

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

**TCVN 12670-14:2020
IEC/TR 60825-14:2004**

Xuất bản lần 1

**AN TOÀN SẢN PHẨM LASER –
PHẦN 14: HƯỚNG DẪN SỬ DỤNG**

*Safety of laser products –
Part 14: A user's guide*

HÀ NỘI – 2020

Mục lục

	Trang
Lời nói đầu	4
1 Phạm vi áp dụng	5
2 Thuật ngữ và định nghĩa	6
3 Các quy định về hành chính	17
4 Nguy hiểm bức xạ laser	20
5 Xác định phơi nhiễm lớn nhất cho phép (MPE)	32
6 Nguy hiểm kết hợp	37
7 Đánh giá rủi ro	41
8 Biện pháp kiểm soát	45
9 Duy trì hoạt động an toàn	56
10 Báo cáo về tai nạn và nghiên cứu tai nạn	56
11 Theo dõi y tế	57
Phụ lục A (tham khảo) – Ví dụ về hệ thống khóa liên động đối với khu vực có kiểm soát laser	63
Phụ lục B (tham khảo) – Các ví dụ tính toán	69
Phụ lục C (tham khảo) – Lưu ý về lý sinh	94
Thư mục tài liệu tham khảo	105

TCVN 12670-14:2020

Lời nói đầu

TCVN 12670-14:2020 hoàn toàn tương đương với IEC 60825-14:2004;

TCVN 12670-14:2020 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn quốc gia TCVN/TC/E1 *Máy điện và khí cụ điện* biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Bộ tiêu chuẩn TCVN 12670 (IEC 60825), An toàn sản phẩm laser, gồm có các phần sau:

- TCVN 12670-1:2020 (IEC 60825-1:2004), Phần 1: Phân loại thiết bị và các yêu cầu
- TCVN 12670-14:2020 (IEC/TR 60825-14:2004), Phần 14: Hướng dẫn sử dụng

An toàn sản phẩm laser – Phần 14: Hướng dẫn sử dụng

*Safety of laser products –
Part 14: A user's guide*

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này cung cấp hướng dẫn về thông lệ tốt nhất để sử dụng an toàn các sản phẩm laser phù hợp với TCVN 12670-1 (IEC 60825-1). Thuật ngữ "sản phẩm laser" và "thiết bị laser" khi được sử dụng trong tiêu chuẩn này cũng đề cập đến thiết bị, cụm lắp ráp hoặc hệ thống mà có khả năng phát ra bức xạ quang sinh ra bởi quá trình phát xạ cưỡng bức. Tuy nhiên, không giống với TCVN 12670-1 (IEC 60825-1), tiêu chuẩn này không đề cập đến điốt phát quang (LED).

Các sản phẩm laser Cấp 1 thường không nguy hiểm và các sản phẩm laser Cấp 2 thường chỉ có nguy hiểm tối thiểu. Với các sản phẩm này, chỉ cần tuân thủ các cảnh báo trên các nhãn của sản phẩm và các hướng dẫn của nhà chế tạo về sử dụng an toàn là đủ. Các biện pháp bảo vệ thêm như mô tả trong tiêu chuẩn này là không cần thiết.

Tiêu chuẩn này nhấn mạnh việc đánh giá rủi ro từ các bộ phát laser công suất cao nhưng người sử dụng bộ phát laser công suất thấp hơn có thể sử dụng các thông tin này. Xem Bảng 1 để có thông tin tổng quan.

Tiêu chuẩn này có thể áp dụng để sử dụng sản phẩm bất kỳ có chứa bộ phát laser cho dù được bán hoặc được khuyến mại thêm hay không. Do đó, tiêu chuẩn này có thể áp dụng cho các bộ phát laser có cấu trúc đặc biệt (kể cả các hệ thống thực nghiệm và hệ thống chạy thử nghiệm).

Tiêu chuẩn này được thiết kế để giúp người sử dụng bộ phát laser và người sử dụng lao động hiểu nguyên tắc chung để quản lý an toàn (Điều 3), để nhận biết các nguy hiểm có thể có (Điều 4 đến Điều 6), để đánh giá rủi ro có hại có thể xảy ra (Điều 7) và để thiết lập và duy trì các biện pháp kiểm soát thích hợp (Điều 8 đến Điều 11).

Biện pháp kiểm soát laser rất đa dạng. Chúng phụ thuộc vào kiểu thiết bị laser đang sử dụng, tác vụ hoặc quá trình đang thực hiện, môi trường sử dụng thiết bị và người vận hành có thể bị đặt trong rủi ro có hại. Các yêu cầu cụ thể đối với các ứng dụng nhất định của laser được cho trong các tiêu chuẩn khác của bộ tiêu chuẩn IEC 60825 (xem thư mục tài liệu tham khảo về tiêu đề của các tiêu chuẩn này).

TCVN 12670-14:2020

Thuật ngữ “dự đoán được một cách hợp lý” và “theo dự đoán một cách hợp lý” được sử dụng trong tiêu chuẩn này liên quan đến các trường hợp, tình huống hoặc điều kiện cụ thể nhất định. Trách nhiệm của người sử dụng tiêu chuẩn này là xác định xem cái gì là “dự đoán được một cách hợp lý” và cái gì có thể xảy ra “theo dự đoán một cách hợp lý” và có thể đề phòng, trên cơ sở tiêu chí đánh giá rủi ro, thực hiện các đánh giá bất kỳ.

Tiêu chuẩn này được sử dụng bởi những “người sử dụng” thiết bị laser. Điều này bao gồm những người có trách nhiệm về an toàn bên cạnh những người thực sự làm việc cùng thiết bị laser hoặc vận hành thiết bị laser.

2 Thuật ngữ và định nghĩa

Tiêu chuẩn này sử dụng các thuật ngữ và định nghĩa sau.

2.1

Kiểm soát về hành chính (administrative control)

Biện pháp an toàn không thuộc loại kỹ thuật, ví dụ giám sát chìa khóa; huấn luyện an toàn cho người vận hành; cảnh báo; các quy trình đếm ngược; và các bảo vệ an toàn về khoảng cách.

2.2

Góc α nhỏ nhất (alpha min)

α_{\min}

Xem góc tương (2.4).

2.3

Góc chấp nhận (angle of acceptance)

γ

Góc phẳng trong đó bộ phát hiện sẽ phản ứng với bức xạ quang và thường được đo bằng radian. Góc chấp nhận này có thể được kiểm soát bằng các lỗ mờ hoặc phần tử quang phía trước bộ phát hiện.

CHÚ THÍCH 1: Góc chấp nhận đôi khi cũng được gọi là trường nhìn.

CHÚ THÍCH 2: Để đánh giá nguy hiểm quang hóa, quy định góc chấp nhận giới hạn của phép đo, γ_p . Góc γ_p có liên quan về sinh học với sự chuyển động của mắt và không phụ thuộc vào góc tương của nguồn. Nếu góc tương của nguồn nhỏ hơn góc chấp nhận giới hạn thì góc chấp nhận đo thực không bị giới hạn. Nếu góc tương của nguồn lớn hơn góc chấp nhận giới hạn quy định thì góc chấp nhận phải bị giới hạn và nguồn phải được quét các điểm nóng. Nếu góc chấp nhận đo không bị giới hạn ở mức quy định thì nguy hiểm có thể sẽ bị đánh giá quá mức.

2.4

Góc tương (angular subtense)

α

Góc được tương bởi nguồn biểu kiến khi nhìn từ một điểm trong không gian.

CHÚ THÍCH 1: Trong tiêu chuẩn này, để phân loại, góc trường được xác định tại một điểm cách nguồn biểu kiến một khoảng không ít hơn 100 mm (hoặc tại cửa sổ hoặc thấu kính của sản phẩm nếu nguồn biểu kiến được đặt ở khoảng cách lớn hơn 100 mm trong phạm vi cửa sổ hoặc thấu kính đó). Để phân tích các mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép, góc trường được xác định tại khoảng cách quan sát tính từ nguồn biểu kiến nhưng không nhỏ hơn 100 mm.

CHÚ THÍCH 2: Góc trường của nguồn biểu kiến áp dụng trong tiêu chuẩn này chỉ cho dải bước sóng từ 400 nm đến 1 400 nm, vùng có nguy hiểm võng mạc.

CHÚ THÍCH 3: Không được nhầm góc trường của nguồn với độ phân kỳ của chùm tia.

2.5

Lỗ mở (aperture)

Khe hở bất kỳ trong vỏ bảo vệ hoặc vỏ ngoài khác của sản phẩm laser mà thông qua đó bức xạ laser được phát ra, và khi đó cho phép người tiếp cận bức xạ này.

2.5.1

Nắp che lỗ mở (aperture stop)

Lỗ mở dùng để xác định vùng đo bức xạ.

2.6

Nguồn biểu kiến (apparent source)

Vật thể thực hoặc ảo tạo nên hình ảnh võng mạc nhỏ nhất có thể có.

CHÚ THÍCH 1: Định nghĩa này được sử dụng để xác định vị trí điểm xuất phát biểu kiến của bức xạ laser trong dải bước sóng từ 400 nm đến 1 400 nm, với giả thiết nguồn biểu kiến được đặt trong phạm vi điều tiết của mắt (≥ 100 mm). Trong giới hạn triệt tiêu phân kỳ, tức là trường hợp chùm tia chuẩn trực lý tưởng thì vị trí nguồn biểu kiến tiến đến vô hạn.

Khái niệm nguồn biểu kiến được sử dụng trong vùng bước sóng kéo dài từ 302,5 nm đến 4 000 nm vì các thấu kính thông thường có thể hội tụ trong vùng này.

2.7

Chùm tia (beam)

Bức xạ laser có thể được đặc trưng bởi hướng, độ phân kỳ, đường kính hoặc các thông số quét.

CHÚ THÍCH: Bức xạ tán xạ do phản xạ không phải loại phản chiếu gương không được coi là chùm tia.

2.8

Bộ suy giảm chùm tia (beam attenuator)

Thiết bị làm giảm bức xạ laser đến hoặc thấp hơn mức quy định.

2.9

Đường kính chùm tia/Độ rộng chùm tia (beam diameter/beam width)

d_u

TCVN 12670-14:2020

Đường kính của đường tròn nhỏ nhất chứa u % tổng công suất laser (hoặc tổng năng lượng laser).
Trong tiêu chuẩn này sử dụng d_{63} .

CHÚ THÍCH: Trong trường hợp chùm tia Gauss, d_{63} ứng với điểm có độ rọi (phoi nhiễm bức xạ) nằm trong phạm vi 1/e của giá trị đỉnh tại tâm của nó.

2.10

Sự phân kỳ của chùm tia (beam divergence)

Góc trong mặt phẳng trường xa của hình nón xác định bởi đường kính chùm tia.

CHÚ THÍCH 1: Nếu đường kính chùm tia tại hai điểm cách nhau bởi khoảng cách r là d_{63} và d'_{63} , sự phân kỳ được cho bởi:

$$\varphi = 2 \arctan \left(\frac{d_{63} - d'_{63}}{2r} \right)$$

CHÚ THÍCH 2: Đơn vị SI: radian.

2.11

Bộ khóa chùm tia (beam stop)

Thiết bị kết thúc tuyến chùm tia laser.

2.12

Sản phẩm laser Cấp 1 (class 1 laser product)

Sản phẩm laser bất kỳ không cho phép con người tiếp cận đến bức xạ laser vượt quá mức phát xạ tiếp cận được của Cấp 1 đối với các bước sóng và khoảng thời gian phát xạ áp dụng được.

2.13

Sản phẩm laser Cấp 1M (Class 1M laser product)

Sản phẩm laser bất kỳ trong dải bước sóng từ 302,5 nm đến 4 000 nm không cho phép con người tiếp cận đến bức xạ laser vượt quá mức phát xạ tiếp cận được của Cấp 1 đối với các bước sóng và thời gian phát xạ áp dụng được, ở đó mức bức xạ được đo nhưng được đánh giá với các lỗ mờ đo nhỏ hơn hoặc ở khoảng cách đến nguồn biểu kiến lớn hơn so với khoảng cách sử dụng cho các sản phẩm laser Cấp 1.

CHÚ THÍCH: Đầu ra của sản phẩm laser Cấp 1M do đó sẽ có nguy hiểm tiềm ẩn khi được quan sát sử dụng thiết bị đo quang.

2.14

Sản phẩm laser Cấp 2 (Class 2 laser product)

Sản phẩm laser bất kỳ không cho phép con người tiếp cận đến bức xạ laser vượt quá mức phát xạ tiếp cận được của Cấp 2 đối với các bước sóng và khoảng thời gian phát xạ áp dụng được.

2.15**Sản phẩm laser Cấp 2M (Class 2M laser product)**

Sản phẩm laser bất kỳ trong dải bước sóng từ 400 nm đến 700 nm không cho phép con người tiếp cận đến bức xạ laser vượt quá mức phát xạ tiếp cận được của Cấp 2 đối với các bước sóng và khoảng thời gian phát xạ áp dụng được, ở đó mức bức xạ được đo nhưng được đánh giá với các lỗ mở đo nhỏ hơn hoặc ở khoảng cách đến nguồn biểu kiến lớn hơn so với khoảng cách sử dụng cho các sản phẩm laser Cấp 2.

CHÚ THÍCH: Đầu ra của sản phẩm laser Cấp 2M do đó sẽ có nguy hiểm tiềm ẩn khi được quan sát sử dụng thiết bị đo quang.

2.16**Sản phẩm laser Cấp 3R và Cấp 3B (Class 3R and Class 3B laser products)**

Sản phẩm laser bất kỳ cho phép con người tiếp cận đến bức xạ laser vượt quá mức phát xạ tiếp cận được của Cấp 1 và Cấp 2, nếu thuộc đối tượng áp dụng, nhưng không cho phép con người tiếp cận với bức xạ laser vượt quá mức phát xạ tiếp cận được của Cấp 3R và 3B (tương ứng) đối với khoảng thời gian và bước sóng phát xạ bất kỳ.

2.17**Sản phẩm laser Cấp 4 (Class 4 laser products)**

Sản phẩm laser bất kỳ cho phép con người tiếp cận đến bức xạ laser vượt quá mức phát xạ tiếp cận được của Cấp 3B.

2.18**Bức xạ phụ (collateral radiation)**

Bức xạ điện từ bất kỳ, trong dải bước sóng từ 180 nm đến 1 mm, ngoại trừ bức xạ laser, được phát ra bởi sản phẩm laser là kết quả của hoặc trạng thái vật lý cần thiết cho sự vận hành của bộ phát laser.

