication does not imply, even in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protective laws and regulations and therefore free for general use.

The publisher, the authors and the editors are safe to assume that the advice and information in this book are believed to be true and accurate at the date of publication. Neither the publisher nor the authors or the editors give a warranty, expressed or implied, with respect to the material contained herein or for any errors or omissions that may have been made. The publisher remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

This Springer imprint is published by the registered company Springer Nature Singapore Pte Ltd. The registered company address is: 152 Beach Road, #21-01/04 Gateway East, Singapore 189721, Singapore

About the Authors



Jae Dong Lee, MD Graduated from Medical College of the Catholic University of Korea

The degree of Master of Medical Science in the Catholic University of Korea

The Chief Academic Officer in Korean Medical Skin Care Society

The Laser Academic Officer in Korean Aesthetic Surgery and Laser Society

The Chairman in Korean Dermatologic Laser Association

Director in MISODAM clinic in Daejeon, Korea

(Writing)

The principles and choice of laser in dermatology (Korean language)

Melasma, diagnosis and treatment of melasma (Korean language)

Laser dermatology: Choice and treatment (Korean language)



Jong Kook Lee Bachelor of Physics in Korea University

Master of Statistical Physics in Korea University

Ph.D. Candidate of Software Engineering in Soongsil University

Manager of R&D team in Cyberlogitec, Inc.



Min Jin Maya Oh, MD Graduated from
Medical College of the Catholic
University of Korea

The Academic Officer in Korean
Academy of Melasma

The Vice-Chairman in Korean
Dermatologic Laser Association

Former AsiaPacific Regional
Therapeutic Expert for Botox, Allergan

Former Medical reviewer for MFDS
(Ministry of Food and Drug Safety)

Director in ARA clinic in Incheon,
Korea

MỤC LỤC

CHƯƠNG 1 - CÁC NGUYÊN LÝ CỦA LASER

(Bs. Trương Tấn Minh Vũ)

CHƯƠNG 2 - TƯƠNG TÁC LASER – MÔ

(Bs. Trương Tấn Minh Vũ)

CHƯƠNG 3 - CÁC NGUYÊN LÝ QUAN TRỌNG CỦA LASER

(Bs. Trương Tấn Minh Vũ)

CHƯƠNG 4 - TĂNG SẮC TÓ SAU VIÊM Ở DA CHÂU Á

(Bs. Nguyễn Tuấn Anh)

CHƯƠNG 5 - DA NGƯỜI HÀN QUỐC VÀ CÁC LOẠI LASER

(Bs. Trần Liêm)

CHƯƠNG 6 - LASER MẠCH MÁU VÀ ĐIỀU TRỊ BAN ĐỎ

(Bs. Trương Tấn Minh Vũ)

CHƯƠNG 7 - LASER ĐIỀU TRỊ SẮC TÓ

(Bs. Trương Tấn Minh Vũ)

CHƯƠNG 8 - TRIỆT LÔNG BẰNG LASER

(Bs. Trương Tấn Minh Vũ)

CHƯƠNG 9 - LASER KHÔNG BÓC TÁCH

(Bs. Võ Dương Nguyên Sa)

CHƯƠNG 10 - LASER BÓC TÁCH VÀ LASER PHÂN ĐOẠN

(Bs. Bùi Thanh Bình)

CHƯƠNG 11 - CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU TRỊ SẸO

(Bs. Trương Tấn Minh Vũ)

CHƯƠNG 12 - NGUYÊN NHÂN VÀ ĐIỀU TRỊ NÁM

(Bs. Phạm Ánh)

CHƯƠNG 1: CÁC NGUYÊN LÝ CỦA LASER

Biên dịch: Bs. Trương Tấn Minh Vũ

1.1 Sự tạo ra tia laser

Thế giới bao gồm ánh sáng và vật chất. Khi ánh sáng và vật chất gặp nhau, chúng tương tác với nhau và tạo ra những biến đổi vật lý và hóa học khác nhau. Ví dụ, nếu bạn đứng dưới bầu trời mùa thu trong xanh, bạn có thể cảm thấy cơ thể nóng lên ngay cả trong thời tiết mát mẻ (*Hình 1.1*). Hiện tượng này xảy ra khi ánh sáng được chuyển hóa thành nhiệt trong da. Ngược lại, ánh sáng có thể được tạo ra bằng cách cung cấp năng lượng vào vật chất. Hiện tượng này được sử dụng khi tạo ra tia laser.



Hình 1.1 Ánh sáng và vật chất

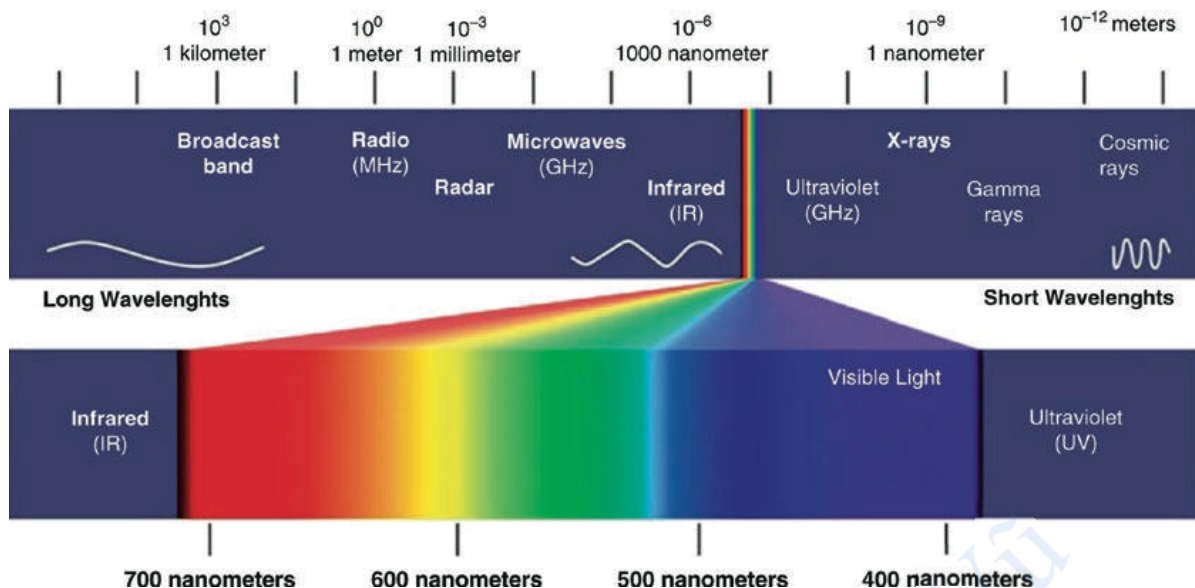
1.1.1 Bức xạ điện từ

Ánh sáng được nói đến chủ yếu ở phạm vi khả kiến- nhìn thấy được (400-760 nm). Nhưng ánh sáng khả kiến chỉ là ánh sáng theo nghĩa hẹp, trong khi ánh sáng theo nghĩa rộng đề cập đến bức xạ điện từ (electromagnetic radiation, EMR). Sóng điện từ là tất cả năng lượng truyền trong không gian dưới dạng sóng của điện trường và từ trường [2]. Sóng điện từ bao gồm từ bước sóng khả kiến đến bước sóng ngắn của tia γ và tia X đến bước sóng dài của sóng vi ba và sóng vô tuyến (*Hình 1.2*). Sóng điện từ vừa có tính chất của sóng vừa có tính chất của hạt mang năng lượng (photon), được gọi là lưỡng tính sóng-hạt [3]. Trong thế giới vĩ mô, thường có thể nhìn thấy được, nó thể hiện các tính chất của sóng, nhưng trong thế giới vi mô, chỉ có thể nhìn thấy dưới kính hiển vi, nó thể hiện các tính chất của hạt.

Mỗi sóng điện từ có bước sóng và tần số riêng [4]. Tia laser được sử dụng chủ yếu trong lĩnh vực da liễu thường là sóng điện từ nanomet (nm), một đơn vị của sóng. Phổ điện từ được sử dụng trong lĩnh vực da liễu bao gồm tia cực tím (UV), ánh sáng khả kiến, hồng ngoại gần (NIR), hồng ngoại trung bình (MIR) và hồng ngoại xa (FIR) (*Bảng 1.1*) [2].

Bảng 1.1 Phạm vi và bước sóng

Phạm vi	Nanometer
Tia cực tím (UV)	200-400
Ánh sáng khả kiến	400-760
Hồng ngoại gần (NIR)	760-1400
Hồng ngoại trung (MIR)	1400-3000
Hồng ngoại xa (FIR)	>3000



Hình 1.2 Quang phổ điện từ

1.1.2 Nguyên lý tạo ra tia laser

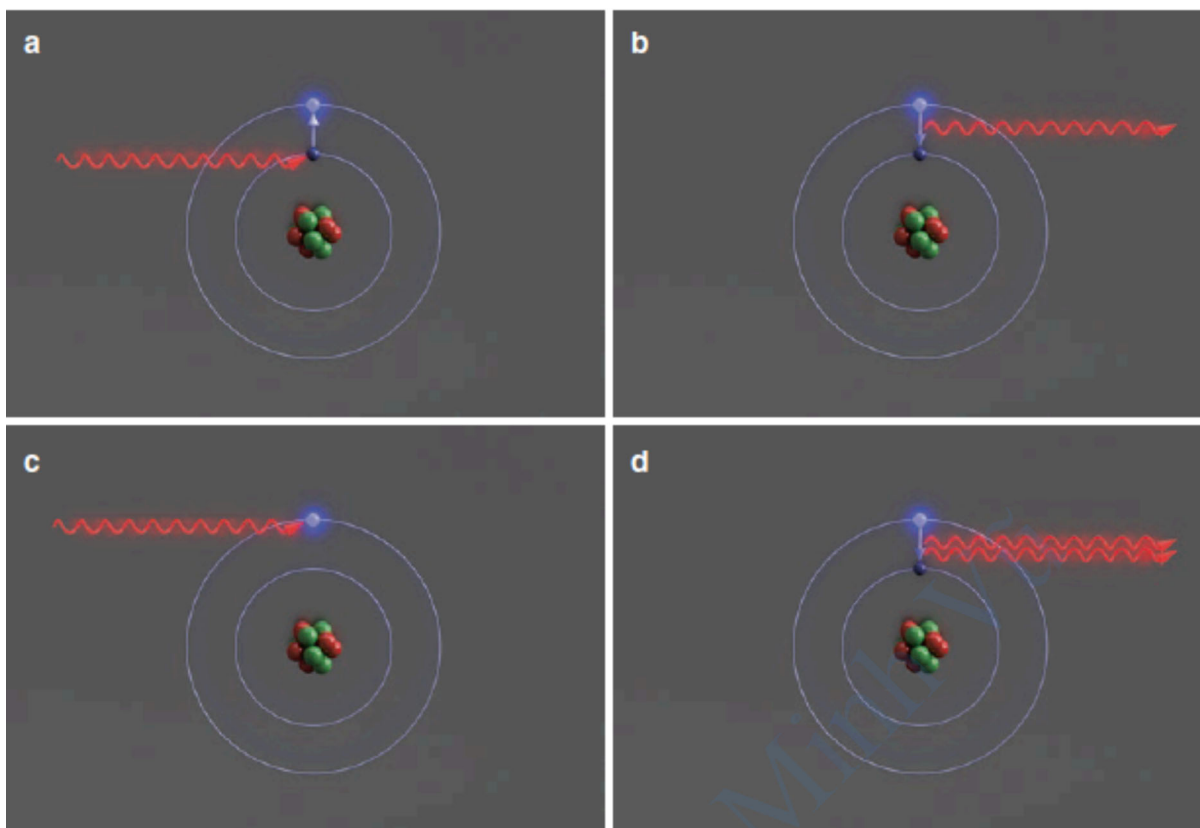
Đơn vị cơ bản nhất của ánh sáng là photon và đơn vị cơ bản nhất của vật chất là nguyên tử. Nguyên tử được cấu tạo bởi một hạt nhân, chứa các proton mang điện tích dương và neutron không mang điện tích, và các electron mang điện tích âm quay quanh hạt nhân (Hình 1.3). Quỹ đạo electron ở trạng thái nghỉ ổn định (trạng thái cơ bản), là trạng thái có năng lượng thấp nhất. Khi năng lượng từ bên ngoài đi vào (gọi là bơm), các electron ở trạng thái cơ bản sẽ nhảy lên mức năng lượng cao hơn ở vị trí xa hạt nhân hơn và sau đó sẽ ở trạng thái kích thích. Nhưng vì trạng thái kích thích là một trạng thái rất không ổn định nên electron sẽ cố gắng trở về trạng thái cơ bản ổn định. Khi các electron bị kích thích trở về trạng thái nghỉ ổn định, chúng giải phóng năng lượng dưới dạng các photon với sự chênh lệch năng lượng các quỹ đạo. Đây được gọi là sự phát xạ tự phát [2].

Giải thích trực quan về sự phát xạ tự phát. (Tiến sĩ Vật lý Jong Gook Lee) [5, 6]

Để giải thích một cách trực quan nguyên lý của tia laser như sự phát xạ tự phát và kích thích, trước tiên cần phải hiểu sự tương tác của các nguyên tử và ánh sáng.

Đầu tiên, hãy nghĩ về ánh sáng như một hạt (photon) chứ không phải là sóng. Các hạt có thể đếm được (một, hai...). Nguyên tử có thể bị kích thích hoặc không bị kích thích khi chúng nhận năng lượng. Nguyên tử được cấu tạo bởi một hạt nhân và các electron. Ánh sáng tương tác với các electron. Khi electron hấp thụ ánh sáng, nó trở nên bị kích thích và năng lượng của electron tăng lên, và khi electron phát ra ánh sáng thì năng lượng của electron giảm xuống. Bây giờ, giả sử rằng nguyên tử là một cầu thang mà trên đó các electron đi lên và đi xuống. Trạng thái kích thích của nguyên tử có nghĩa là các electron đi lên cầu thang. (Nguyên tử và electron sẽ được phân biệt trong nội dung sau đây. Các electron có thể được coi là các hạt đi lên cầu thang.)

Khi chúng ta chơi oẳn tù tì trong thời thơ ấu, chúng ta đi lên một cầu thang nếu thắng và đi xuống một cầu thang nếu thua. Tương tự, khi electron nhận được một photon, nó sẽ đi lên cầu thang và bị kích thích. Dưới chân



Hình 1.3 Phát xạ tự phát và kích thích. Electron thường nằm ở quỹ đạo năng lượng thấp (trạng thái nghỉ).

(a) Nếu một electron hấp thụ năng lượng, nó sẽ chuyển sang trạng thái kích thích. (b) Khi electron ở trạng thái không ổn định và bị kích thích trở về trạng thái năng lượng thấp (trạng

thái nghỉ), nó phát ra photon (phát xạ tự phát). (c) Nếu electron đã được kích thích hấp thụ thêm một photon khác, (d) khi electron trở về trạng thái nghỉ, nó sẽ phát ra hai photon có cùng năng lượng, hướng và tần số (phát xạ kích thích).

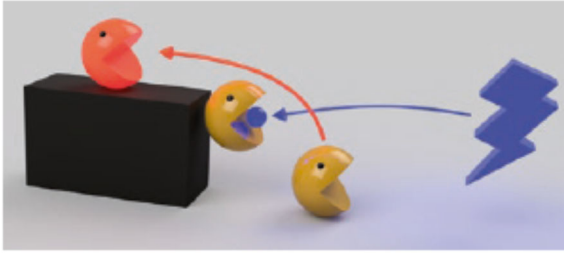
cầu thang là trạng thái năng lượng thấp nhất, là trạng thái nghỉ. Các bậc thang (nguyên tử) mà các electron đi lên và đi xuống đã được xác định. Hãy nghĩ về một nguyên tử mà cầu thang chỉ gồm trạng thái nghỉ và trạng thái kích thích.

Ánh sáng đưa vào (*Hình 1.4*) được coi là một hạt (photon) theo quan điểm của nguyên tử. Ánh sáng đi vào dưới dạng sóng nhưng là hạt từ quan điểm của nguyên tử. Khái niệm này được gọi là lưỡng tính sóng-hạt. Electron ở trạng thái nghỉ hấp thụ photon và đi lên cầu thang và trở nên kích thích. Chiều cao của cầu thang thay đổi theo từng nguyên tử, điều này thể hiện năng lượng của photon có thể được hấp thụ bởi các electron. Nếu một photon có năng lượng cao hơn hoặc thấp hơn độ cao của bậc thang tác động vào electron thì electron sẽ không thể hấp thụ

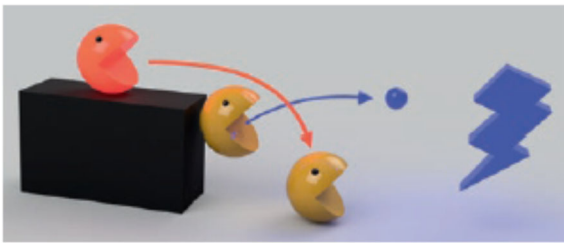
photon. Electron có tính kén hấp thụ. Các electron chỉ có thể ở trạng thái kích thích trong một khoảng thời gian ngắn và khi các điện tử bị kích thích trở lại trạng thái nghỉ, chúng phải phát xạ cùng một số photon đã được hấp thụ trước đó. Photon phát xạ có năng lượng tương ứng với độ cao của cầu thang. Kết luận, các electron giải phóng năng lượng đã hấp thụ trước đó (*Hình 1.5*).