2.19**Chùm tia chuẩn trực (collimated beam)**

Tia bức xạ "song song" có sự phân kỳ hoặc hội tụ ở góc rất nhỏ.

2.20**Sóng liên tục (continuous wave)****CW**

Bộ phát laser vận hành với đầu ra liên tục mà không phải chế độ xung. Trong tiêu chuẩn này, bộ phát laser vận hành với đầu ra liên tục trong khoảng thời gian bằng hoặc lớn hơn 0,25 s được coi là bộ phát laser liên tục.

2.21**Tuyến chùm tia xác định (defined beam path)**

Tuyến dự kiến của chùm tia laser trong sản phẩm laser.

TCVN 12670-14:2020

2.22

Sự phản xạ khuếch tán (diffuse reflection)

Sự thay đổi phân bố theo không gian của chùm tia bức xạ do phân tán theo nhiều hướng bởi mặt phẳng hoặc môi chất.

CHÚ THÍCH 1: Bộ khuếch tán hoàn hảo sẽ phá vỡ mọi sự tương quan giữa các hướng của bức xạ tới và bức xạ phản xạ.

CHÚ THÍCH 2: Định nghĩa này khác với IEC 845-04-47.

2.23

Sản phẩm laser gắn vào (embedded laser product)

Trong tiêu chuẩn này, sản phẩm laser có cấp thấp hơn khả năng vốn có của bộ phát laser kết hợp, do các đặc điểm kỹ thuật giới hạn phát xạ tiếp cận được.

CHÚ THÍCH: Bộ phát laser được kết hợp trong sản phẩm laser lắp trong được gọi là bộ phát laser lắp trong.

2.24

Khoảng thời gian phát xạ (emission duration)

Khoảng thời gian của xung, của một chuỗi các xung, hoặc của hoạt động liên tục, trong đó có thể xảy ra việc tiếp cận của người với bức xạ laser do vận hành, bảo dưỡng hoặc bảo trì sản phẩm laser. Đối với chuỗi các xung, đây là khoảng thời gian giữa điểm công suất nửa đỉnh đầu tiên của sườn trước và điểm công suất nửa đỉnh cuối cùng của sườn sau.

2.25

Khoảng thời gian phơi nhiễm (exposure duration)

Xem thời gian phơi nhiễm (2.26).

2.26

Thời gian phơi nhiễm (exposure time)

Khoảng thời gian của xung, của loạt xung, hoặc của một chuỗi các xung, hoặc của sự phát xạ liên tục của bức xạ laser đến cơ thể người. Đối với chuỗi các xung, đây là khoảng thời gian giữa điểm công suất nửa đỉnh đầu tiên của sườn trước và điểm công suất nửa đỉnh cuối cùng của sườn sau.

2.27

Quan sát nguồn kéo dài (extended source viewing)

Điều kiện quan sát bằng cách cho nguồn biểu kiến ở khoảng cách 100 mm hoặc lớn hơn tương một góc tại mắt lớn hơn góc tương nhỏ nhất (α_{min}).

CHÚ THÍCH: Hai điều kiện nguồn kéo dài được xem xét trong tiêu chuẩn này khi xét đến các nguy cơ gây thương tích bởi nhiệt lên võng mạc: nguồn trung bình và nguồn lớn. Chúng được sử dụng để phân biệt các nguồn có góc tương, α , giữa α_{min} và α_{max} (các nguồn trung bình) và lớn hơn α_{max} (các nguồn lớn).

Các ví dụ là khi quan sát một số phản xạ khuếch tán và một số mạng điốt laser.

2.28**Hồng một cách an toàn (fail safe)**

Xem xét thiết kế trong đó việc hồng một thành phần không làm tăng nguy hiểm. Trong chế độ hồng, hệ thống được làm mất hiệu lực hoặc không còn nguy hiểm.

2.29**Khả năng tiếp cận của người (human access)**

a) khả năng một phần của cơ thể người gặp bức xạ laser nguy hiểm được phát ra từ lỗ mở, hoặc khả năng một que thẳng có đường kính 12 mm dài đến 80 mm chặn được bức xạ laser Cấp 2, 2M hoặc 3R; hoặc

b) đối với các mức bức xạ laser trong phạm vi vỏ bảo vệ vượt quá các giới hạn trong điểm a), khả năng của phần bất kỳ của cơ thể người gặp bức xạ laser nguy hiểm mà có thể được phản xạ trực tiếp bởi bề mặt phẳng bất kỳ từ bên trong sản phẩm xuyên qua khe hở bất kỳ trong vỏ bảo vệ của nó.

2.30**Tích phân của bức xạ (integrated radiance)**

Tích phân của bức xạ trong khoảng thời gian phơi nhiễm cho trước thể hiện bằng năng lượng bức xạ trên một đơn vị diện tích của bề mặt bức xạ trên mỗi đơn vị góc khối phát xạ (thường được thể hiện bằng $J \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$)

2.31**Quan sát nội chùm tia (intrabeam viewing)**

Tất cả các điều kiện quan sát ở đó mắt bị phơi nhiễm trực tiếp hoặc phản xạ gương với chùm tia laser tương phản với, ví dụ, quan sát các phản xạ khuếch tán.

2.32**Độ rọi (irradiance)** **E**

Thương số giữa lượng bức xạ $d\Phi$ tới một phần tử của mặt phẳng có diện tích dA .

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

CHÚ THÍCH: Đơn vị SI: oát trên mét vuông ($W \cdot m^{-2}$).

2.33**Bộ phát laser (laser)**

Thiết bị bất kỳ có thể được thực hiện để tạo ra hoặc khuếch đại bức xạ điện từ trong dải bước sóng từ 180 nm đến 1 mm chủ yếu bởi quá trình phát xạ cưỡng bức có kiểm soát.

CHÚ THÍCH: Định nghĩa này khác với IEC 845-04-39.

TCVN 12670-14:2020

2.34

Khu vực có kiểm soát laser (laser controlled area)

Khu vực ở đó việc có mặt hoặc hoạt động trong phạm vi khu vực chịu sự kiểm soát và giám sát với mục đích bảo vệ khỏi nguy hiểm bức xạ laser.

2.35

Nguồn cấp năng lượng laser (laser energy source)

Thiết bị bất kỳ được thiết kế để sử dụng cùng với bộ phát laser nhằm cấp năng lượng để kích thích các điện tử, ion hoặc phân tử.

CHÚ THÍCH: Các nguồn năng lượng thông dụng ví dụ như nguồn điện hoặc pin/acquy không được xem là tạo thành các nguồn năng lượng laser.

2.36

Thiết bị laser (laser equipment)

Sản phẩm laser – cụm lắp ráp là hoặc có chứa bộ phát laser.

2.37

Sản phẩm laser (laser product)

Sản phẩm hoặc cụm linh kiện bất kỳ tạo thành, kết hợp hoặc được thiết kế để kết hợp với bộ phát laser hoặc hệ thống laser, và không được bán cho nhà chế tạo khác để sử dụng như linh kiện (hoặc thay thế cho linh kiện) của sản phẩm điện tử.

2.38

Bức xạ laser (laser radiation)

Tất cả các bức xạ điện từ do sản phẩm laser phát ra trong phạm vi từ 180 nm đến 1 mm mà được tạo ra bởi phát xạ cưỡng bức có kiểm soát.

2.39

Nhân viên an toàn laser (laser safety officer)

Người có hiểu biết về đánh giá và kiểm soát các nguy hiểm laser và có trách nhiệm giám sát sự kiểm soát nguy hiểm laser.

2.40

Hệ thống laser (laser system)

Bộ phát laser kết hợp với nguồn cấp năng lượng laser tương ứng có hoặc không có các thành phần kết hợp bổ sung khác.

2.41

Lỗ mờ giới hạn (limiting aperture)

Diện tích hình tròn trên đó độ rọi và phơi nhiễm bức xạ được lấy trung bình.

2.42**Bảo dưỡng (maintenance)**

Việc thực hiện các điều chỉnh hoặc các quy trình quy định trong thông tin cho người sử dụng do nhà chế tạo cung cấp cùng với sản phẩm laser, các hoạt động này được thực hiện bởi người sử dụng nhằm mục đích đảm bảo tính năng dự kiến của sản phẩm. Bảo dưỡng không bao gồm vận hành hoặc bảo trì.

2.43**Góc tương lớn nhất (maximum angular subtense)**
 α_{\max}

Giá trị góc tương của nguồn biểu kiến mà cao hơn góc này thì các giá trị MPE không phụ thuộc vào kích thước của nguồn.

2.44**Phơi nhiễm lớn nhất cho phép (maximum permissible exposure)****MPE**

Mức bức xạ laser mà, trong các trường hợp bình thường, người có thể phơi nhiễm mà không chịu những ảnh hưởng bất lợi. Các mức MPE thể hiện mức lớn nhất mà tại đó mắt hoặc da có thể phơi nhiễm mà không bị thương ngay lập tức hoặc sau thời gian dài và các mức này liên quan đến bước sóng của bức xạ laser, thời gian xung hoặc thời gian phơi nhiễm, mô có nguy cơ rủi ro và, đối với bức xạ laser nhìn thấy được và gần hồng ngoại trong dải từ 400 nm đến 1 400 nm, kích thước của hình ảnh võng mạc.

CHÚ THÍCH 1: Các giá trị mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép cho trong tiêu chuẩn này chỉ là các giá trị được khuyến cáo bởi Ủy ban quốc tế về bảo vệ bức xạ không ion hóa (ICNIRP) và dựa trên tình trạng hiểu biết hiện tại của các mức ngưỡng gây thương tích do laser.

CHÚ THÍCH 2: Phụ lục B đưa ra các ví dụ về tính toán các mức MPE.

2.45**Góc tương nhỏ nhất (minimum angular subtense)**
 α_{\min}

Giá trị góc tương của nguồn biểu kiến mà lớn hơn góc này thì nguồn được coi là nguồn kéo dài.

CHÚ THÍCH 1: MPE không phụ thuộc vào kích thước nguồn đối với các góc tương nhỏ hơn α_{\min} .

2.46**Vùng nguy hiểm danh nghĩa cho mắt (nominal ocular hazard area)****NOHA**

Vùng trong đó độ rọi của chùm tia hoặc phơi nhiễm bức xạ vượt quá phơi nhiễm lớn nhất cho phép (MPE) đối với giác mạc tương ứng, kể cả khả năng lệch hướng ngẫu nhiên của chùm tia laser.

CHÚ THÍCH: Nếu NOHA bao gồm cả khả năng quan sát thông qua hỗ trợ quang học thì thuật ngữ này được gọi là "NOHA kéo dài".

TCVN 12670-14:2020

2.47

Khoảng cách nguy hiểm danh nghĩa cho mắt (nominal ocular hazard distance)

NOHD

Khoảng cách tại đó độ rọi chùm tia hoặc phơi nhiễm bức xạ vượt quá phơi nhiễm lớn nhất cho phép (MPE) đối với giác mạc tương ứng.

CHÚ THÍCH: Nếu NOHD bao gồm cả khả năng quan sát thông qua hỗ trợ quang học thì thuật ngữ này được gọi là "NOHD kéo dài".

2.48

Vận hành (operation)

Sản phẩm laser vận hành trên toàn bộ phạm vi các chức năng dự kiến của nó. Vận hành không bao gồm bảo dưỡng hoặc bảo trì.

2.49

Mật độ quang (optical density)

OD

Loga cơ số 10 của nghịch đảo hệ số truyền τ .

Ký hiệu : D $D = -\log_{10}\tau$

2.50

Giới hạn nguy hiểm quang hóa (photochemical hazard limit)

MPE được dẫn ra để bảo vệ con người khỏi các ảnh hưởng bất lợi về quang hóa.

CHÚ THÍCH Ví dụ về các ảnh hưởng bất lợi này là viêm võng mạc, một thương tích quang hóa cho mắt do phơi nhiễm với bức xạ trong dải bước sóng từ 400 nm đến 600 nm.

2.51

Vỏ bảo vệ (protective enclosure)

Phương tiện vật lý nhằm ngăn ngừa phơi nhiễm của con người với bức xạ laser trừ khi tiếp cận này là cần thiết cho các chức năng dự kiến của hệ thống lắp đặt.

2.52

Vỏ bảo vệ (protective housing)

Các phần của sản phẩm laser (kể cả sản phẩm kết hợp bộ phát laser lắp trong) được thiết kế để ngăn sự tiếp cận của con người đến bức xạ laser vượt quá mức yêu cầu của phân loại sản phẩm laser quy định (nhìn chung được lắp đặt bởi nhà chế tạo).

2.53

Thời gian xung (pulse duration)

Khoảng thời gian được đo giữa các điểm công suất nửa đỉnh trên sườn trước và sườn sau của xung.

2.54**Bộ phát laser dạng xung (pulsed laser)**

Bộ phát laser phát năng lượng của nó dưới dạng xung đơn hoặc chuỗi các xung. Trong tiêu chuẩn này, thời gian xung nhỏ hơn 0,25 s.

2.55**Lượng bức xạ (radiance)****L**

Đại lượng được tính theo công thức

$$L = \frac{d\Phi}{dA \cdot \cos\theta \cdot d\Omega}$$

trong đó

$d\Phi$ là thông lượng bức xạ phát ra bởi chùm tia sơ cấp đi qua điểm cho trước và lan truyền trong góc khối $d\Omega$ chứa hướng cho trước;

dA diện tích phần của chùm tia chứa điểm cho trước;

θ góc giữa đường vuông góc với phần của chùm tia và hướng của chùm tia đó.

CHÚ THÍCH 1: Đơn vị SI: oát trên mét vuông trên radian góc khối ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$)

CHÚ THÍCH 2: Định nghĩa này được đơn giản hóa so với định nghĩa IEV 845-01-34, đủ cho mục đích của tiêu chuẩn này. Trong trường hợp có nghi ngờ, cần tuân thủ định nghĩa IEV trên.

2.56**Năng lượng bức xạ (radiant energy)****Q**

Tích phân theo thời gian của thông lượng bức xạ Φ trong khoảng thời gian cho trước Δt .

$$Q = \int_{\Delta t} \Phi \cdot dt$$

CHÚ THÍCH: Đơn vị SI: jun (J)

(IEV 845-01-27)

2.57**Phơi nhiễm bức xạ (radiant exposure)****H**

Tại một điểm trên mặt phẳng, năng lượng bức xạ tới một phần tử của mặt phẳng chia cho diện tích phần tử đó.

$$H = \frac{dQ}{dA} = \int E \cdot dt$$

CHÚ THÍCH: Đơn vị SI: jun trên mét vuông ($\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$)

TCVN 12670-14:2020

2.58

Công suất bức xạ/thông lượng bức xạ (radiant power / radiant flux)

Φ, P

Công suất phát ra, truyền tải hoặc nhận được dưới dạng bức xạ

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

CHÚ THÍCH: Đơn vị SI: oát (W)

2.59

Hệ số phản xạ (reflectance)

ρ

Tỷ số giữa công suất bức xạ phản xạ và công suất bức xạ tới trong các điều kiện cho trước.