Độ cao của cầu thang càng lớn, năng lượng electron trả lại càng nhiều. Nếu độ cao của cầu thang rất cao, năng lượng sẽ trở thành tia X và tia γ . Nếu độ cao của cầu thang rất thấp, năng lượng sẽ trở thành ánh sáng hồng ngoại (Năng lượng tỷ lệ nghịch với bước sóng.)

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$



Hình 1.4 Electron (packman) ở trạng thái nghỉ trở nên kích thích khi nó hấp thụ ánh sáng (photon).



Hình 1.5 Electron bị kích thích (packman) phát ra ánh sáng (photon) khi trở về trạng thái nghỉ.

E : năng lượng của bức xạ, h : hằng số Planck ($6,6 \times 10^{-34}$ Js), ν : tần số, c : vận tốc ánh sáng (299,790 km/s), λ : bước sóng.

Một điều cần lưu ý nữa là các electron bị kích thích không phải luôn luôn trở về trạng thái nghỉ. Tuy nhiên, có xu hướng là các electron trở lại trạng thái nghỉ. Ngoài ra, các electron ở trạng thái nghỉ không phải luôn luôn hấp thụ photon nhưng có xác suất cao hấp thụ photon. Do đó, mọi thứ trong thế giới nguyên tử được biểu diễn bằng xác suất.

Tóm tắt

1. Ánh sáng mang tính hạt trong thế giới vĩ mô như nguyên tử, nhưng mang tính sóng trong thế giới vĩ mô.
2. Mỗi nguyên tử có bậc thang năng lượng riêng.
3. Electron ở trạng thái cơ bản đi lên trạng thái kích thích, hay từ trạng thái kích thích đi xuống trạng thái cơ bản do xác suất quyết định.
4. Các electron trả lại cùng một mức năng lượng đã hấp thụ trước đó.
5. Electron chỉ hấp thụ các photon có năng lượng bằng độ cao của bậc thang.

Các photon phát xạ tạo ra ánh sáng có bước sóng nhất định tùy thuộc vào các nguyên tử. Trong tự nhiên, nhiều ánh sáng khác nhau được tạo ra bởi các nguyên tử khác nhau được trộn lẫn trong tự nhiên. Ví dụ, ánh sáng từ que diêm thường có màu đỏ, trong khi ánh sáng từ bếp lò chủ yếu có màu xanh lam. Có thể dễ hiểu nếu các xem các nguyên tử như lò xo, một số lò xo mạnh trong khi những lò xo khác lại yếu. Không phụ thuộc vào lực tác động, thời gian lò xo bị kéo dãn và co lại theo sức bên của nó là không đổi. Tương tự, các nguyên tử có tần số (hoặc bước sóng) riêng của chúng, được gọi là tần số tự nhiên của nguyên tử. Nguyên tử phát ra ánh sáng nhiều như nó dao động và bước sóng của ánh sáng phát ra tỉ lệ nghịch với tần số tự nhiên của nguyên tử. Vì vậy, nếu được tạo thành từ các nguyên tử đồng nhất, chỉ một bước sóng ánh sáng được tạo ra. Đây là nguyên lý đơn sắc, một đặc tính của laser [4].

Trong một số trường hợp, các photon phát ra tự nhiên có thể gặp các electron của nguyên tử ở trạng thái kích thích. Một hiện tượng thú vị xảy ra vào thời điểm này. Khi các electron trở về trạng thái nghỉ, chúng phát ra hai photon. Hiện tượng này được gọi là phát xạ kích thích [2]. Hai photon phát ra do được kích thích có cùng năng lượng, cùng hình dạng về thời gian và không gian, giống như anh em sinh đôi. Đây là nguyên lý nhất quán, một đặc tính của laser [2]. Nếu hai photon song sinh này gặp hai electron, thì bốn photon song sinh được phát ra. Bốn photon lại phát ra 8, 16 và 32 photon, tức là chúng tăng lên theo cấp số nhân. Đây là nguyên lý của cường độ cao, một đặc tính của laser.

Năm 1917, Einstein công bố lý thuyết về sự phát xạ kích thích, đây là nguyên lý tạo ra tia laser [4].

1.1.3 Sự tạo thành tia laser

Sự chuyển đổi của các electron sang trạng thái kích thích được gọi là “sự nghịch đảo quần thể” [2], và ở trạng thái này, các photon được tạo ra theo cấp số nhân với 10^{20} photon

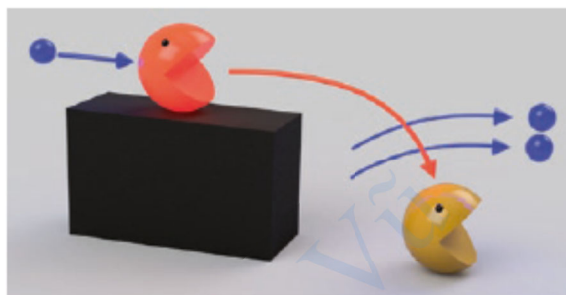
khi xảy ra phát xạ kích thích [4]. Bởi vì ánh sáng truyền đi, nếu môi trường đủ dài, nó có thể tạo ra nhiều photon. Nhưng do hạn chế về không gian, hai tấm gương được đặt ở

Giải thích trực quan về sự phát xạ kích thích. (Tiến sĩ Vật lý Jong Kook Lee).

Trong cách giải thích ở trên về sự phát xạ tự phát, chỉ xem xét sự chiếu xạ ánh sáng tới các nguyên tử ở trạng thái nghỉ. Bây giờ chúng ta hãy nghĩ điều gì sẽ xảy ra khi ánh sáng được chiếu vào một nguyên tử bị kích thích. Cần chiếu xạ ánh sáng có năng lượng bằng chiều cao của bậc thang; sẽ không có gì xảy ra nếu năng lượng lớn hơn hoặc nhỏ hơn. Như đã giải thích trước đây, tất cả đều do xác suất quyết định trong thế giới nguyên tử. Hãy nghĩ về electron trên đỉnh cầu thang như một người trên đỉnh núi. Nếu gió thổi nhẹ, rất ít khả năng người đó bị rơi từ trên cao xuống nhưng nếu có bão thổi qua thì cơ hội lớn hơn. Tương tự như vậy, nếu một photon được bắn vào một electron bị kích thích, khả năng electron đó rơi xuống đất sẽ tăng lên rất nhiều. Việc bắn các photon vào các electron bị kích thích và làm cho chúng trở về trạng thái nghỉ được gọi là sự phát xạ kích thích. Ánh sáng kích thích không bị hấp thụ bởi các electron, mà là các photon làm rung các electron, giống như gió làm rung người. Tuy nhiên, electron rơi xuống mặt đất phải phát ra các photon, vì vậy hai photon phát ra (Hình 1.6).

Hai photon có nghĩa là ánh sáng có năng lượng gấp đôi phát ra. Nói cách khác, ánh sáng đi ra sáng gấp đôi ánh sáng đầu vào. Vật chất bao gồm nhiều nguyên tử. Điều gì sẽ xảy ra nếu tất cả các nguyên tử đều bị kích thích và tất cả chúng đều nhận được một photon? Bởi vì electron nhận một photon trả lại hai photon và các electron nhận các photon này cũng trả lại mỗi hai photon nên cuối cùng, rất nhiều photon phát ra khỏi vật chất (Hình 1.7). Các photon này có cùng năng lượng và tạo thành ánh sáng có cùng bước sóng, đó là tia laser.

mỗi đầu của môi trường tạo laser và các photon di chuyển giữa hai tấm gương, tạo ra các photon theo cấp số nhân. Trong quá trình này, các photon không bị phản xạ theo phương thẳng đứng tới gương sẽ biến mất và chỉ còn lại các photon phản xạ theo phương thẳng đứng (Hình 1.8). Đó là nguyên lý chuẩn trực, một đặc tính của laser [2].



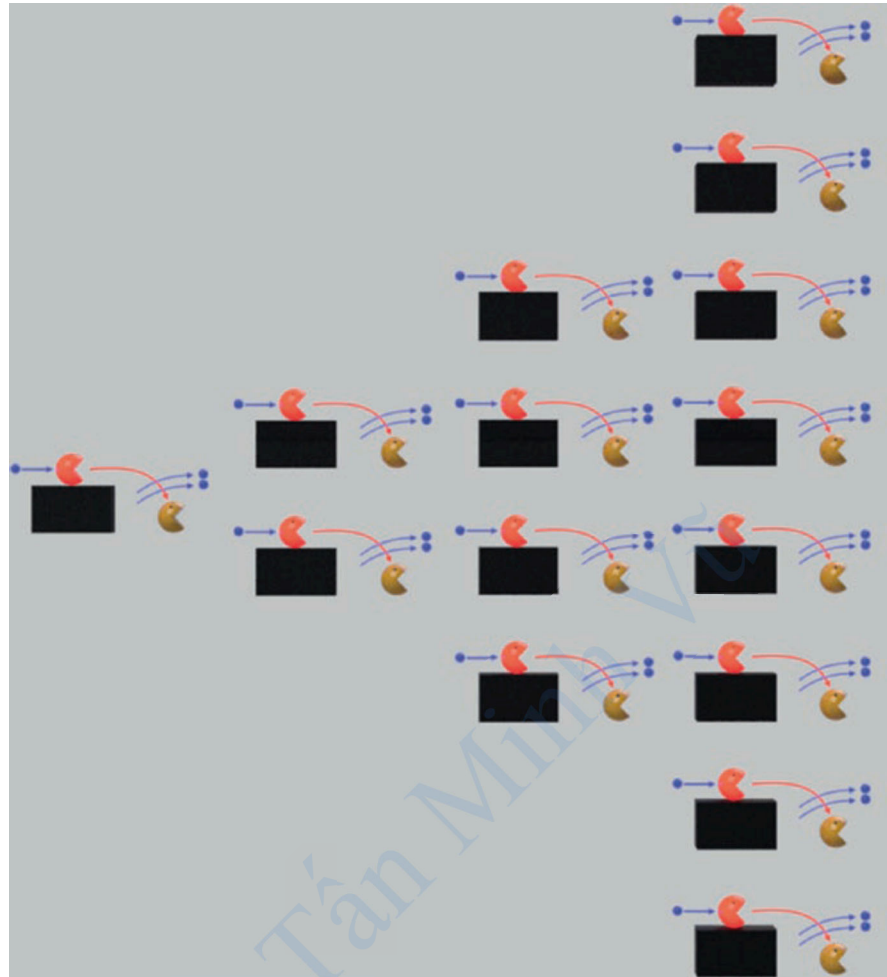
Hình 1.6 Khi một electron bị kích thích (packman) gặp một photon, chúng rơi xuống trạng thái cơ bản và hai photon phát ra. Hai photon này có cùng năng lượng.

Một trong hai gương phản xạ 100% ánh sáng, gương còn lại cho ánh sáng đi qua một phần để một số photon được kích thích đi ra khỏi hai gương, qua thiết bị phân phối và được gom về một chỗ bằng thấu kính. Cuối cùng thì các photon được chuyển đến da (Hình 1.9).

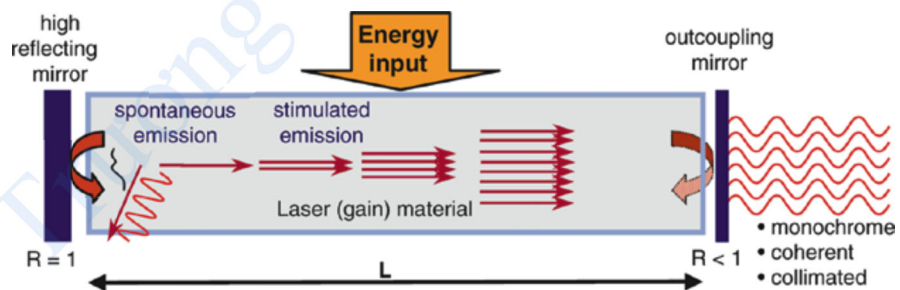
Nếu bạn nhìn vào bên trong máy laser, chúng bao gồm ba phần: hệ thống bơm, môi trường tạo laser và khoang quang học với hai tấm gương [2]. Các thiết bị bổ sung là thiết bị làm mát và hệ thống phân phối. Nguồn năng lượng bên ngoài dùng để cung cấp năng lượng (bơm) và môi trường laser kích thích các electron bằng năng lượng nhận được từ bên ngoài. Điện hoặc đèn flash được sử dụng như một nguồn năng lượng từ bên ngoài. Loại laser điển hình sử dụng điện làm nguồn năng lượng bên ngoài là laser CO₂ và laser điển hình sử dụng đèn flash làm nguồn năng lượng bên ngoài là laser Q-switched.

Trong môi trường laser, có chất khí (CO₂ và argon), chất lỏng (thuốc nhuộm), và chất rắn (ruby, alexandrite, Nd: YAG, và diode). Bước sóng của laser được xác định bởi môi trường laser [2]. Ví dụ, CO₂ tạo ra bước sóng 10.600 nm, ruby- bước sóng 694 nm và alexandrite- bước sóng 755 nm (Bảng 1.2).

Hình 1.7. Hai photon gặp 4 electron bị kích thích và tạo ra 4 photon. Bằng cách này, photon được khuếch đại để tạo ra ánh sáng mạnh.



Hình 1.8 Nguyên lý của laser.



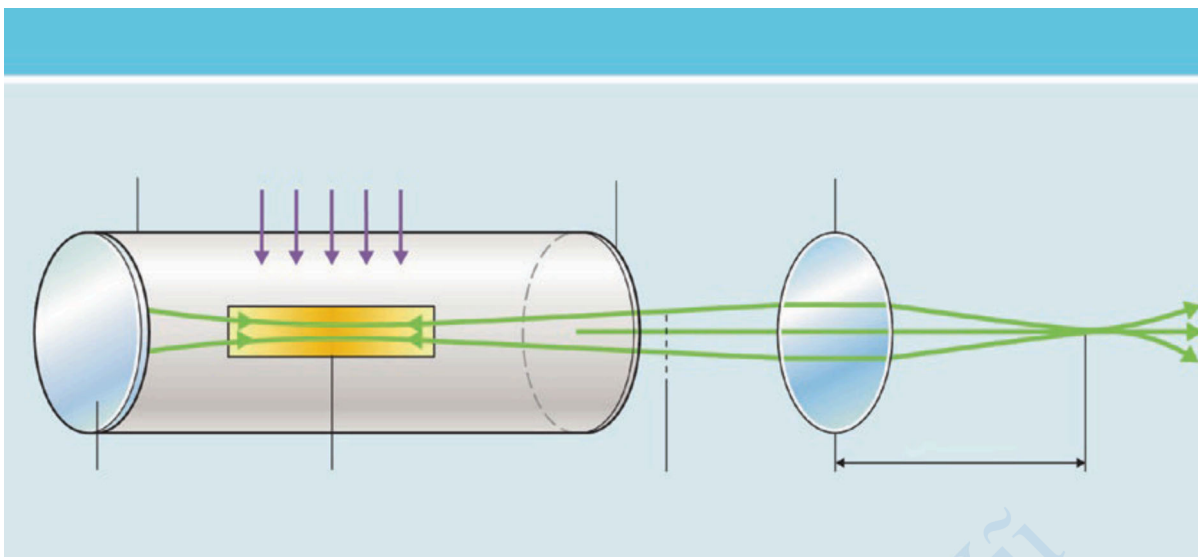
Bảng 1.2 Môi trường laser và bước sóng.

Loại laser	Môi trường	Bước sóng (nm)
Lỏng	Dye	585, 595
Khí	CO ₂	10.600
	Argon	510
	Excimer	308
Rắn	Ruby	694
	Alexandrite	755
	Er:YAG	2940
	Nd:YAG	1064, 1320
	Diode	808, 810, 1450

Vì vậy, khi nói về loại laser, ví dụ như laser ruby thì chúng ta biết rằng bước sóng của

laser là 694 nm, và ngược lại. Do đó, chúng ta phải biết bước sóng tương ứng với môi trường laser.