CHÚ THÍCH: Đơn vị SI: 1.

2.60

Bộ nối khóa liên động từ xa (remote interlock connector)

Bộ nối cho phép đấu nối các cơ cấu điều khiển bên ngoài đặt xa các phần khác của sản phẩm laser.

2.61

Khóa liên động an toàn (safety interlock)

Cơ cấu tự động kết hợp với vỏ bảo vệ của sản phẩm laser để ngăn ngừa tiếp cận của người đến bức xạ laser Cấp 3 hoặc Cấp 4 khi tháo vách ngăn của vỏ bảo vệ.

2.62

Bảo trì (service)

Việc thực hiện các quy trình hoặc điều chỉnh được mô tả trong hướng dẫn bảo trì của nhà chế tạo mà có thể ảnh hưởng đến khía cạnh bất kỳ trong tính năng của sản phẩm. Bảo trì không bao gồm bảo dưỡng và vận hành.

2.63

Điều kiện sự cố đơn (single fault condition)

Sự cố đơn bất kỳ có thể xảy ra trong sản phẩm và các hậu quả trực tiếp của sự cố đó.

2.64

Nguồn nhỏ (small source)

Nguồn có góc tương α nhỏ hơn hoặc bằng góc tương nhỏ nhất α_{min} .

2.65

Phản xạ gương (specular reflection)

Phản xạ từ bề mặt duy trì mối tương quan về góc giữa các chùm tia tới và tia phản xạ của bức xạ, như với các phản xạ từ gương.

2.66

Giới hạn nguy hiểm về nhiệt (thermal hazard limit)

MPE được tính toán để bảo vệ người khỏi các ảnh hưởng bất lợi về nhiệt, khác với thương tích về quang hóa.

2.67

Gốc thời gian (time base)

Thời gian phát xạ cần xem xét để phân loại các sản phẩm laser.

2.68

Dụng cụ (tool)

Tước nơ vít, đồng xu hoặc đồ vật khác có thể sử dụng để thao tác vít hoặc phương tiện cố định tương tự.

2.69

Hệ số truyền (transmittance)

τ

Tỷ số giữa thông lượng bức xạ truyền đi và thông lượng bức xạ tới trong các điều kiện cho trước.

CHÚ THÍCH: Đơn vị SI: tỷ số không có thứ nguyên.

2.70

Bức xạ nhìn thấy được (visible radiation)

Ánh sáng (light)

Bức xạ quang bất kỳ có khả năng gây ra cảm nhận của mắt một cách trực tiếp.

CHÚ THÍCH: Trong tiêu chuẩn này, bức xạ nhìn thấy là bức xạ điện từ có các bước sóng của các thành phần một màu nằm trong dải từ 400 nm đến 700 nm.

3 Các quy định về hành chính**3.1 Trách nhiệm về an toàn**

Trách nhiệm về an toàn có thể được quy định trong các quy định kỹ thuật của quốc gia. Các trách nhiệm cụ thể này cần được tuân thủ. Tuy nhiên, khi không có các quy định pháp lý hoặc quy định kỹ thuật bất kỳ thì dưới đây là một số những hướng dẫn chung về trách nhiệm liên quan đến sử dụng an toàn bộ phát laser.

Người sử dụng lao động và người lao động, và tất cả người sử dụng bộ phát laser (kể cả sinh viên) và những người giám sát hoặc trông nom họ có vai trò duy trì nơi làm việc an toàn và đảm bảo các hành động của họ không gây ra các mức rủi ro không chấp nhận được cho bản thân họ và những người xung quanh.

TCVN 12670-14:2020

Trong nơi làm việc bất kỳ có sử dụng bộ phát laser, trách nhiệm của người sử dụng lao động phải đảm bảo rằng các rủi ro đến sức khỏe do việc sử dụng và những sử dụng sai có thể dự đoán được một cách hợp lý của các thiết bị laser đều được đánh giá đúng. Người sử dụng lao động phải thực hiện tất cả các bước cần thiết để đảm bảo các rủi ro này bị triệt tiêu hoặc, khi không thể, được giảm xuống mức thấp chấp nhận được.

Bất cứ khi nào sử dụng các bộ phát laser có nguy hiểm tiềm ẩn, người sử dụng lao động (hoặc người khác bất kỳ có trách nhiệm tổng thể) cần thiết lập chính sách chung cho việc quản lý an toàn các nguy hiểm này, mặc dù các tác vụ an toàn cụ thể có thể được ủy quyền cho người khác. Chính sách này, cần là một phần tích hợp của chính sách an toàn tổng thể của tổ chức, cần yêu cầu rằng tất cả các nguy hiểm dự đoán được một cách hợp lý phát sinh do sử dụng bộ phát laser đều được nhận biết và rằng cần thực hiện các bước để kiểm soát chúng trong chừng mực có thể. Các phát hiện quan trọng của đánh giá này cần được lập thành tài liệu và các biện pháp bảo vệ thích hợp được thực hiện khi cần để giảm các rủi ro đến sức khỏe và an toàn đã được nhận biết. Hiệu quả của các biện pháp bảo vệ này cần được xem xét thường xuyên. Các yêu cầu để thiết lập chính sách an toàn cụ thể đối với bộ phát laser thường không cần thiết khi chỉ sử dụng sản phẩm laser Cấp 1 hoặc Cấp 2, và có thể không cần đối với các sản phẩm laser Cấp 1M hoặc Cấp 2M, nhưng xem thêm Bảng 1 liên quan đến các biện pháp điều khiển bảo vệ, 4.1.3 liên quan đến các bộ phát laser lắp trong và 4.2.2 liên quan đến các hiệu ứng nhìn tạm thời.

3.2 Người có năng lực

Trong trường hợp khi không có sự hỗ trợ, người sử dụng lao động hoặc người sử dụng sản phẩm không thể xác định đúng các bố trí an toàn và các biện pháp bảo vệ cần thiết để loại bỏ hoặc giảm thiểu rủi ro đến sức khỏe phát sinh từ người sử dụng thiết bị, thì cần tìm kiếm lời khuyên từ những người có năng lực. Người có năng lực cần có đủ kỹ năng, hiểu biết và kinh nghiệm về vấn đề liên quan đến an toàn laser, và cần cung cấp hỗ trợ thích hợp cho người sử dụng lao động (hoặc cho người đại diện được ủy quyền của người sử dụng lao động hoặc người sử dụng bộ phát laser) về việc xác định nguy hiểm, đánh giá rủi ro, kiểm soát bảo vệ và các quy trình.

Người có năng lực không nhất thiết là người lao động của tổ chức đang xét, mà có thể thay bằng chuyên gia bên ngoài. Lời khuyên và sự hỗ trợ của người có năng lực thường chỉ cần thiết tạm thời, ví dụ khi lần đầu thiết lập các biện pháp kiểm soát bảo vệ hoặc khi đánh giá rủi ro trước những thay đổi quan trọng đến quy trình hoặc thiết bị.

3.3 Nhân viên an toàn laser

Nhân viên an toàn laser cần được chỉ định trong các tổ chức nơi sử dụng các sản phẩm laser Cấp 3B hoặc Cấp 4. Việc chỉ định nhân viên an toàn laser cũng được khuyến cáo ở những nơi sử dụng các sản phẩm laser Cấp 1M và Cấp 2M phát ra các chùm tia laser chuẩn trực, và có thể có nguy hiểm nếu quan sát thông qua ống nhòm hoặc kính viễn vọng ở khoảng cách đáng kể đến bộ phát laser. (Điều này có thể bao gồm lắp đặt và bảo trì các bộ phát laser lắp trong khi việc tiếp cận có thể đạt đến các mức bức xạ laser cao hơn so với mức của cấp sản phẩm (xem 4.1.3), hoặc khi sử dụng các bộ phát laser có cấp

thấp hơn 3B hoặc 4 vẫn có thể tạo ra rủi ro đáng kể, có thể do việc tham gia của những người chưa được huấn luyện hoặc do có các nguy hiểm laser kết hợp – xem Điều 6).

Nhân viên an toàn laser cần có trách nhiệm, thay mặt cho người sử dụng lao động, về mặt hành chính của các vấn đề an toàn laser xảy ra hàng ngày. Trách nhiệm của người sử dụng lao động là đảm bảo rằng người được chỉ định là nhân viên an toàn laser có đủ năng lực và khả năng thực hiện vai trò này một cách thỏa đáng. Cần có các huấn luyện thích hợp nếu cần.

Các nhiệm vụ của nhân viên an toàn laser cần được thỏa thuận với người sử dụng lao động (hoặc với người đại diện được ủy quyền của người sử dụng lao động) và được ghi thành văn bản. Các nhiệm vụ này là những nhiệm vụ cần thiết để đảm bảo sử dụng an toàn liên tục các bộ phát laser trong phạm vi tổ chức đó, nhưng thông thường bao gồm tối thiểu các việc sau:

- a) nhận biết và, nếu có thể thì duy trì các bản ghi của, tất cả các sản phẩm laser có nguy hiểm tiềm ẩn (kể cả nhận biết, quy định kỹ thuật, cấp và mục đích của sản phẩm laser; vị trí của sản phẩm laser; và yêu cầu đặc biệt bất kỳ hoặc những hạn chế liên quan đến việc sử dụng);
- b) trách nhiệm theo dõi sự phù hợp với các quy trình của tổ chức để đảm bảo sử dụng an toàn bộ phát laser, duy trì các bản ghi một cách thích hợp, và thực hiện các hành động tức thì và thích hợp liên quan đến sự không phù hợp bất kỳ hoặc sự không tương thích trong các quy trình này.

Trong trường hợp nhân viên an toàn có thể trao quyền hay chỉ đơn giản là khuyến cáo cho người có ủy quyền, việc kết thúc các thông lệ không an toàn và thực hiện các hành động khắc phục cần được thỏa thuận và quy định trong các nhiệm vụ được ghi thành văn bản.

Vai trò của nhân viên an toàn laser ít khi đòi hỏi phải chỉ định toàn thời gian. Trường hợp người có năng lực (xem 3.2) được chỉ định và người đó là người lao động của tổ chức liên quan (thường xảy ra với các tổ chức có sử dụng bộ phát laser phạm vi rộng và biến đổi) thì người có năng lực cũng là sẽ nhân viên an toàn laser.

Trong các tổ chức lớn, khi sử dụng bộ phát laser có phạm vi rộng, những người lao động thích hợp có thể được chỉ định để đóng vai trò là đại diện về an toàn cho bộ phát laser tại khu vực hành chính hoặc khu vực nội bộ để hỗ trợ nhân viên an toàn laser và thay mặt cho người sử dụng lao động, đảm bảo việc sử dụng an toàn bộ phát laser trong toàn bộ tổ chức đó. (Có thể sử dụng thuật ngữ Nhân viên an toàn laser và Nhân viên an toàn laser cao cấp). Trong các trường hợp như vậy, cần duy trì quan hệ thường xuyên giữa những người này nhằm đảm bảo việc quản lý tổng thể nhất quán và hiệu quả của chương trình an toàn laser.

3.4 Thông tin và huấn luyện

Tất cả người lao động, khi thích hợp, cần nhận biết được các nguy hiểm bất kỳ (kể cả các nguy hiểm kết hợp; xem Điều 6) mà họ có thể bị phơi nhiễm trong khi sử dụng thiết bị laser và các quy trình cần thiết để đảm bảo sự bảo vệ. Cần hiển thị các cảnh báo thích hợp. Các cảnh báo này cần gồm ký hiệu nguy hiểm laser cho trên Hình 1 với nội dung thích hợp. Cần cung cấp hướng dẫn đủ hoặc huấn luyện để đảm

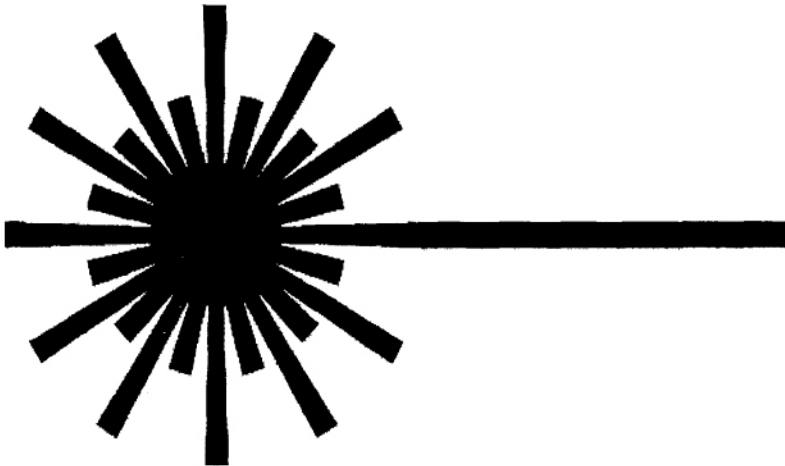
TCVN 12670-14:2020

bảo rằng người lao động có hiểu biết cần thiết nhằm tránh đặt bản thân họ và những người khác vào rủi ro không chấp nhận được. Huấn luyện về an toàn đặc biệt quan trọng cho những người làm việc với các sản phẩm laser Cấp 3B hoặc Cấp 4.

Hướng dẫn và huấn luyện này cần tương xứng với loại nguy hiểm và thích hợp cho người lao động liên quan. Nó bao gồm nhưng không giới hạn ở:

- a) chính sách của tổ chức đối với sử dụng an toàn bộ phát laser;
- b) các rủi ro có hại có thể xuất phát từ việc sử dụng và sử dụng sai dự đoán được của thiết bị laser;
- c) ý nghĩa của các ký hiệu cảnh báo được hiển thị;
- d) sử dụng và vận hành đúng thiết bị laser và thiết bị kết hợp kể cả thiết bị bảo vệ con người (nếu thuộc đối tượng áp dụng – xem 8.4.5);
- e) quy trình làm việc và luật pháp địa phương;
- f) quy trình cần tuân thủ khi có tai nạn thực tế hoặc hoài nghi hoặc các sự việc liên quan đến an toàn khác.

Hướng dẫn và huấn luyện cần hoàn chỉnh trước vận hành hoặc làm việc với các sản phẩm laser và được lặp lại thường xuyên khi cần nhằm đảm bảo sự phù hợp liên tục với các quy trình an toàn. Cần giữ các hồ sơ về huấn luyện.