Tuy nhiên, laser Nd: YAG có thể tạo ra 1064, 1320 nm, v.v., và laser diode có thể tạo ra 808, 810, 1450 nm, v.v. Nói cách khác, một số laser có thể tạo ra nhiều bước sóng với một môi trường. Đây là lý do tại sao khi mô tả một tia laser, bước sóng và môi trường phải được mô tả cùng nhau. Ví dụ: “laser ruby 694 nm”. Ngoài ra, vì máy laser cũng khác nhau tùy thuộc vào thời gian chiếu xạ, thời gian chiếu xạ cũng cần được mô tả.



Hình 1.9 Hệ thống laser. Laser bao gồm môi trường laser, hệ thống bơm, khoang quang học và hệ thống phân phối.

Tuy nhiên, người ta thường nói đơn giản là “Q694” hoặc “Long1064” trong cuộc trò chuyện hoặc bài giảng vì tên dài.

IPL (ánh sáng xung cường độ cao) khác với laser ở chỗ nó không có môi trường laser và khoang quang học. Nó chỉ có đèn flash làm nguồn năng lượng bên ngoài [4]. Đèn flash khác với tia laser bước sóng đơn vì chúng phát ra nhiều loại ánh sáng. Đèn flash được bao quanh bởi nước để bước sóng trên 1000 nm với hệ số hấp thụ nước cao bị nước hấp thụ và biến mất, do đó chỉ phát ra ánh sáng dưới 1000 nm. Nếu bước sóng UV bị cắt bởi bộ lọc quang học, thì chỉ có ánh sáng với bước sóng 500–1000 nm được phát ra. Có thể lựa chọn nhiều dải bước sóng khác nhau tùy thuộc vào bộ lọc quang học. Ví dụ, bộ lọc 640 nm phát ra ánh sáng trong dải bước sóng 640–1000 nm.

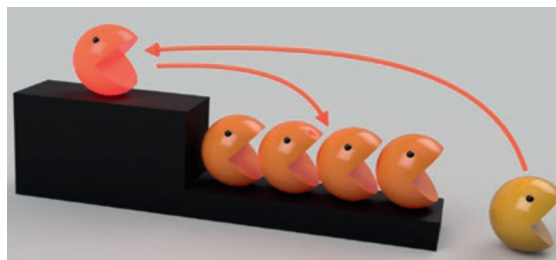
1.1.4 Laser ba cấp và bốn cấp

Đối với phát xạ kích thích, electron ở trạng thái nghỉ cần chuyển sang trạng thái kích thích. Nhưng trạng thái kích thích không ổn định do đó các electron chuyển về trạng thái nghỉ trước khi phát xạ kích thích. Do đó, không có laser hai cấp mà chỉ tồn tại trạng thái nghỉ và trạng thái kích thích. Để ngăn cản việc quay trở lại trạng thái nghỉ, môi trường có trạng thái giả ổn định - là trạng thái giữa trạng thái nghỉ và trạng thái

kích thích - được sử dụng trong laser thực tế [8].

Do đó, laser có trạng thái nghỉ ổn định, kích thích và giả ổn định được gọi là laser ba cấp và laser có hai trạng thái giả ổn định được gọi là laser bốn cấp. Các laser ba và bốn cấp điển hình là laser ruby và laser Nd:YAG (Hình 1.11 và 1.12) [3].

Trong laser ba cấp, mức laser thấp hơn là trạng thái cơ bản vì vậy có nhiều electron ở mức năng lượng thấp. Do đó, cần năng lượng cao để đảo ngược quần thể và sử dụng đèn flash có công suất cao. Do đó laser ba cấp thường là laser có sóng dạng xung. Bởi vì laser ba cấp cần đầu ra công suất cao, điều này làm cho chúng đắt tiền nhưng có thể tạo ra năng lượng rất cao (năng lượng xung 20J). Mặt khác, laser bốn cấp cần năng lượng thấp để nghịch đảo quần thể vì vậy có thể sử dụng đèn flash công suất thấp. Do đó, hầu hết các laser sóng liên tục đều sử dụng laser bốn cấp.



Hình 1.10 Khi các electron ở trạng thái cơ bản chuyển sang trạng thái kích thích không ổn định, nó sẽ rơi trở lại trạng thái giả ổn định.

Giải thích bổ sung về nguyên lý laser (Tiến sĩ vật lý Jong Kook Lee)

Nguyên lý của laser không thể được hiểu một cách hoàn hảo nếu chỉ với khái niệm về phát xạ kích thích được mô tả trước đó. Lý do cho điều này là vì các nguyên tử ở trạng thái kích thích có thể không chỉ phát xạ do kích thích mà còn có thể phát xạ một cách tự phát. Ngay cả khi cố gắng đưa các electron vào trạng thái kích thích, và cố gắng tạo ra sự phát xạ kích thích bằng cách chiếu xạ ánh sáng, thì cũng chẳng ích gì nếu các electron đã phát xạ tự phát. Và các electron rơi ngẫu nhiên ở bất kỳ trạng thái nào trong quá trình phát xạ tự phát (trong các hình trước, trạng thái cơ bản được biểu thị chỉ có một, nhưng trên thực tế, có một số trạng thái cơ bản) do đó các loại ánh sáng khác nhau được phát ra và một số ánh sáng bị hấp thụ lại bởi các electron. Kết quả là, ánh sáng có ít năng lượng hơn đầu vào được phát ra. Do đó, cần phải có một cơ chế ngăn chặn phát xạ tự phát và chỉ xảy ra phát xạ kích thích (Hình 1.10).

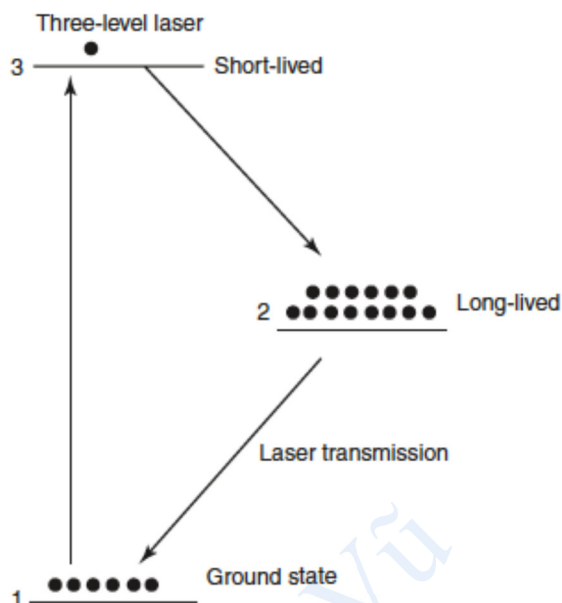
Trong Hình 1.10, khái niệm về trạng thái giả ổn định được giới thiệu. Một số vật liệu đặc biệt có thể được sử dụng để tạo ra trạng thái giả ổn định. Quy tắc thay đổi trạng thái của electron như sau:

1. Các electron ở trạng thái cơ bản chuyển lên trạng thái kích thích nhờ quá trình bơm.
2. Nhưng electron bị kích thích không thể rơi về trạng thái cơ bản. Nó chỉ có thể rơi vào trạng thái giả ổn định.

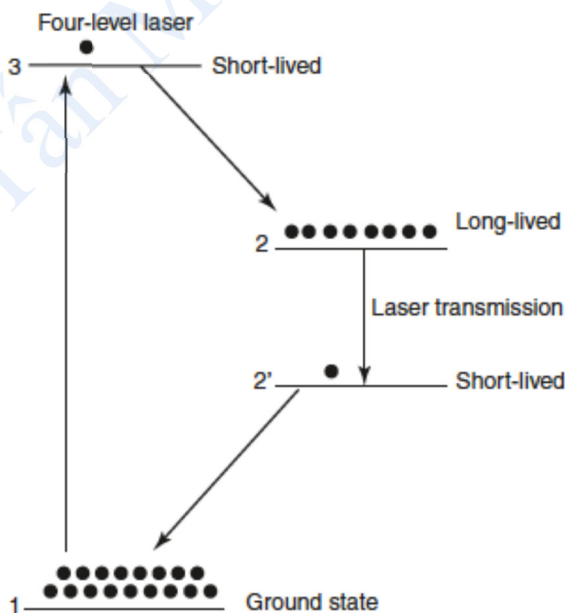
Các electron bị kích thích tích lũy ở trạng thái giả ổn định theo thời gian. Khi nhiều electron tích tụ ở trạng thái giả ổn định và ánh sáng được chiếu xạ, ánh sáng mạnh sẽ được phát ra và tia laser chúng ta muốn có thể được tạo ra.