Hình 1 – Ký hiệu nguy hiểm laser

4 Nguy hiểm bức xạ laser

4.1 Sản phẩm laser

4.1.1 Phân loại sản phẩm laser

Cấp sản phẩm laser cung cấp chỉ thị cho người sử dụng về khả năng gây thương tích của bức xạ laser. Tất cả thiết bị laser, được sản xuất thương mại hay không, cần được phân loại theo quy định của TCVN 12670-1 (IEC 60825-1), và được ghi nhãn thích hợp để thông tin đến người sử dụng về cấp được ấn định. Phân loại các sản phẩm laser thường được thực hiện bởi nhà chế tạo sản phẩm laser nhưng khi không thực hiện được điều này (ví dụ các thành phần của bộ phát laser, hệ thống thực nghiệm hoặc hệ thống nguyên mẫu) thì người sử dụng cần đảm bảo rằng cấp hiệu quả của bộ phát laser được xác định dựa trên mức phát xạ tiếp cận được theo TCVN 12670-1 (IEC 60825-1).

Nếu người sử dụng kết hợp bộ phát laser vào thiết bị khác thì bản thân thiết bị hoàn chỉnh cần được coi là sản phẩm laser và được phân loại tương ứng (xem 4.1.3). Ngoài ra, cần nhận thấy rằng một số hoặc tất cả các đặc trưng về an toàn ban đầu của sản phẩm laser kết hợp, kể cả ghi nhãn, và các đặc trưng được thiết kế để đáp ứng các yêu cầu chế tạo quy định trong TCVN 12670-1 (IEC 60825-1), có thể không còn hiệu lực, không sử dụng được hoặc không tiếp cận được vì cách mà bộ phát laser được tích hợp vào thiết bị. Trong trường hợp cần thiết để đảm bảo hoạt động an toàn, các đặc trưng an toàn này cần được sao chép lại hoặc thay thế.

4.1.2 Cấp sản phẩm

Cấp của bộ phát laser cung cấp thông tin về nguy hiểm tiềm ẩn. Phân loại sản phẩm laser dựa trên mức bức xạ laser lớn nhất tiếp cận được trong các điều kiện làm việc bình thường. Các nguy hiểm kết hợp (xem Điều 6) có thể có trong quá trình sử dụng laser không ảnh hưởng đến phân loại sản phẩm laser.

Các cấp của sản phẩm laser được nêu tổng quan như dưới đây, cùng với bản mô tả tóm tắt các yêu cầu bảo vệ mà thường cần được thỏa mãn đối với từng cấp sản phẩm. Ngoại trừ đối với Cấp 2 và Cấp 2M, bức xạ phát ra có thể là nhìn thấy hoặc không nhìn thấy. (Để có thông tin chi tiết về phân loại, xem TCVN 12670-1 (IEC 60825-1)).

a) Cấp 1

Các sản phẩm laser thường an toàn trong các điều kiện sử dụng dự đoán trước một cách hợp lý, vì bản thân phát xạ thấp vốn có của bộ phát laser và vì chúng được bọc hoàn toàn và người không thể tiếp cận đến bức xạ laser bên trong trong hoạt động bình thường.

Các yêu cầu bảo vệ đối với Cấp 1: Đảm bảo rằng các điều kiện đối với hoạt động Cấp 1 được duy trì (xem 4.1.3). Nếu việc tiếp cận đến các mức bức xạ laser vượt quá các giới hạn đối với Cấp 1 là có thể xảy ra, ví dụ trong bảo trì sản phẩm laser lắp trong, hoặc trong trường hợp bộ phát laser dạng chùm tia mở rộng bằng cách sử dụng thiết bị quang bên ngoài để giảm thiểu kích thước hoặc độ phân kỳ của chùm tia phát ra thì áp dụng các yêu cầu bảo vệ của cấp cao hơn thích hợp.

b) Cấp 1M

Các sản phẩm laser vượt quá giới hạn phát xạ chấp nhận được đối với Cấp 1 nhưng, do sự lan truyền bức xạ phát ra, không thể gây các mức phơi nhiễm có hại cho mắt không có hỗ trợ. Tuy nhiên, giới hạn an toàn của phơi nhiễm mắt có thể bị vượt quá, và thương tích có thể xảy ra, nếu sử dụng thiết bị quan

TCVN 12670-14:2020

sát phóng đại. Các thiết bị này bao gồm ống nhòm và kính thiên văn trong trường hợp các chùm tia chuẩn trực đường kính lớn, hoặc các thấu kính phóng đại và kính hiển vi trong trường hợp các chùm tia phân kỳ lớn. Phơi nhiễm nguy hiểm cũng có thể xảy ra nếu các kích thước của chùm tia laser (đường kính hoặc độ phân kỳ) được giảm xuống bằng cách sử dụng các thành phần quang trong tuyến chùm tia.

Các yêu cầu bảo vệ đối với Cấp 1M: Tránh sử dụng các hỗ trợ hoặc các thiết bị quan sát có phóng đại (ví dụ ống nhòm, kính viễn vọng, kính hiển vi và thấu kính phóng đại, nhưng không phải kính mắt hoặc kính áp tròng). Tránh đặt thiết bị quang trong chùm tia phát xạ mà có thể làm tăng sự tập trung của bức xạ laser. Không hướng trực tiếp chùm tia vào vùng có thể có người khác qua lại nếu có nhiều khả năng người trong vùng đó sử dụng kính viễn vọng hoặc ống nhòm để nhìn trực tiếp vào chùm tia.

c) Cấp 2

Các sản phẩm laser phát mức bức xạ nhìn thấy thấp (tức là ở các bước sóng giữa 400 nm và 700 nm) là an toàn đối với da nhưng không an toàn đối với mắt, mà đối với bức xạ này, bảo vệ mắt thường được thực hiện bằng sự phản ứng khó chịu tự nhiên với ánh sáng chói. Do đó phơi nhiễm mắt ngẫu nhiên thường là an toàn, mặc dù phản ứng khó chịu tự nhiên có thể vượt qua một cách chủ ý bằng cách nhìn trực diện vào chùm tia và có thể bị ảnh hưởng bởi việc uống rượu hoặc thuốc.

Các yêu cầu bảo vệ đối với Cấp 2M: Tránh sử dụng các hỗ trợ hoặc thiết bị quan sát có phóng đại (ví dụ ống nhòm, kính viễn vọng, kính hiển vi và thấu kính phóng đại, nhưng không phải kính mắt hoặc kính áp tròng). Tránh đặt thiết bị quang trong chùm tia phát xạ mà có thể làm tăng sự tập trung của bức xạ laser. Tránh nhìn trực diện vào chùm tia (tức là quan sát nguồn laser một cách có chủ ý) hoặc chiếu chùm tia vào người khác.

e) Cấp 3R

Các sản phẩm laser có mức phát xạ tiếp cận được đến năm lần đối với Cấp 1 (nếu không nhìn thấy) hoặc Cấp 2 (nếu nhìn thấy). Phơi nhiễm lớn nhất cho phép có thể bị vượt quá nhưng rủi ro bị thương thấp.

Các yêu cầu bảo vệ đối với Cấp 3R: Tránh phơi nhiễm mắt trực tiếp với chùm tia hoặc chiếu chùm tia vào người khác.

f) Cấp 3B

Các sản phẩm laser có mức phát xạ tiếp cận được mà có thể có hại cho mắt bất kể có sử dụng thiết bị hỗ trợ quan sát phóng đại hay không. Các sản phẩm laser Cấp 3B cũng có thể có hại cho da ở các mức đầu ra tiếp cận đến giới hạn trên của cấp này.

Các yêu cầu bảo vệ đối với Cấp 3B: Tránh phơi nhiễm mắt (và da trong một số trường hợp) với chùm tia. Bảo vệ chống các phản xạ chùm tia không chủ ý.

g) Cấp 4

Các sản phẩm laser có mức phát xạ tiếp cận được, mà có thể có hại cho cả mắt và da. Các phản xạ khuếch tán của bức xạ laser cũng có thể nguy hiểm. Phát xạ laser cũng có thể đủ để mồi cháy vật liệu mà laser chiếu tới và phát bức xạ có hại hoặc nguy hiểm khói do tương tác với vật liệu.

Các yêu cầu bảo vệ đối với Cấp 4: Tránh phơi nhiễm mắt và da với chùm tia, và các phản xạ khuếch tán (tán xạ) của chùm tia. Bảo vệ chống các nguy hiểm do tương tác với chùm tia như cháy và khói.

Các sản phẩm laser Cấp 2, 2M, 3R và 4 được cung cấp theo TCVN 12670-1 (IEC 60825-1) sẽ mang các nhãn cảnh báo chỉ thị cấp và các biện pháp phòng ngừa cơ bản cần tuân thủ. Các sản phẩm laser Cấp 1 và 1M cũng có thể mang nhãn, nhưng có tham vấn với nhà chế tạo, về các nội dung cần thiết có thể thay trong thông tin cho người sử dụng.

Khuyến cáo rằng các bộ phát laser chưa mang nhãn (kể cả các bộ phát laser thành phần hoặc hệ thống mà người sử dụng có thể sửa đổi) được sử dụng đều đặn thì phải được gắn nhãn thích hợp theo yêu cầu ghi nhãn trong TCVN 12670-1 (IEC 60825-1).

Trong nhiều ứng dụng khi sản phẩm laser được sử dụng không cao hơn Cấp 3R (tức là chúng là Cấp 1, Cấp 1M, Cấp 2, Cấp 2M hoặc Cấp 3R) thì người sử dụng có thể sử dụng các biện pháp kiểm soát dựa trên cấp cao nhất của sản phẩm laser trong sử dụng mà không cần tiến hành đánh giá rủi ro chi tiết hoặc đánh giá các mức phơi nhiễm có thể có của người. Các biện pháp kiểm soát mặc định này được tổng hợp trong Bảng 1 là hàm của cấp sản phẩm laser.

Tuy nhiên, thường có thể cần thiết tiến hành các phân tích chi tiết hơn để xác định các biện pháp bảo vệ thích hợp. Các trường hợp này gồm:

- tất cả việc sử dụng sản phẩm laser Cấp 3B hoặc Cấp 4,
- sử dụng biện pháp bảo vệ mắt,
- việc bảo vệ dựa vào khái niệm khoảng cách an toàn tối thiểu từ bộ phát laser, và
- các tình huống khác trong đó các biện pháp kiểm soát quy định trong Bảng 1 có thể không thích hợp, không đủ hoặc có độ khắc nghiệt không thỏa đáng cho trong cấp rủi ro thực.

CHÚ THÍCH: Nhiều sản phẩm laser cũ hơn sẽ được phân loại theo chiến lược phân loại Cấp 1, Cấp 2, Cấp 3A, Cấp 3B và Cấp 4 trước kia thì cho phép sử dụng TCVN 12670-1 (IEC 60825-1) để xác định cấp sản phẩm trong hệ thống phân loại hiện hành. Tuy nhiên, phần lớn các sản phẩm laser Cấp 1, Cấp 2 và Cấp 4 sẽ không bị ảnh hưởng.

Bảng 1 – Biện pháp bảo vệ kiểm soát mặc định đối với sản phẩm laser

CẤP	BIỆN PHÁP KIỂM SOÁT BẢO VỆ Các biện pháp này cần được thực hiện trừ khi đánh giá rủi ro khẳng định đã thực hiện các biện pháp kiểm soát bảo vệ thay thế
1	Không cần biện pháp bảo vệ trong các điều kiện vận hành bình thường. (Điều này không áp dụng trong các điều kiện bảo dưỡng hoặc bảo trì) Trường hợp các sản phẩm laser lắp trong chứa bộ phát laser công suất cao hơn, tuân thủ các hướng dẫn cho trên nhãn cảnh báo và do nhà chế tạo cung cấp. Có thể cần các biện pháp phòng ngừa đặc biệt đối với bảo trì tại chỗ các sản phẩm laser lắp trong
1M	Tránh quan sát trực tiếp nguồn laser thông qua các thiết bị quan sát khuếch đại ví dụ như ống nhòm, kính viễn vọng, kính hiển vi, ống ngắm quang hoặc thấu kính khuếch đại, trừ khi chúng có đủ mức bảo vệ ^a .
2	Không nhìn trực diện vào chùm tia. Không hướng chùm tia vào người khác hoặc vào các khu vực có nhiều khả năng có người khác không liên quan đến công việc với laser.
2M	Không nhìn trực diện vào chùm tia. Không hướng chùm tia vào người khác hoặc vào các khu vực có nhiều khả năng có người khác không liên quan đến công việc với laser. Đảm bảo chùm tia luôn được kết thúc tại bề mặt không có phản xạ gương thích hợp (tức là các bề mặt không giống như gương). Tránh quan sát trực tiếp nguồn laser thông qua các thiết bị quan sát khuếch đại ví dụ ống nhòm, kính viễn vọng, kính hiển vi, ống ngắm quang hoặc thấu kính khuếch đại, trừ khi chúng có đủ mức bảo vệ ^a . Tránh sử dụng thiết bị quang bên ngoài bất kỳ có thể làm giảm độ phân kỳ của chùm tia hoặc giảm đường kính của chúng.
3R	Không nhìn trực diện vào chùm tia. Không hướng chùm tia vào người khác hoặc vào các khu vực có nhiều khả năng có người khác không liên quan đến công việc với laser.
3B và 4	Các sản phẩm laser Cấp 3B và Cấp 4 không nên sử dụng mà không thực hiện đánh giá rủi ro trước để xác định các biện pháp kiểm soát bảo vệ cần thiết để đảm bảo an toàn. Trường hợp có thể, sử dụng phương tiện kỹ thuật, như quy định trong TCVN 12670-1 (IEC 60825-1), để giảm cấp của bộ phát laser xuống thấp hơn Cấp 3B. (Điều này thường có nghĩa là bao kín toàn bộ bức xạ laser để tạo ra sản phẩm laser Cấp 1.)
^a Loại thiết bị quan sát có thể nguy hiểm có thể được chỉ thị trên nhãn cảnh báo hoặc trong thông tin cho người sử dụng do nhà chế tạo cung cấp.	

4.1.3 Bộ phát laser lắp trong

Vì các sản phẩm laser được phân loại dựa trên mức bức xạ laser tiếp cận được trong hoạt động bình thường, sản phẩm laser của một cấp có thể chứa bộ phát laser lắp trong (tức là được bao kín) của cấp cao hơn. Điều này thường gặp nhất trong trường hợp sản phẩm được ấn định Cấp 1 nhưng có lắp bộ phát laser lắp trong được bao kín hoàn toàn theo cách đáp ứng các yêu cầu chế tạo của TCVN 12670-1 (IEC 60825-1). Lỗ hở, việc tháo hoặc thay phần bất kỳ của vỏ ngoài mà không được thiết kế để mở ra, tháo hoặc thay trong hoạt động bình thường có thể làm tiếp cận với các mức bức xạ laser có hại. Các quy trình để bảo trì các bộ phát laser lắp trong được cho trong 8.5.

Ví dụ về các sản phẩm laser Cấp 1 có lắp bộ phát laser lắp trong nhưng không phát xạ laser tiếp cận được trong hoạt động bình thường bao gồm đầu đĩa compact (CD), máy in laser và máy phát laser công nghiệp được bao kín hoàn toàn. Ví dụ về các sản phẩm laser lắp trong có phát xạ laser tiếp cận được bao gồm các bộ phát laser quét nhất định (ví dụ bộ đọc mã vạch) ở đó chùm tia di chuyển nhanh có thể đặt sản phẩm vào cấp thấp hơn so với khi chùm tia đứng im, và bộ phát laser sử dụng các hệ thống quang khác nhau sẽ mở rộng hoặc phân tán chùm tia phát ra, do đó làm nó ít nguy hiểm hơn.

TCVN 12670-1 (IEC 60825-1) đòi hỏi rằng, trong hoạt động đối với chức năng dự kiến, cấp được ấn định cho sản phẩm laser cần được áp dụng trong mức phát xạ tiếp cận được cao nhất và trong các điều kiện sự cố đơn dự đoán được một cách hợp lý. Một số sản phẩm, trong phạm vi cấp bất kỳ không phải Cấp 4, có thể có lắp bộ phát laser có phát xạ tiếp cận được được giới hạn trong phạm vi cấp đó bằng thiết kế mạch điều khiển điện tử hoặc bằng phương tiện khác, thậm chí bản thân bộ phát laser có khả năng phát mức phát xạ khiến nó được đặt vào cấp cao hơn. Do đó người sử dụng các sản phẩm này cần nhận thức rằng trong điều kiện kết hợp các điều kiện sự cố hoặc khi được sử dụng theo cách khác với cách dự kiến của nhà chế tạo, các mức bức xạ laser cao hơn có thể trở nên tiếp cận được. Người sử dụng cần xem xét hướng dẫn vận hành của nhà chế tạo để tránh phơi nhiễm với bức xạ laser nguy hiểm tiềm ẩn.

4.1.4 Sợi quang

Các sợi quang mang bức xạ laser thường cung cấp vỏ bọc toàn bộ bức xạ, và vì vậy ngăn ngừa việc tiếp cận chúng. Tuy nhiên, nếu xảy ra việc ngắt hoặc đứt sợi quang thì có thể có các mức nguy hiểm phơi nhiễm laser.

Các yêu cầu về an toàn áp dụng riêng cho hệ thống truyền thông tin bằng cáp sợi quang được xác định trong IEC 60825-2. Các yêu cầu này bao gồm sự cần thiết để đánh giá mức phát xạ laser tiếp cận được tiềm ẩn từ sợi quang theo nghĩa mức nguy hiểm (ví dụ mức nguy hiểm 1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B hoặc 4) tương đương với cấp sản phẩm. Mức nguy hiểm chỉ áp dụng cho vị trí cụ thể tại đó việc ngắt sợi quang có thể xảy ra dự đoán được một cách hợp lý, hơn là hệ thống hoàn chỉnh. Do đó có khả năng các vị trí khác nhau tại đó việc tiếp cận với phát xạ sợi quang có thể xảy ra trong cùng một hệ thống có thể được ấn định các mức nguy hiểm khác nhau. Điều này là không thể đối với cấp sản phẩm mà dựa vào mức phát xạ tiếp cận được cao nhất từ sản phẩm laser hoàn chỉnh.

4.1.5 Trình diễn và hiển thị laser

Thường chỉ nên sử dụng sản phẩm laser Cấp 1, Cấp 2 hoặc Cấp 3 với chùm tia nhìn thấy cho trình diễn, hiển thị hoặc mục đích giải trí trong khu vực không được giám sát.

Việc sử dụng các cấp khác của sản phẩm laser đối với các mục đích này chỉ được phép:

- 1) sau khi tiến hành đánh giá rủi ro để xác định các biện pháp kiểm soát bảo vệ cần thiết;

TCVN 12670-14:2020

- 2) khi hoạt động của laser trong tầm kiểm soát của người vận hành có kinh nghiệm và được huấn luyện tốt, và/hoặc khi người xem được ngăn ngừa khỏi phơi nhiễm với các mức vượt quá phơi nhiễm lớn nhất cho phép có thể áp dụng (MPE).

IEC 60825-3 đưa ra hướng dẫn cụ thể đối với các hiển thị và trình diễn, mặc dù nhiều nước đã ban hành các hướng dẫn quốc gia.

4.2 Phơi nhiễm với bức xạ laser

4.2.1 Phơi nhiễm lớn nhất cho phép

Một trong những mục đích chính của chương trình an toàn laser nhằm đảm bảo phơi nhiễm bất kỳ với bức xạ laser có thể xảy ra sẽ nằm trong phạm vi các giới hạn an toàn. Do đó thường cần đánh giá mức phơi nhiễm lớn nhất có thể phát sinh trong tất cả các điều kiện dự đoán được (như được thảo luận trong 4.3), và mối quan hệ với phơi nhiễm lớn nhất cho phép (MPE, được tổng kết dưới đây và giải thích chi tiết hơn trong Điều 5).

CHÚ THÍCH: Việc cần thiết để đảm bảo rằng các mức phơi nhiễm với bức xạ laser không vượt quá MPE sẽ không áp dụng cho phơi nhiễm có chủ ý của bệnh nhân trong quá trình điều trị y tế.

Đối với bộ phát laser bất kỳ mà phát xạ bức xạ của nó có nguy hiểm tiềm ẩn (thường bộ phát laser của cấp bất kỳ không phải Cấp 1 hoặc Cấp 2), có thể cần các biện pháp bảo vệ để đảm bảo rằng các mức phơi nhiễm của người với bức xạ laser dự đoán được một cách hợp lý không thể vượt quá phơi nhiễm lớn nhất cho phép (MPE). Bất cứ khi nào có thể, điều này cần được thực hiện bằng cách bọc toàn bộ bức xạ và triệt tiêu hoàn toàn nguy hiểm ngay tại nguồn. Trong trường hợp không thể, cần xác định các biện pháp bảo vệ cần thiết trên cơ sở đánh giá rủi ro như thảo luận trong Điều 7. Tuy nhiên, cần đánh giá trước mức phơi nhiễm có thể phát sinh và các điều kiện trong đó có thể xảy ra các mức phơi nhiễm nguy hiểm.

Các giá trị MPE được cho đối với phơi nhiễm mắt và da trong Bảng 5, 6 và 7 là hàm của bước sóng phát xạ laser và thời gian phơi nhiễm. Chúng được thảo luận chi tiết hơn trong Điều 5. Ủy ban quốc tế về bảo vệ bức xạ không ion (ICNIRP) đã xây dựng các giá trị này. Chúng được đặt thấp hơn ngưỡng gây hồng đã biết và dựa trên thông tin sẵn có tốt nhất. Các giá trị MPE cần được sử dụng như hướng dẫn trong việc kiểm soát phơi nhiễm và không nên coi là ranh giới phân chia xác định chính xác giữa các mức an toàn và mức nguy hiểm. Vì phơi nhiễm với bức xạ laser thấp hơn MPE có thể vẫn không thoải mái trong một số trường hợp và có thể gây ra nguy hiểm thứ cấp (như giải thích dưới đây), phơi nhiễm cần được giữ càng thấp càng tốt trong mọi trường hợp.

4.2.2 Ảnh hưởng tạm thời đến thị lực

Phát xạ nhìn thấy từ bộ phát laser có thể gây khó chịu và các hiệu ứng lóa mắt nguy hiểm tiềm ẩn ở các mức phơi nhiễm thấp hơn nhiều mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép (xem 4.2.1) và do đó không gây ra thương tích sinh lý trực tiếp. Điều này đặc biệt đúng với bộ phát laser Cấp 2, 2M và 3R (kể cả các bút

chỉ laser và bộ phát laser sắp thẳng hàng công suất thấp). Do đó các sản phẩm này không nên hướng trực tiếp, chủ ý hoặc không chủ ý, vào mắt người. Điều này có thể làm giật mình và gây xao lãng người bị phơi nhiễm, và có thể làm cho họ mất tập trung, với hậu quả nghiêm trọng nếu người đó đang thực hiện tác vụ liên quan đến an toàn ví dụ như điều khiển máy. Nó cũng có thể tạo ra lưu ảnh, sự sợ hãi và các phản ứng như chảy nước mắt và đau đầu nếu người đó tin rằng họ có thể phải chịu thương tích là hậu quả của phơi nhiễm. Dụi mắt thường xuyên do cảm nhận thương tích cũng có thể làm mài mòn giác mạc gây đau.

4.3 Xác định mức phơi nhiễm laser

4.3.1 Phơi nhiễm hiệu quả

Có thể cần đánh giá phơi nhiễm laser để xác định biên giới của vùng nguy hiểm laser, hoặc để quy định mức bảo vệ cần thiết (ví dụ khi sử dụng kính mắt bảo vệ laser hoặc cửa sổ quan sát bảo vệ).

Mức phơi nhiễm của người do sản phẩm laser cần được xác định tại các vị trí tại đó có thể dự đoán một cách hợp lý rằng con người có thể đến vị trí đó và nơi các mức phơi nhiễm cao nhất có thể xảy ra. Đánh giá này cần tính đến tất cả các điều kiện dự đoán được một cách hợp lý của phát xạ chùm tia trực tiếp và chùm tia phản xạ.

Mức phơi nhiễm dự kiến lớn nhất này không nhất thiết giống với mức có thể có ngay bên cạnh lỗ mở phát xạ của bộ phát laser, mặc dù nó sẽ là cần thiết đối với những người ở gần bộ phát laser tạo ra chùm tia chuẩn trực.

Đối với các bộ phát laser CW (sóng liên tục), phơi nhiễm thường sẽ được thể hiện dưới dạng độ rọi tới, được quy định bằng đơn vị oát trên mét vuông. Với các bộ phát laser dạng xung, cả độ rọi trung bình (oát trên mét vuông) và phơi nhiễm bức xạ do xung đơn (và được quy định là jun trên mét vuông) thường sẽ cần biết. Để đánh giá mức phơi nhiễm, phải rất lưu ý đến lỗ mở giới hạn liên quan (xem 4.3.2) và các quy trình liên quan đến các nguồn laser lớn (kéo dài) (xem 4.3.3 và 5.4). Các xem xét này có thể có nghĩa là giá trị phơi nhiễm áp dụng được (được gọi là phơi nhiễm hiệu quả) mà phải được sử dụng để so sánh với MPE có thể không giống với phơi nhiễm xuất hiện trên thực tế.

Các tham số chính có thể cần cho việc đánh giá phơi nhiễm như sau:

- bước sóng phát xạ;
- các kích thước chùm tia tại đầu ra của bộ phát laser;
- độ phân kỳ của chùm tia và vị trí chùm tia thu hẹp;
- biên dạng chùm tia (phân bố công suất hoặc năng lượng ngang qua chùm tia);
- thời gian phơi nhiễm lớn nhất dự đoán được một cách hợp lý;
- khoảng cách phơi nhiễm lớn nhất dự đoán được một cách hợp lý;

TCVN 12670-14:2020

- góc trương của nguồn biểu kiến (điều này thường chỉ cần thiết đối với các mạng laser và để đánh giá sự khuếch tán, tức là phân xạ chùm tia không phải dạng phản xạ gương, để xác định các tham số phơi nhiễm liên quan và để tính giá trị hệ số hiệu chỉnh C_6 . Trong trường hợp các nguồn laser đơn thì C_6 thường bằng 1);
- để quét chùm tia, đặc tính quét và sơ đồ quét.

Ngoài ra đối với phát xạ sóng liên tục:

- công suất chùm tia;

và đối với phát xạ dạng xung:

- năng lượng xung;
- thời gian xung;
- tần số lặp xung;
- dạng xung và phân bố xung theo thời gian (nếu phức tạp).

Các mức phơi nhiễm có thể được xác định bằng phép đo vật lý, hoặc bằng cách tính toán dựa trên các tham số phát xạ của bộ phát laser như quy định bởi nhà chế tạo.

Các biên dạng của hầu hết các chùm tia laser là không đồng nhất, và do đó độ rọi hoặc phơi nhiễm bức xạ do phơi nhiễm với chùm tia sẽ thay đổi trên vùng phơi nhiễm (trong hầu hết các trường hợp có giá trị lớn nhất tại tâm của chùm tia). MPE liên quan đến giá trị của phơi nhiễm (độ rọi hoặc phơi nhiễm bức xạ) khi được lấy trung bình trên diện tích hình tròn xác định bởi lỗ mở giới hạn liên quan, như xác định trong 4.3.2. Do đó để so sánh với MPE, phơi nhiễm tương đương với công suất (trong trường hợp chiếu rọi) hoặc với năng lượng (trong trường hợp phơi nhiễm bức xạ) chứa trong phạm vi lỗ mở giới hạn quy định, chia cho diện tích lỗ mở giới hạn.

Trong trường hợp phơi nhiễm che phủ một vùng lớn hơn nhiều so với lỗ mở giới hạn thì có thể sử dụng giá trị lớn nhất (thường trên trục) của độ rọi hoặc phơi nhiễm bức xạ.

CHÚ THÍCH: Đối với chùm tia hình tròn có phân bố xấp xỉ Gauss, giá trị trên trục bằng tổng công suất hoặc tổng năng lượng của chùm tia chia cho diện tích chùm tia xác định trên cơ sở $1/e$ đường kính của nó. Diện tích này chứa 63 % tổng công suất hoặc năng lượng của chùm tia. $1/e$ đường kính là đường kính tại đó độ rọi của chùm tia, phơi nhiễm bức xạ hoặc cường độ bức xạ giảm xuống còn $1/e$ hoặc 0,37 lần giá trị đỉnh trên trục. Tuy nhiên trong nhiều trường hợp, đường kính của chùm tia sẽ được nhà chế tạo quy định theo giá trị $1/e^2$. Đường kính $1/e^2$ bằng đường kính $1/e$ nhân với 1,4.

Trong các trường hợp khác, có thể cần đánh giá cẩn thận hơn về tổng công suất hoặc tổng năng lượng chứa trong phạm vi lỗ mở giới hạn liên quan. Đối với các chùm tia nhỏ hơn lỗ mở giới hạn liên quan, phơi nhiễm hiệu quả (để so sánh với MPE) là tổng công suất hoặc tổng năng lượng của chùm tia chia cho diện tích lỗ mở giới hạn mà không phải chia cho diện tích thực của chùm tia.