1.2 Đặc tính của Laser

Laser được đặt tên là LASER theo chữ cái đầu tiên của cụm từ "Light Amplification



Hình 1.11 Đối với hệ thống laser ba cấp, có thể đạt được quần thể cấp 2 lớn hơn so với trạng thái cơ bản, bằng cách bơm rất mạnh từ cấp 1 đến cấp 2. (Sao chép từ [9])



Hình 1.12 Đối với hệ thống laser bốn cấp, có thể đạt được, ngay cả khi bơm yếu vào cấp 2 tồn tại lâu, một sự nghịch đảo quần thể so với mức tồn tại ngắn ở cấp 2', do tồn tại ngắn, cấp 2 trống ngay lập tức.

by Stimulated Emission of Radiation” (khuếch đại ánh sáng bằng bức xạ kích thích) [2]. Hiện nay, tia laser được tạo ra có bước sóng từ 100 nm đến 3 mm. Trong da liễu, từ

laser excimer với 308 nm đến laser CO₂ với 10.600 nm được sử dụng. Laser có thể được chia thành sóng liên tục và sóng xung khi chiếu xạ; thời gian chiếu xạ từ giây đến femto giây (10^{-15} s). Ngoài ra, có thể tạo ra tia laser với mật độ đầu ra cao lên đến 10^{10} W/cm² [4].

Tia laser có bốn đặc tính khác với ánh sáng (Hình 1.13). Thứ nhất, các photon có một bước sóng được phát ra phụ thuộc vào môi trường laser (tính đơn sắc). Thứ hai, hai photon được phát do kích thích song sinh có hình dạng giống nhau theo thời gian và không gian (tính nhất quán). Thứ ba, tia laser đi thẳng mà không phân tán theo hướng khác (tính chuẩn trực). Và cuối cùng, các photon được tăng lên theo cấp số nhân lên đến 10^{20} (tính cường độ cao). Trong bốn đặc tính, tính nhất quán là quan trọng trong quá trình tạo ra laser. Do tính nhất quán, các bước sóng của các photon được chồng lên nhau vì vậy năng lượng của các photon không thể bị triệt tiêu và có thể tạo ra tia laser có cường độ cao.

Do đó, laser còn có thể được gọi là máy khuếch đại ánh sáng đầu ra thấp và chuyển đổi thành ánh sáng cường độ cao. Tuy nhiên, theo quan điểm của bác sĩ sử dụng laser, tính đơn sắc quan trọng hơn vì laser nên được chọn theo nhóm mô đích. Tính đơn sắc sẽ được thảo luận ở phần sau.

Chuyển đổi đơn vị của giây cần được hiểu rõ (Bảng 1.3). Ví dụ, trong hầu hết các tài liệu laser, nó không được viết dưới dạng 10^{-3} s, mà được viết bằng mili giây, hoặc đơn giản là viết tắt ms. Bác sĩ mới làm quen với laser có thể bị nhầm lẫn bởi đơn vị giây chưa quen thuộc. Điều tối thiểu cần biết là đơn vị nào lớn hơn hoặc nhỏ hơn. Ngoài ra, vì tất cả các đơn vị đều ngắn hơn 1 giây, nhưng phải nhớ rằng có sự khác biệt hơn 1000 lần giữa các đơn vị.

1.2.1 Các thông số

Laser có các thông số năng lượng khác nhau (Bảng 1.4). Năng lượng là số lượng photon được phát ra trong một xung đơn lẻ. Bởi vì laser chất lượng cao phát ra rất nhiều photon trong một xung đơn lẻ, năng lượng

được sử dụng để biểu hiện sức mạnh của laser phát sóng dạng xung trong thời gian chiếu xạ không đổi. Mặt khác, công suất là số lượng photon được phát ra trong đơn vị thời gian. Khái niệm thời gian được bao gồm trong so sánh công suất với năng lượng. Bởi vì công suất là số lượng photon "mỗi giờ" trong khái niệm kỹ thuật, khái niệm này là kết quả đầu ra, công suất (sức mạnh) của một cỗ máy. Bởi vì "năng lượng = công suất × thời gian", năng lượng có nghĩa là "tổng lực tác dụng" hoặc "khối lượng công việc mà một máy đã thực hiện." Công suất chủ yếu được sử dụng để biểu hiện kết quả đầu ra của laser sóng liên tục [10].

Do đó, năng lượng và công suất đều được sử dụng để biểu thị kết quả đầu ra của tia laser. Tuy nhiên, đối với các bác sĩ dùng laser, số lượng các photon được chiếu xạ trên da là rất quan trọng, đó là lý do tại sao khái niệm về đơn vị diện tích là cần thiết. Do đó, các thông số về mật độ năng lượng và mật độ công suất được sử dụng. Mật độ năng lượng là số lượng các photon được chiếu xạ trong một xung đơn tính trên một đơn vị diện tích da. Nó thường được gọi là lưu lượng (fluence). Mật độ công suất là số lượng photon được chiếu xạ trên da, trên một đơn vị thời gian và đơn vị diện tích.


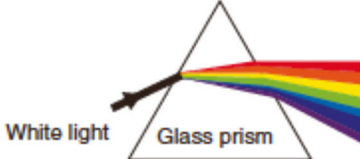




Bảng 1.3 Đơn vị chuyển đổi của 1 giây

Đơn vị	Giây
Mili giây (ms)	10^{-3}
Micro giây (μ s)	10^{-6}
Nano giây (ns)	10^{-9}
Pico giây (ps)	10^{-12}

Bảng 1.4 Các thông số năng lượng của bức xạ ánh sáng

Thông số	Đơn vị	Công thức
Năng lượng	Joule (J)	Energy = power x s
Công suất	Watt (W)=J/s	Power = energy/s
Mật độ năng lượng	J/cm ²	Energy density = energy/cm ²
Mật độ công suất	W/cm ²	Power density = power/cm ²

Hình 1.13 Bốn đặc tính của laser.

	Laser light	Non-laser light(e.g., flashlight)
①	Monochromatic 	Polychromatic 
②	Coherent 	Incoherent 
③	Collimated 	Divergent 
④	High intensity	Low intensity

Vậy thông số nào quan trọng hơn? Mật độ năng lượng hoặc mật độ công suất? Khi tia laser tiếp xúc với da, nhiệt độ sẽ tăng lên. Nói cách khác, năng lượng ánh sáng được chuyển thành nhiệt năng. Số lượng photon càng nhiều thì nhiệt độ sẽ càng cao. Bởi vì số lượng photon được bao gồm trong cả mật độ công suất và mật độ năng lượng, mật độ năng lượng hoặc công suất càng cao, nhiệt độ sẽ càng cao. Nhưng nếu số lượng photon như nhau thì nhiệt độ nào cao hơn? Mười photon trong da trên 1 giây hay 10 photon trong 10 giây? Tất nhiên, trong trường hợp trước, nhiệt độ sẽ cao hơn. Ví dụ, trong cả loại trước và sau, mật độ năng lượng là 10 J/cm^2 . Nhưng mật độ công suất là 10 W/cm^2 trong trường hợp trước và 1 W/cm^2 trong trường hợp sau. Điều đó cho thấy, mật độ công suất quan trọng hơn lưu lượng đối với chúng tôi. Tuy nhiên, bạn có thể nghĩ rằng mật độ năng lượng quan trọng hơn bởi vì chỉ mật độ năng lượng mới xuất hiện trong bảng điều khiển của laser Q-switched thường được sử dụng và chỉ có thể điều chỉnh thông số mật độ năng lượng trong laser Q-switched. Thậm chí trong laser CO_2 , đơn vị công suất không phải là W/cm^2 mà là Watt. Do đó, các bác sĩ dùng laser nên ghi nhớ mật

độ công suất ngay cả khi mật độ công suất không được thể hiện trong bảng điều khiển laser.

Bảng 1.5 cho thấy mật độ năng lượng và thời gian xung (độ dài xung), thường được sử dụng trong lâm sàng cho mỗi loại tia laser. Mật độ công suất tương ứng cũng được tính toán. Bảng cho thấy một số hiện tượng thú vị. Đường thẳng đứng của độ dài xung cho thấy mật độ công suất tăng nhanh khi độ dài xung giảm [4]. Ngay cả khi mật độ năng lượng giảm, mật độ công suất vẫn tăng mạnh. Như đã đề cập trước đây, có sự khác biệt lớn về (1) lưu lượng được hiển thị và (2) mật độ công suất thực.