4.3.2 Lỗ mờ giới hạn

Lỗ mờ trung bình thích hợp cần được sử dụng đối với tất cả các phép đo và các tính toán giá trị phơi nhiễm. Điều này được đề cập đến là lỗ mờ giới hạn, và được xác định là đường kính của diện tích hình tròn trên đó độ rọi hoặc phơi nhiễm bức xạ được lấy trung bình. Các giá trị đối với các lỗ mờ giới hạn được thể hiện trên Bảng 2.

Bảng 2 – Đường kính của lỗ mờ giới hạn áp dụng cho các phép đo độ rọi và phơi nhiễm bức xạ (t là thời gian phơi nhiễm)

Vùng phổ mm	Đường kính lỗ mờ đối với	
	Mắt mm	Da mm
180 đến 400	1	3,5
≥ 400 đến 1 400	7	3,5
≥ 1 400 đến 10 ⁵	1 đối với t ≤ 0,35 s	3,5
	1,5 t ^{3/8} đối với 0,35 s < t < 10 s	
	3,5 đối với t ≥ 10 s	
≥ 10 ⁵ đến 10 ⁶	11	11

Đối với các phơi nhiễm laser dạng xung lặp lại trong dải phổ từ 1 400 nm và 10⁵ nm, sử dụng lỗ mờ 1 mm để đánh giá nguy hiểm cho mắt từ xung riêng rẽ có thời gian xung không lớn hơn 0,35 s, trong khi đó lỗ mờ 3,5 mm áp dụng để đánh giá MPE áp dụng cho các phơi nhiễm lâu hơn 10 s.

CHÚ THÍCH: Các giá trị của phơi nhiễm mắt trong dải bước sóng 400 nm đến 1 400 nm được đo trên lỗ mờ đường kính 7 mm (con người). Giá trị MPE không cần điều chỉnh có tính đến các đường kính con người nhỏ hơn.

4.3.3 Góc chấp nhận để đánh giá phơi nhiễm từ các nguồn kéo dài

Phần lớn các bộ phát laser đơn lẻ là các nguồn “nhỏ” vì góc trương của nguồn biểu kiến nhỏ hơn α_{\min} (1,5 mrad). Trong trường hợp phát xạ từ các nguồn này nằm trong phạm vi vùng nguy hiểm võng mạc (tức là từ 400 nm đến 1 400 nm), nó có thể được tập trung bởi mắt để tạo thành điểm ảnh hiệu quả trên võng mạc. Điều này là không thể đối với các nguồn biểu kiến lớn hơn (thường gọi là nguồn kéo dài), mà do đó, đối với mức phơi nhiễm cho trước tại bề mặt của mắt, có thể ít nguy hiểm hơn. Các điều kiện phơi nhiễm nguồn kéo dài có thể áp dụng cho phản xạ khuếch tán, mạng laser hoặc các sản phẩm laser sử dụng bộ khuếch tán, khi chúng được quan sát ở khoảng cách đủ gần.

Khi xác định mức phơi nhiễm hiệu quả xuất phát từ nguồn laser kéo dài (tức là nguồn bất kỳ trương một góc lớn hơn 1,5 mrad tại vị trí đánh giá phơi nhiễm), cần sử dụng các góc chấp nhận dưới đây. Sự góp phần bất kỳ vào phơi nhiễm mà do phát xạ của nguồn phát sinh từ bên ngoài góc chấp nhận cần được loại ra khỏi đánh giá của phơi nhiễm hiệu quả.

Góc trương của nguồn biểu kiến được đo ở khoảng cách tại đó đánh giá phơi nhiễm, nhưng không nhỏ hơn 100 mm. (Kích thước góc của nguồn không nên nhầm lẫn với độ phân kỳ của phát xạ của nó. Lấy

TCVN 12670-14:2020

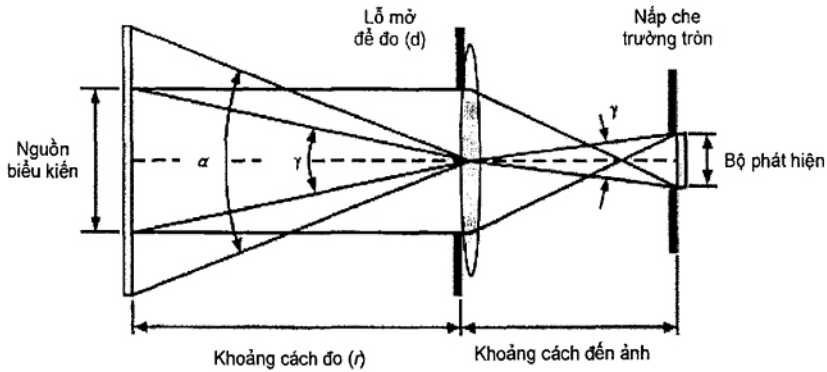
mặt trời làm ví dụ, kích thước góc của mặt trời nhìn từ trái đất chỉ là $0,5^\circ$, nhưng độ phân kỳ của phát xạ của nó là 360°).

a) Để xác định mức phơi nhiễm cần đánh giá theo MPE quang hóa trong Bảng 6 (400 nm đến 600 nm), góc chấp nhận giới hạn γ_p là

- đối với $10 \text{ s} < t \leq 100 \text{ s}$: $\gamma_p = 11 \text{ mrad}$
- đối với $100 \text{ s} < t \leq 10^4 \text{ s}$: $\gamma_p = 1,1 t^{0,5} \text{ mrad}$
- đối với $10^4 \text{ s} < t \leq 3 \times 10^4 \text{ s}$: $\gamma_p = 110 \text{ mrad}$

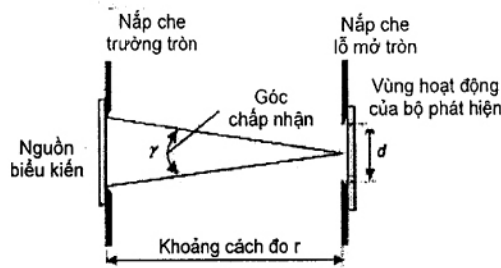
Nếu góc trương của nguồn α lớn hơn góc chấp nhận giới hạn quy định γ_p , góc chấp nhận cần không lớn hơn các giá trị quy định đối với γ_p . Nếu góc trương α của nguồn nhỏ hơn góc chấp nhận giới hạn quy định γ_p , thì góc chấp nhận cần chứa toàn bộ nguồn cần xét nhưng không nhất thiết phải xác định rõ ràng (tức là góc chấp nhận cần được giới hạn ở γ_p).

CHÚ THÍCH: Để đo các góc đơn nhỏ, trong đó $\alpha < \gamma_p$, sẽ không cần đo với góc chấp nhận cụ thể được xác định rõ ràng. Để có được góc chấp nhận xác định rõ ràng, góc chấp nhận có thể được xác định bằng cách tạo ảnh của nguồn lên mặt chặn trường hoặc bằng cách che nguồn – xem Hình 2.



CHÚ THÍCH: Hình trên là ví dụ về bố trí đo cung cấp góc chấp nhận được xác định rõ ràng bằng cách sử dụng thấu kính để tạo ảnh của nguồn biểu kiến trên bộ phát hiện. Bố trí này có thể được sử dụng khi nguồn biểu kiến không tiếp cận được trực tiếp.

Hình 2a – Bố trí đo sử dụng thấu kính



CHÚ THÍCH: Bố trí đo sử dụng lỗ mở đặt tại nguồn biều kiến để xác định góc chấp nhận của bộ phát hiện.

Hình 2b – Bố trí đo trực tiếp

Hình 2 – Bố trí đo

b) Để xác định mức phơi nhiễm cần đánh giá theo tất cả các MPE cho trong Bảng 6 khác với giới hạn nguy hiểm quang hóa lên võng mạc, góc chấp nhận cần chứa hoàn toàn nguồn cần xét (tức là góc chấp nhận phải tối thiểu lớn bằng góc trương của nguồn α). Tuy nhiên, nếu $\alpha > \alpha_{\max}$ trong dải bước sóng từ 302,5 nm đến 4 000 nm thì góc chấp nhận giới hạn không cần lớn hơn α_{\max} (0,1 rad) đối với các giới hạn nguy hiểm về nhiệt. Trong phạm vi dải bước sóng từ 400 nm đến 1 400 nm đối với các giới hạn nguy hiểm về nhiệt, để đánh giá nguồn biều kiến gồm nhiều điểm, góc chấp nhận phải nằm trong phạm vi $\alpha_{\min} \leq \gamma \leq \alpha_{\max}$.

Để xác định MPE đối với các nguồn không tròn, giá trị của góc trương của nguồn chữ nhật hoặc nguồn tuyến tính được xác định bằng trung bình số học của hai kích thước góc của nguồn. Kích thước góc bất kỳ lớn hơn α_{\max} hoặc nhỏ hơn α_{\min} cần được giới hạn ở α_{\max} hoặc α_{\min} tương ứng, trước khi tính trung bình. MPE quang hóa võng mạc không phụ thuộc vào góc trương của nguồn, và phơi nhiễm được xác định bằng cách sử dụng góc chấp nhận quy định trong 4.3.3 a).

4.3.4 Sử dụng ống nhòm

Nếu nguồn lớn được quan sát thông qua ống nhòm thì việc tăng phơi nhiễm hiệu quả tại bề mặt của mắt sẽ nhỏ hơn M^2 hoặc $(D/d)^2$, trong đó M là độ khuếch đại góc của ống nhòm, D là đường kính của thấu kính mục tiêu (tức là phần đầu ra) và d là đường kính của lỗ mở giới hạn liên quan. (Ống nhòm thường được quy định ở dạng $M \times D$, ví dụ 7×50). Có thể thực hiện dự phòng đối với tổn hao truyền qua ống nhòm ở bước sóng laser nếu điều này đã biết. Các phần trăm truyền điển hình đối với ống nhòm được cho dưới đây:

Bước sóng	% truyền
0,18 – 0,302 μm	< 2 %
0,302 – 0,4 μm	70 %
0,4 – 0,7 μm	90 %

TCVN 12670-14:2020

0,7 – 2,8 μm	70 %
2,8 – $10^3 \mu\text{m}$	< 2 %

Góc trường của nguồn kéo dài được quan sát thông qua ống nhòm sẽ tăng lên M lần.

5 Xác định phơi nhiễm lớn nhất cho phép (MPE)

5.1 Lưu ý chung

Các mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép, dựa trên các giá trị do ICNIRP xây dựng, được cho trong Bảng 5, Bảng 6 và Bảng 7 là hàm của bước sóng phát xạ và thời gian phơi nhiễm. Các bảng này cần được sử dụng cùng với các hệ số hiệu chỉnh cho trong Bảng 8.

Bảng 5 xác định MPE đối với mắt trong các điều kiện phơi nhiễm trực tiếp với chùm tia laser đơn lẻ (và trong tất cả các trường hợp khác khi góc trường biểu kiến của nguồn laser không vượt quá 1,5 mrad, xem 4.3.3). Đối với phơi nhiễm mắt với bức xạ laser ở các bước sóng từ 400 nm đến 1 400 nm (vùng nguy hiểm võng mạc) với nguồn biểu kiến lớn hơn trường hợp phơi nhiễm khi quan sát trực tiếp chùm tia laser đơn lẻ (tức là đối với các nguồn kéo dài hoặc nhiều nguồn trường một góc tại mắt lớn hơn 1,5 mrad) thì MPE có thể nới rộng (tăng). Điều này là do mắt không thể tập trung các nguồn không phải điểm như vậy lên điểm nhỏ trên võng mạc, và do đó công suất hoặc năng lượng an toàn lớn nhất đi vào mắt sẽ lớn hơn. Các MPE nới rộng này được cho trong Bảng 8.

Bảng 7 quy định các giá trị của MPE đối với da.

Thời gian phơi nhiễm được sử dụng để xác định MPE từ Bảng 5, 6 và 7 cần được dựa trên thời gian phơi nhiễm ngẫu nhiên lớn nhất mà dự kiến có thể xảy ra một cách hợp lý, có tính đến bước sóng phát xạ laser và các điều kiện mà bộ phát laser có thể được sử dụng. Trong các điều kiện trường hợp xấu nhất của phơi nhiễm ngẫu nhiên, cho phép sử dụng 100 s là thời gian phơi nhiễm lớn nhất đối với bức xạ laser ở các bước sóng lớn hơn 400 nm, và 30 000 s đối với các bước sóng nhỏ hơn 400 nm khi đó các ảnh hưởng quang hóa dài hạn có thể được khởi phát. Góc thời gian dài hơn có thể xảy ra mà không có ảnh hưởng biểu kiến trực tiếp nào nhưng rõ ràng là không hiện thực trong trường hợp phơi nhiễm ngẫu nhiên trực tiếp với chùm tia laser cực tím công suất cao khi có thể gây thương tích ngay lập tức và hiển nhiên. Đối với phơi nhiễm ngẫu nhiên với bức xạ laser nhìn thấy (400 nm – 700 nm) trong trường hợp không thiết kế hoặc không dự kiến việc nhìn trực diện có mục đích, cho phép sử dụng thời gian phản ứng khó chịu là 0,25 s.

Xem thêm về thời gian phơi nhiễm được đề cập trong các thảo luận về đánh giá rủi ro cho trong 7.3.

5.2 Các bộ phát laser dạng xung lặp lại hoặc điều chế

Vì chỉ có ít dữ liệu về các tiêu chí phơi nhiễm xung nên phải sử dụng lưu ý trong việc đánh giá phơi nhiễm với bức xạ dạng xung lặp lại. Các phương pháp dưới đây cần được sử dụng để xác định MPE áp dụng cho các phơi nhiễm với bức xạ xung lặp lại.

MPE đối với phơi nhiễm mắt trong các bước sóng từ 400 nm đến 10^6 nm được xác định bằng cách sử dụng các yêu cầu khắc nghiệt nhất trong a), b) và c). Yêu cầu c) chỉ áp dụng cho các giới hạn nhiệt mà không áp dụng cho các giới hạn quang hóa.

a) Phơi nhiễm từ một xung đơn bất kỳ trong chuỗi xung không được vượt quá MPE đối với xung đơn.

b) Phơi nhiễm trung bình đối với chuỗi xung có thời gian phơi nhiễm T không vượt quá MPE cho trong Bảng 5, Bảng 6 và Bảng 7 đối với xung đơn có thời gian phơi nhiễm T. (T là thời gian được sử dụng trong đánh giá phơi nhiễm đề cập trong 4.1).

c) Phơi nhiễm trung bình từ các xung trong chuỗi xung không được vượt quá MPE đối với xung đơn nhân với hệ số hiệu chỉnh C_5 .