Có một điều khác cần lưu ý trong Bảng 1.5. Mật độ công suất phần nào liên quan đến công suất của tia laser vì khái niệm công suất được bao gồm trong mật độ công suất. Công suất quyết định giá trị của máy laser. Hiện tại, Q-switched laser rẻ hơn rất nhiều và có một số IPL cũng đắt, nhưng trước đây, Q-switched laser đắt hơn IPL rất nhiều. Ngoài ra, theo lý thuyết quang nhiệt chọn lọc, các mục tiêu nhỏ hơn có thể được xử lý bằng độ dài xung ngắn hơn. Nói cách khác, laser đắt tiền điều trị nhiều mục tiêu hơn vì độ dài xung ngắn hơn, trong khi laser rẻ hơn không

Bảng 1.5 Thông số cho một số loại laser

Bước xạ	Mật độ năng lượng ($J/cm^2 = W/cm^2 \cdot s$)	Độ dài xung (ms)	Mật độ công suất (W/cm^2)
Frequency double Nd:YAG laser	18	10	1800
IPL (freckles)	17	7	2428
Pulse dye laser (PWS)	5.5	0.45	12.222
Q-S ruby laser (tatoo)	4	0.00004	1×10^8

Laser Nd: YAG nhân đôi tần số có nghĩa là laser 532 nm. Vì tần số và bước sóng tỷ lệ nghịch nên laser Nd: YAG nhân đôi tần số có nghĩa là 532 nm, bằng một nửa bước sóng của Nd: YAG, 1064 nm

Bảng 1.6 Thông số của bức xạ ánh sáng

Thông số	Đơn vị
Độ dài xung	Giây, mili giây, micro giây, nano giây
Tần số	Hertz (Hz) = số lượng xung/ giây
Bước sóng	Nanometer (nm)
Kích thước điểm	Milimeter (mm)

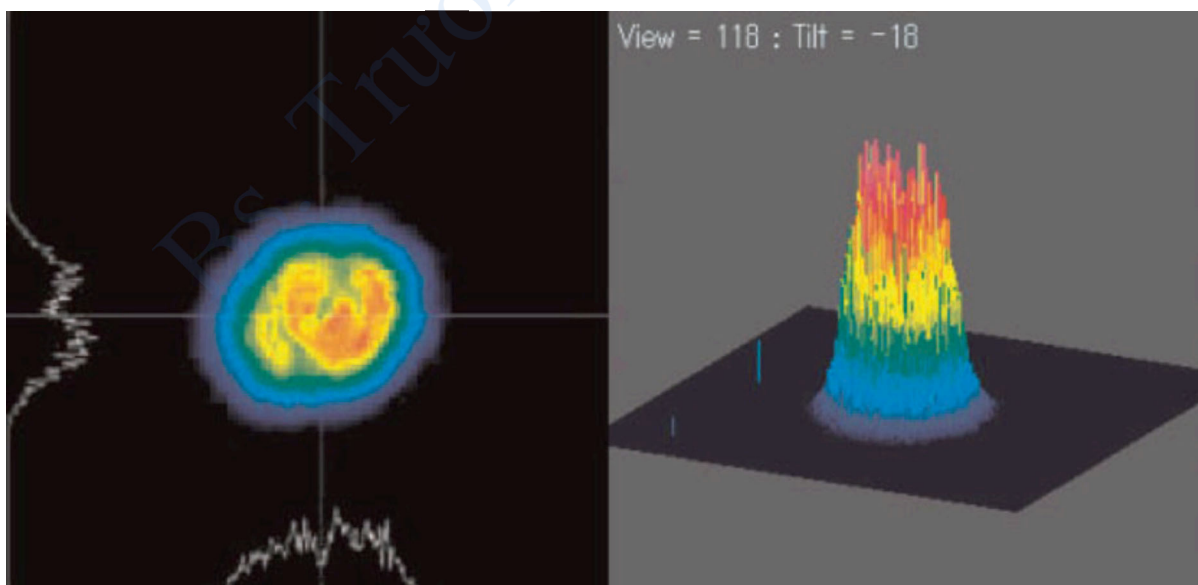
thể điều trị một số các mục tiêu nhất định vì không thể rút ngắn độ dài xung.

Các thông số khác được sử dụng cho laser được trình bày trong Bảng 1.6.

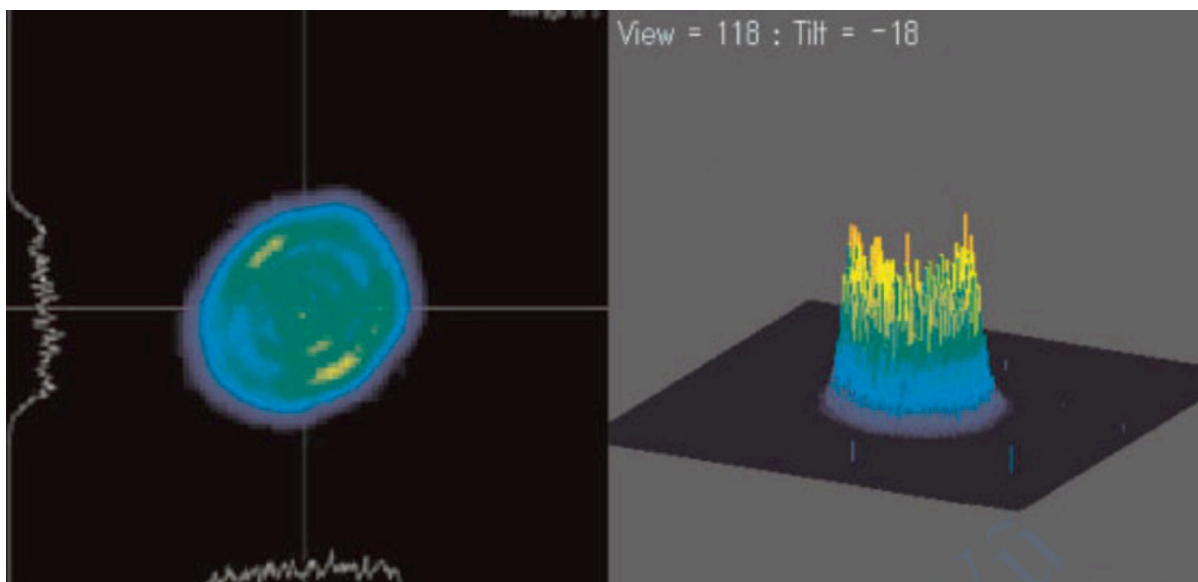
1.2.2 Cấu hình theo không gian của tia

Dạng tia là một thuật ngữ mô tả cấu hình không gian của chùm tia laser và biểu thị sự phân bố cường độ tia laser trong không gian. Các cấu hình chùm tia điển hình là cấu hình Gaussian và cấu hình đỉnh phẳng (top-hat) (Hình 1.14 và 1.15). Có nhiều dạng tia khác nhau; mỗi dạng tia được biểu thị bằng số bên cạnh chữ TEM (transverse electromagnetic mode). Ví dụ, cấu hình Gaussian là cấu hình cơ bản, được gọi là TEM_{00} và TEM_{10} , TEM_{20} là cấu hình dạng bánh rán và dạng hình bia [3].

Dạng tia được quyết định bởi hình dạng của gương trong khoang quang học [3]. Ngoài ra, dạng tia được quyết định bởi hệ thống phân phối và, ở dạng đỉnh phẳng, 80–90% ở trung tâm của mặt cắt ngang có phân bố đồng đều vì vô số phản xạ xảy ra trong hệ thống phân phối dạng sợi dẻo của sợi thủy tinh [12].



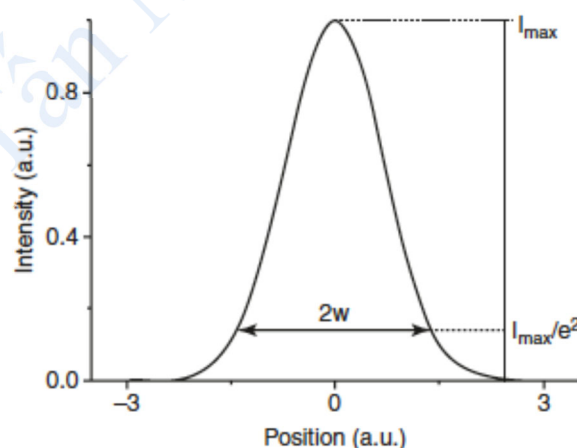
Hình 1.14 Cấu hình Gaussian. Dạng 3D chùm tia của laser C3 (bước sóng 1064 nm, kích thước điểm 4 mm, năng lượng mỗi xung 450 mJ/cm², độ dài xung 8–10 ns, tần số xung 10 Hz) được tạo bởi phần mềm DataRay v.500 M4. Đây là cấu hình "Gaussian" điển hình.