CHÚ THÍCH 1: Phơi nhiễm trong chuỗi xung được lấy trung bình trên cùng thời gian phát xạ được sử dụng để xác định N. Mỗi phơi nhiễm xung được lấy trung bình được so sánh với MPE_{train} giảm như quy định dưới đây:

$$MPE_{train} = MPE_{single} \times C_5^*$$

trong đó

MPE_{train} là MPE đối với xung đơn trong chuỗi xung;

MPE_{single} là MPE đối với xung đơn;

C_5 là $N^{-1/4}$

N là số xung kỳ vọng trong phơi nhiễm.

Trong một số trường hợp, giá trị này có thể thấp hơn MPE áp dụng cho phơi nhiễm liên tục tại cùng công suất đỉnh sử dụng cùng một thời gian phơi nhiễm. Trong các trường hợp này, cho phép sử dụng MPE đối với phơi nhiễm liên tục.

Nếu sử dụng các xung có biên độ thay đổi, việc đánh giá được thực hiện với các xung của từng biên độ riêng rẽ sử dụng yêu cầu a) và với toàn bộ chuỗi xung.

Thời gian phơi nhiễm lớn nhất mà cần áp dụng yêu cầu c) là T_2 trong dải bước sóng từ 400 nm đến 1 400 nm (như xác định trong Bảng 8) và 10 s đối với các bước sóng dài hơn. Nếu nhiều xung xuất hiện trong giai đoạn T_i (xem Bảng 3) chúng được tính là xung đơn để xác định N và phơi nhiễm bức xạ của các xung riêng rẽ được cộng vào để so sánh với MPE của T_i , với điều kiện tất cả các thời gian xung riêng rẽ lớn hơn 10^{-9} s.

CHÚ THÍCH 2: C_5 chỉ áp dụng cho các thời gian xung riêng rẽ nhỏ hơn 0,25 s.

CHÚ THÍCH 3: Phơi nhiễm từ nhóm xung bất kỳ (hoặc các nhóm xung trong chuỗi xung) được phát trong thời gian cho trước bất kỳ không nên vượt quá MPE trong thời gian đó.

* Chỉ áp dụng C_5 với các thời gian xung ngắn hơn 0,25 s.

TCVN 12670-14:2020

CHÚ THÍCH 4: Trong các trường hợp độ rộng xung hoặc khoảng cách xung thay đổi, phương pháp tổng thời gian xung (TOTP) có thể được sử dụng thay cho yêu cầu c). Trong trường hợp này, MPE được xác định bằng thời gian của TOTP, là tổng tất cả các thời gian xung trong thời gian phơi nhiễm hoặc T_2 , chọn giá trị nhỏ hơn. Các xung có thời gian nhỏ hơn T_1 được ấn định là thời gian xung T_1 . Nếu hai hoặc nhiều xung xảy ra trong phạm vi thời gian xung T_1 , các nhóm xung này được ấn định là có thời gian xung T_1 . Để so sánh với MPE trong thời gian tương ứng, tất cả các phơi nhiễm bức xạ xung riêng rẽ được cộng vào.

Phương pháp này tương đương với yêu cầu c) khi phơi nhiễm bức xạ trung bình của các xung được so sánh với MPE của một xung đơn nhất với C_5 .

Bảng 3 – Thời gian T_1 mà khi thấp hơn giá trị quy định trong bảng sẽ cộng các nhóm xung lại

Bước sóng	T_1
$400 \text{ nm} \leq \lambda < 1\,050 \text{ nm}$	$18 \times 10^{-6} \text{ s}$
$1\,050 \text{ nm} \leq \lambda < 1\,400 \text{ nm}$	$50 \times 10^{-6} \text{ s}$
$1\,400 \text{ nm} \leq \lambda < 1\,500 \text{ nm}$	10^{-3} s
$1\,500 \text{ nm} \leq \lambda < 1\,800 \text{ nm}$	10 s
$1\,800 \text{ nm} \leq \lambda < 2\,600 \text{ nm}$	10^{-3} s
$2\,600 \text{ nm} \leq \lambda < 10^6 \text{ nm}$	10^{-7} s

5.3 Nhiều bước sóng

Khi bộ phát laser phát bức xạ tại một vài bước sóng khác nhau nhiều hoặc khi các xung được xếp chồng lên nền sóng liên tục thì việc tính toán nguy hiểm có thể phức tạp.

Các phơi nhiễm từ một vài bước sóng cần được giả thiết là có ảnh hưởng cộng vào trên cơ sở tỷ lệ thuận của hiệu quả phổ theo MPE của Bảng 5, Bảng 6 và Bảng 7 với điều kiện:

- độ rộng xung hoặc thời gian phơi nhiễm nằm trong phạm vi một cỡ độ lớn, và
- các vùng phổ được thể hiện là cộng dồn bằng các ký hiệu (O) đối với phơi nhiễm mắt và (S) đối với phơi nhiễm da trong ma trận của Bảng 4.

**Bảng 4 – Sự cộng dồn các ảnh hưởng lên mắt (O) và da (S)
của bức xạ của các vùng phổ khác nhau**

Vùng phổ ^a	UV-C và UV-B 180 nm đến 315 nm	UV-A 315 nm đến 400 nm	Nhìn thấy và IR-A 400 nm đến 1 400 nm	IR-B và IR-C 1 400 nm đến 10 ⁶ nm
UV-C và UV-B 180 nm đến 315 nm	O S			
UV-A 315 nm đến 400 nm		O S	S	O S
Nhìn thấy và IR-A 400 nm đến 1400 nm		S	O ^b S	S
IR-B và IR-C 1400 nm đến 10 ⁶ nm		O S	S	O S

^a Đối với các định nghĩa vùng phổ, xem Bảng C1.

^b Trong trường hợp MPE được đánh giá đối với các góc thời gian hoặc thời gian phơi nhiễm bằng 1 s hoặc lớn hơn thì các hiệu ứng quang hóa cộng dồn (400 nm đến 600 nm) và các hiệu ứng nhiệt cộng dồn (400 nm đến 1 400 nm) phải được đánh giá độc lập và sử dụng giá trị khác nghiệt nhất.

Trong trường hợp các bước sóng bức xạ không được thể hiện là cộng dồn thì các nguy hiểm cần được đánh giá riêng rẽ. Đối với các bước sóng được thể hiện là cộng dồn, nhưng khi độ rộng xung hoặc thời gian phơi nhiễm không nằm trong một cỡ độ lớn thì cần có cảnh báo (ví dụ trong trường hợp phơi nhiễm đồng thời với bức xạ xung và bức xạ sóng liên tục).

5.4 MPE của các nguồn kéo dài

Đối với các phơi nhiễm mắt với phát xạ từ các nguồn laser kéo dài trong vùng nguy hiểm võng mạc (tức là ở các bước sóng từ 400 nm đến 1 400 nm, xem 4.3.3), cần sử dụng MPE cho trong Bảng 6. Lưu ý rằng nhìn chung góc tương (α) của nguồn sẽ giảm khi khoảng cách đến nguồn tăng lên, và MPE tương ứng có thể tăng. (Góc tương cần được xác định tại vị trí phơi nhiễm được đánh giá.) Điều này đặc biệt quan trọng khi xác định khoảng cách nguy hiểm (ví dụ NOHD) của nguồn kéo dài, vì MPE có thể không giữ cố định mà tăng theo khoảng cách cho đến khi $\alpha = \alpha_{\min}$ ($\alpha_{\min} = 1,5$ mrad).

MPE nguy hiểm về nhiệt cho mắt được cho trong Bảng 6 là hàm của hệ số C_6 . Đối với nguồn tương một góc lớn hơn α_{\max} , trong đó α_{\max} bằng 100 mrad, C_6 có giá trị không đổi là 66,7 (tức là $\alpha_{\max}/\alpha_{\min}$). Đối với các nguồn tương một góc nhỏ hơn α_{\min} , C_6 bằng 1 và áp dụng MPE cho trong Bảng 5.

Hệ số hiệu chỉnh C_6 được cho bởi

$$C_6 = 1 \quad \text{đối với } \alpha \leq \alpha_{\min}$$

$$C_6 = \alpha/\alpha_{\min} \quad \text{đối với } \alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max}$$

$$C_6 = \alpha_{\max}/\alpha_{\min} \quad \text{đối với } \alpha > \alpha_{\max}$$

5.6 Khoảng cách nguy hiểm và vùng nguy hiểm

5.5.1 Khoảng cách nguy hiểm danh nghĩa đối với mắt

Trong một số ứng dụng laser, đặc biệt là những ứng dụng liên quan đến chùm tia phân kỳ hoặc chùm tia quét, các tuyến chùm tia dài hoặc phản xạ chùm tia khuếch tán, khoảng cách này có thể hữu ích để biết khoảng cách mà trên đó nguy hiểm laser có thể kéo dài.

Khoảng cách tại đó mức phơi nhiễm rơi xuống mức MPE (đối với mắt) được biết đến là khoảng cách nguy hiểm danh nghĩa đối với mắt (NOHD). Vượt quá khoảng cách này, sẽ không có nguy hiểm cho mắt không có hỗ trợ mặc dù có thể có nguy hiểm nếu sử dụng hỗ trợ quan sát khuếch đại.

Để tính đến việc sử dụng hỗ trợ khuếch đại có thể có, khi điều này là có thể dự đoán được một cách hợp lý, có thể sử dụng khoảng cách nguy hiểm danh nghĩa kéo dài đối với mắt. Khoảng cách này được xác định trên cơ sở tăng phơi nhiễm (tại bề mặt của mắt, trong phạm vi lỗ mở giới hạn liên quan) mà có thể phát sinh thông qua việc sử dụng các thiết bị khuếch đại. Khoảng cách nguy hiểm danh nghĩa kéo dài đối với mắt (ENOHD) khi đó bằng khoảng cách mà nếu xa hơn nó thì việc sử dụng các thiết bị khuếch đại là an toàn (xem 4.3.4).

Hiểu biết về khoảng cách nguy hiểm có thể đặc biệt hữu ích trong trường hợp các bộ phát laser chùm tia phân kỳ, khi đó khoảng cách nguy hiểm có thể tương đối ngắn và do đó nguy hiểm được giới hạn ở ngay gần lỗ mở laser. Nó cũng có thể quan trọng đối với các chùm tia chuẩn trực từ bộ phát laser được sử dụng ở khoảng cách dài ví dụ ngoài cửa, nơi các khoảng cách nguy hiểm có thể đáng kể. Cần đặc biệt thận trọng với việc sử dụng chùm tia chuẩn trực của sản phẩm laser Cấp 1M và Cấp 2M bên ngoài cánh cửa (tức là các chùm tia có đường kính chùm tia lớn vượt quá giới hạn phát xạ đối với Cấp 1 trong Điều kiện 1 của quy trình phân loại quy định trong TCVN 12670-1 (IEC 60825-1)). Mặc dù các bộ phát laser này không có nguy hiểm cho mắt không có hỗ trợ nhưng khoảng cách trên đó sử dụng hỗ trợ quan sát phóng đại có thể nguy hiểm thì lại rất lớn. Nếu chùm tia kéo dài ra khu vực công chúng thì không thể giả thiết rằng hỗ trợ phóng đại như ống nhòm sẽ không được sử dụng.

Cả NOHD và ENOHD phụ thuộc vào hình dạng chùm tia cũng như biên độ của đầu ra laser. Nó có thể, ví dụ, hội tụ lại hoặc chuẩn trực chùm tia thậm chí bằng phương tiện thành phần quang đặt cách nguồn một khoảng và do đó làm tăng cả NOHD và ENOHD.

Trong một số ứng dụng, có thể hữu ích khi xác định khoảng cách nguy hiểm cho da theo cách tương tự với NOHD.

5.5.2 Vùng nguy hiểm danh nghĩa đối với mắt

Từ hiểu biết về NOHD và ENOHD, và theo cách bộ phát laser được định vị và giữ chắc chắn, và cũng theo các trường hợp sử dụng, có thể xác định diện tích hoặc không gian ba chiều xung quanh lỗ mở laser trong đó các nguy hiểm phơi nhiễm có thể phát sinh. Vùng này, vùng nguy hiểm, được gọi là vùng nguy hiểm danh nghĩa cho mắt (NOHA) nếu nó dựa trên tiêu chí đối với NOHD, hoặc vùng nguy hiểm danh nghĩa kéo dài đối với mắt (ENOHA) nếu nó dựa trên ENOHD.

Vì việc có thể sử dụng hỗ trợ khuếch đại bởi những người không liên quan đến hoạt động của laser, đặc biệt khi các bộ phát laser được sử dụng ngoài cửa, nên việc quan trọng là thừa nhận rằng nguy hiểm laser có thể kéo dài trên toàn bộ vùng ENOHA, mà không chỉ vùng NOHD. Đối với các ứng dụng ngoài trời, nếu chùm tia được kết thúc bởi đất, cây hoặc các đặc điểm địa hình khác, thì NOHD không thể vượt quá đường ngắm đến các đặc trưng không rõ ràng này.

Không phải lúc nào cũng cần bao kín vùng nguy hiểm miễn là việc tiếp cận đến ENOHA có thể được giới hạn và kiểm soát một cách tin cậy.

6 Nguy hiểm kết hợp

6.1 Nguy hiểm sức khỏe bổ sung

Sử dụng các bộ phát laser có thể làm tăng số lượng nguy hiểm kết hợp ngoài những nguy hiểm phát sinh do phơi nhiễm trực tiếp của mắt hoặc da với bức xạ laser. Các nguy hiểm kết hợp không ảnh hưởng đến phân loại bộ phát laser, và thậm chí với cả sản phẩm laser Cấp 1. Một số nguy hiểm kết hợp, ví dụ điện giật, có thể đe dọa đến tính mạng.

Việc kiểm soát nguy hiểm kết hợp thông thường cần thực hiện bởi nhà chế tạo thông qua thiết kế thích hợp của thiết bị và bằng các hướng dẫn dưới dạng văn bản để sử dụng an toàn do nhà chế tạo cung cấp cho người sử dụng. Tuy nhiên, khi các nguy hiểm này không thể bị triệt tiêu hoàn toàn bằng thiết kế kỹ thuật (như trong trường hợp khói) hoặc khi bộ phát laser được sử dụng cho mục đích hoặc theo cách khác với cách được nhà chế tạo dự kiến thì một số trách nhiệm trong việc kiểm soát nguy hiểm này sẽ thuộc về người sử dụng.