Hình 1.15 Cấu hình đỉnh phẳng. Dạng 3D chùm tia của laser C6 (bước sóng 1064 nm, kích thước điểm 4 mm, năng lượng mỗi xung 1000 mJ/cm², độ dài xung 8–10 ns, tần số xung 10 Hz) được tạo bởi phần mềm DataRay v.500 M4. Sự phân bố mật độ năng lượng đồng nhất hơn so với C3. Chùm tia C6 có đỉnh phẳng và phần lớn diện tích bằng trung bình cộng của năng lượng tác dụng.

Trong cấu hình Gaussian, cường độ laser giống như phân bố chuẩn Gaussian trong đó tâm điểm có cường độ cao nhất và giảm dần về phía rìa. Trong cấu hình Gaussian, điểm mà cường độ của tia laser giảm xuống 86% được xác định là đường kính chùm tia (Hình 1.16) [2].

Cấu hình Gaussian có thể không phải là dạng tia mà chúng ta muốn. Ví dụ, khi điều trị các đốm nâu, vùng tâm của chùm tia có thể rất mạnh vì vậy xảy ra PIH, phần giữa của chùm tia có thể loại bỏ các đốm nâu mà không có tác dụng phụ, trong khi phần rìa của chùm tia có thể không loại bỏ được các đốm nâu do năng lượng rất yếu. Mặc dù cần có sự chùng chéo ở một mức độ nào đó để tạo ra sự phân bố đồng đều, nhưng về mặt kỹ thuật là rất khó trừ khi một máy quét được gắn và khớp cơ học một cách chính xác. Vì vậy, cấu hình đỉnh phẳng là một dạng tia phù hợp để loại bỏ đốm nâu. Nhưng không đúng khi đơn giản nói rằng cấu hình đỉnh phẳng là tốt và Gaussian là không tốt. Nó có thể khác nhau tùy thuộc vào mục tiêu điều trị mà cấu hình nên được chọn. Ví dụ, cấu hình Gaussian thích hợp hơn cấu hình đỉnh phẳng trong điều trị nevi tế bào hắc tố.



Hình 1.16 Phân bố chùm tia đầu ra Gaussian; $2w$ cho biết đường kính kích thước đốm được đo tại một giá trị mà cường độ giảm xuống $1/e^2$ của giá trị lớn nhất.

Laser CO₂ chỉ có thể sử dụng hệ thống phân phối dạng khớp vì tia laser được hấp thụ và biến mất trong hệ thống phân phối bằng sợi quang. Do đó, cấu hình Gaussian được tạo ra trong khoang quang học được mặc định trong laser CO₂. Cũng vậy, trong laser Q-switched, chỉ có thể sử dụng hệ thống phân phối dạng khớp vì hệ thống phân

phối dạng sợi quang có thể bị hỏng do công suất lớn. Do đó, mặc dù cấu hình Gaussian là mặc định trong laser Q-switch, hầu hết các laser Q-switch được sản xuất gần đây đều cài đặt cấu hình đỉnh phẳng bằng cách phân phối đồng nhất về mặt quang học của chùm tia laser trong tay cầm.

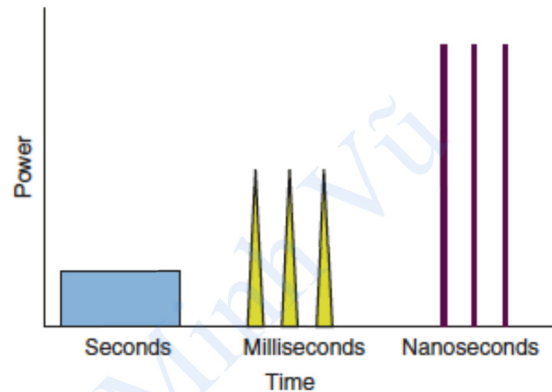
1.2.3 Cấu hình theo thời gian của tia

Cấu hình theo thời gian của chùm tia laser được phân loại theo sóng liên tục, sóng bán liên tục và sóng dạng xung (Hình 1.17). Sóng liên tục được sử dụng trong laser CO₂, trong đó quá trình chiếu xạ là liên tục. Trong sóng bán liên tục, bức xạ bị tắt cường độ bằng cách sử dụng cửa chớp như cánh quạt ở giữa các lần chiếu xạ liên tục [2]. Ví dụ như laser hơi đồng/bromua.

Sóng liên tục được tạo ra bằng cách cung cấp liên tục năng lượng từ nguồn năng lượng bên ngoài vào môi trường laser và liên tục tạo ra sự nghịch đảo quần thể. Sóng dạng xung được tạo ra bằng cách cung cấp năng lượng từng lần, giống như đèn flash trên máy ảnh.

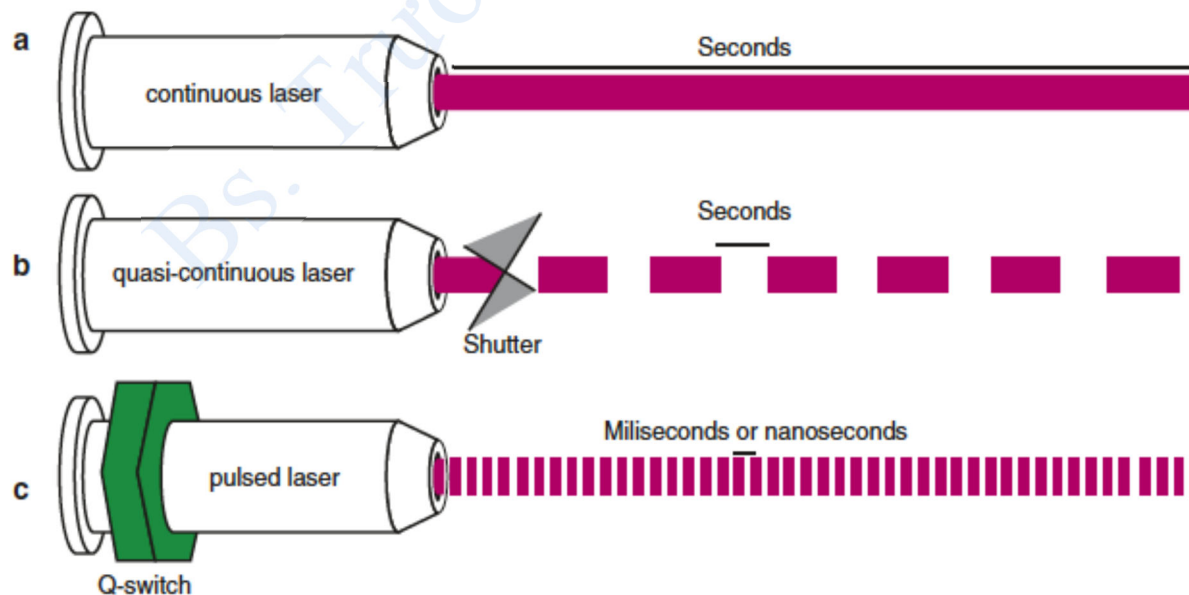
Bởi vì sóng bán liên tục dựa trên sóng liên tục, công suất của sóng bán liên tục cũng giống như sóng liên tục. Do đó, sóng bán liên

tục không có khả năng tạo ra công suất cao và độ dài xung thường từ 1 ms đến 1 s, dài hơn micro giây hoặc nano giây. Mặt khác, vì sóng dạng xung tích trữ các photon và phát ra tất cả chúng cùng một lúc trong một thời gian rất ngắn, nên công suất cao hơn nhiều so với sóng liên tục hoặc bán liên tục (Hình 1.18).



Hình 1.18 Công suất của laser dạng xung.

Làm thế nào laser dạng xung có thể tích trữ các photon và phát ra tất cả chúng cùng một lúc? Chúng ta hãy xem xét laser Q-switch, một ví dụ về laser dạng xung.



Hình 1.17 Cấu hình theo thời gian của chùm tia laser. (a) sóng liên tục, (b) sóng bán liên tục và (c) sóng dạng xung.