Tổng kết một số nguy hiểm kết hợp được cho dưới đây. Người sử dụng nên thực hiện tất cả các bước hợp lý để nghiên cứu và đảm bảo bảo vệ đủ khỏi tất cả các nguy hiểm có thể phát sinh do sử dụng thiết bị laser của họ. Tính đa dạng đã biết của các nguy hiểm và có thể kết hợp với việc sử dụng laser nên tiêu chuẩn này chỉ đưa ra một số hướng dẫn nhất định và người sử dụng cần tham khảo các yêu cầu của quốc gia và địa phương hoặc các quy định kỹ thuật có thể áp dụng. Việc tham vấn những người có năng lực có nhiều kinh nghiệm ngoài lĩnh vực an toàn bức xạ laser cũng có thể hữu ích.

6.2 Nguy hiểm phát sinh từ bộ phát laser

6.2.1 Điện

Nhiều bộ phát laser sử dụng các điện áp cao và bộ phát dạng xung thường sử dụng các tụ điện mà có thể trữ lượng đáng kể điện tích. (Năng lượng tích trữ này có thể giữ nguyên ngay cả sau khi thiết bị đã ngắt khỏi nguồn điện). Thông số đặc trưng của nguồn cấp laser thường vượt quá nhiều so với thông số đặc trưng của bức xạ laser phát. Trong các điều kiện làm việc bình thường, thiết bị laser cần được bảo vệ đầy đủ khỏi khả năng điện giật bằng vỏ bọc của tất cả các đầu nối điện. Tuy nhiên, trong quá trình bảo trì, khi bảo vệ này có thể bị tháo ra và khóa liên động bất kỳ bị làm mất hiệu lực thì có thể tồn tại

TCVN 12670-14:2020

điều kiện nguy hiểm nghiêm trọng. Đặc biệt, có thể cần thực hiện các biện pháp phòng ngừa để đảm bảo loại bỏ hết năng lượng tích lũy trước khi bắt đầu công việc bảo trì.

6.2.2 Bức xạ phụ

Mức bức xạ nguy hiểm tiềm ẩn không phải bức xạ laser có thể sinh ra bởi thiết bị laser và bởi plasma sinh ra do phản ứng của chùm tia laser với vật liệu. Các phát xạ này có thể bao gồm tia X, bức xạ cực tím (UV), ánh sáng nhìn thấy, bức xạ hồng ngoại (IR), bức xạ vi sóng và bức xạ tần số radio (RF). Các nguồn tiềm năng chính của bức xạ phụ này được tổng hợp dưới đây.

X quang có thể được sinh ra thông qua phản ứng với các chùm tia laser công suất cao với các vật liệu đích là kim loại nặng và bằng các van nhiệt điện tử trong phạm vi nguồn cấp của bộ phát laser.

Phát xạ cực tím, nhìn thấy và hồng ngoại có thể sinh ra từ các ống phóng laser khí, bằng các đèn phóng điện trong bộ phát laser được bơm quang và bằng plasma được sinh ra bởi bộ phát laser.

Bức xạ vi sóng và bức xạ tần số radio được sinh ra trong bộ phát được kích thích bằng tần số radio, và có thể được phát bởi thiết bị nếu không được che chắn đúng.

6.2.3 Bức xạ laser khác

Bức xạ laser có thể phát ra ở các bước sóng khác với bước sóng phát xạ chính trong trường hợp một số bộ phát laser, đặc biệt khi sử dụng công nghệ chuyển dịch tần số quang (ví dụ gấp đôi tần số) và bơm quang.

6.2.4 Chất nguy hiểm

Vật liệu được sử dụng như một môi chất hoạt động trong nhiều bộ phát laser (đặc biệt thuốc nhuộm laser và các khí sử dụng trong bộ phát laser excimer) có thể độc và gây ung thư. Dung môi được sử dụng trong nhiều bộ phát laser nhuộm có khả năng mang các chất hòa tan qua da vào cơ thể. Chúng cũng có thể rất dễ bay hơi và không nên hít phải. Chất lỏng được sử dụng trong một số thành phần hoạt động quang (ví dụ đối với đồng cắt Q và nhân đôi tần số) cũng như dung dịch làm sạch và các vật liệu khác được sử dụng cùng với bộ phát laser (ví dụ thấu kính selenia) cũng có thể nguy hiểm. Cần tuân thủ các biện pháp phòng ngừa về việc bảo quản đúng, xử lý và thải bỏ.

6.2.5 Khói

Nhiều ứng dụng laser Cấp 4, đặc biệt trong xử lý các vật liệu công nghiệp và trong phẫu thuật bằng laser, có thể nhả ra các sản phẩm phụ dạng hạt và khí nguy hiểm vào khí quyển do phản ứng của chùm tia laser với vật liệu mà nó chiếu đến. Các phát xạ khói này có thể độc và có thể sinh ra các ảnh hưởng nguy hiểm ngay cả với các thời gian phơi nhiễm ngắn.

Các ảnh hưởng của khói thay đổi đáng kể phụ thuộc chủ yếu vào vật liệu đang xử lý, thời gian phơi nhiễm và mật độ khói.

6.2.6 Òn

Phóng điện của dây tụ điện trong phạm vi nguồn cấp laser có thể phát ra các mức ồn đủ cao để gây hỏng tai. Các phát xạ siêu âm và ồn lặp lại từ các bộ phát laser dạng xung cũng có thể có hại. Một số bộ phát laser được làm mát bằng không khí sinh ra các mức ồn đáng kể. Trường hợp không thể loại bỏ các mức ồn quá mức thì cần đeo thiết bị bảo vệ tai.

6.2.7 Nguy hiểm cơ

Các nguy hiểm cơ có thể phát sinh phần lớn từ bản thân thiết bị laser; kể cả các hạng mục phụ thuộc như xilanh khí, đặc biệt nếu thiết bị không được giữ chắc chắn hoặc được di chuyển bằng tay. Các cáp kéo và ống tuần hoàn nước có thể có nguy hiểm trên hành trình. Các vết cắt có thể từ các đồ vật sắc ví dụ sợi quang. Tay đòn phân phối chùm tia và các hệ thống tự động di chuyển bằng cách điều khiển từ xa có thể gây thương tích nghiêm trọng. Các vật gia công lớn (ví dụ tấm kim loại) có thể có các vấn đề xử lý bằng tay như thương tích do cắt, kéo và ép.

6.2.8 Hư hại do cháy, nổ và nhiệt

Phát xạ laser từ các bộ phát laser công suất cao (Cấp 4) có thể mồi cháy các vật liệu bị chiếu vào. Các ảnh hưởng này được tăng cường trong môi trường giàu oxy được sử dụng trong một số ứng dụng xử lý bằng laser.

Phát xạ laser thậm chí từ laser cấp thấp, đặc biệt khi được tập trung trên vùng rất nhỏ, có thể gây nổ trong khí dễ cháy hoặc khi có mật độ tập trung bụi trong không khí. Các mức công suất cao hơn 35 mW xuất phát từ cáp quang đơn mode có thể đủ để gây cháy trong các môi trường này.

Đèn phóng điện áp suất cao được sử dụng trong bộ phát laser dạng bơm quang, và các thành phần bên trong khác như dây tụ điện, có thể nổ. Các gương lái chùm tia bên ngoài mà có thể phải tiêu tán một lượng đáng kể năng lượng hấp thụ từ chùm tia laser công suất cao có thể bị vỡ.

Thiết bị laser cũng có thể có nguy hiểm cháy do tác dụng của các thành phần dễ cháy, phần bằng nhựa, v.v. có chứa trong nó, mà có thể gây quá nhiệt hoặc bắt cháy khi có sự cố trong thiết bị.

6.2.9 Nóng và lạnh

Các phần bên trong của một số bộ phát laser có thể nóng, và các gương lái chùm tia được sử dụng cùng với bộ phát laser xử lý công suất cao có thể đạt đến nhiệt độ cao. Ngoài ra, chất làm đông lạnh đôi khi cũng được sử dụng trong hoặc cùng với thiết bị laser.

6.3 Nguy hiểm phát sinh từ môi trường

6.3.1 Nhiệt độ và độ ẩm

Nhiệt độ môi trường cực cao hoặc cực thấp, hoặc mức độ ẩm môi trường cao, có thể ảnh hưởng đến tính năng của thiết bị laser, kể cả các đặc trưng an toàn lắp trong của nó, và có thể ảnh hưởng đến hoạt

TCVN 12670-14:2020

động an toàn. Việc ngưng tụ trên các thành phần quang có thể ảnh hưởng đến việc truyền chùm tia thông qua hệ thống này.

6.3.2 Xóc và rung cơ khí

Việc này có thể ảnh hưởng đến hoạt động của hệ thống laser, và có thể làm sai lệch tuyến quang, phát ra chùm tia sai lệch nguy hiểm.

6.3.3 Ảnh hưởng khí quyển

Chùm tia từ bộ phát laser công suất cao có thể mờ cháy hơi dung môi, bụi và khí dễ cháy có trong môi trường và từ các hoạt động gia công liền kề hoặc các nguyên nhân khác. Việc mờ cháy này cũng có thể gây nổ.

6.3.4 Nhiễu điện từ và nhiễu tần số radio

Phơi nhiễm với trường điện từ, trường từ hoặc trường điện bức xạ và các xung điện áp cao dẫn xuống cáp nguồn hoặc cáp dữ liệu có thể ảnh hưởng đến tính năng của thiết bị laser, kể cả các đặc điểm an toàn lắp trong của nó hoặc mạch điều khiển, và ảnh hưởng đến hoạt động an toàn.

6.3.5 Gián đoạn hoặc thăng giáng nguồn điện

Gián đoạn hoặc thăng giáng của nguồn điện có thể ảnh hưởng đến hoạt động của hệ thống an toàn của bộ phát laser.

6.3.6 Các vấn đề về phần mềm máy tính

Sai lỗi trong lập trình máy tính, nơi một phần hoặc tất cả hoạt động của bộ phát laser và hệ thống bảo vệ của nó được điều khiển bằng phần mềm có thể gây nguy hiểm nghiêm trọng và không dự đoán được việc phát sinh mà không có cảnh báo.

6.3.7 Các xem xét về ergonomics và yếu tố con người

Bố trí vật lý không tốt của bộ phát laser và thiết bị kết hợp của nó, thiếu không gian tạo ra môi trường lộn xộn và các quy trình hoạt động phức tạp hoặc khó khăn đều có thể làm tăng khả năng xảy ra các tai nạn. Ngoài ra, các yếu tố con người, xuất phát từ phản ứng của cá nhân với môi trường làm việc của họ, có thể có ảnh hưởng lớn đến hành vi liên quan đến an toàn của cá nhân đó. Các yếu tố này bao gồm:

- khía cạnh con người, bao gồm thuộc tính về trí óc, tâm thần và vật lý của từng người, và gồm khả năng làm việc của người đó cũng như nhận thức của họ về rủi ro tại nơi làm việc và thái độ của họ đối với an toàn;
- khía cạnh nghề nghiệp, liên quan đến các tác vụ hoặc chức năng phải thực hiện, và ảnh hưởng đến tác động của con người lên thiết bị phải sử dụng; và

– khía cạnh tổ chức, liên quan đến “văn hóa an toàn” của tổ chức, và bao gồm cơ cấu tổ chức mà cá nhân phải làm việc trong đó và các ảnh hưởng và áp lực (thực và tưởng tượng) mà cá nhân đó phải chịu.

Các yếu tố con người đóng một phần trong phần lớn các tai nạn nghề nghiệp và cần được thảo luận cùng với việc kiểm soát các nguy hiểm vật lý cụ thể hơn mà có thể phát sinh từ việc sử dụng thiết bị laser.

6.4 Kiểm soát các nguy hiểm kết hợp

Nguy hiểm kết hợp bất kỳ có thể dự đoán một cách hợp lý là tồn tại trong khi lắp đặt, vận hành, bảo dưỡng, bảo trì hoặc thải bỏ bộ phát laser cần được nhận biết và đánh giá đủ. Các biện pháp kiểm soát bảo vệ cần thiết cần được xác định trên cơ sở đánh giá rủi ro, như thảo luận trong Điều 7, có tính đến các yêu cầu liên quan của quốc gia hoặc địa phương có thể áp dụng.

7 Đánh giá rủi ro

7.1 Nguy hiểm và rủi ro

Kiểm soát các nguy hiểm do lắp đặt, vận hành, bảo dưỡng, bảo trì hoặc thải bỏ thiết bị laser cần dựa trên việc đánh giá rủi ro. Nguy hiểm là điều kiện vật lý, chất hóa học hoặc sinh học mà có khả năng gây nguy hại. Nguy hại thường được hiểu là gây thương tích cho người, nhưng cũng có thể là tổn thất về tài chính (ví dụ hư hại thiết bị hoặc tài sản hoặc mất thời gian sản xuất). Có những nguy hiểm liên quan trong tất cả các hoạt động. Trong thiết bị laser, bức xạ laser là nguy hiểm nhưng cũng có những nguy hiểm khác mà có thể kết hợp với việc sử dụng laser (ví dụ điện, khói, khí áp suất cao), một số trong số chúng được mô tả trong Điều 6.

Liên quan đến đánh giá rủi ro, rủi ro là sự kết hợp khả năng xảy ra nguy hại và mức độ khắc nghiệt mà nguy hại có thể gây ra. Bất cứ khi nào có khả năng phơi nhiễm với nguy hiểm, thì khi đó đều có rủi ro thương tích nhưng không phải lúc nào cũng cần hoặc thậm chí có thể loại bỏ hoàn toàn rủi ro. Điều cần làm là giảm rủi ro trong sử dụng (và cũng trong các điều kiện hỏng hoặc sử dụng sai dự đoán được một cách hợp lý) xuống đến mức chấp nhận được. Mức chấp nhận được sẽ thay đổi nhiều, tùy thuộc vào ứng dụng và các trường hợp sử dụng, và việc thiết lập mức này là đối tượng của việc đánh giá. Trong một số trường hợp, nó có thể được thiết lập bằng cách so sánh rủi ro kết hợp với hoạt động đang xét với các rủi ro tương tự trong các hoạt động khác.

Cấp của sản phẩm laser (xem 4.1.2) dựa trên mức bức xạ lớn nhất mà người có thể tiếp cận trong các điều kiện hoạt động bình thường. Cấp sản phẩm đưa ra chỉ thị rõ ràng về nguy hiểm bức xạ, và các biện pháp kiểm soát bảo vệ mặc định cho trong Bảng 1 phản ánh điều này. Tuy nhiên, các vấn đề rộng hơn, kể cả việc sử dụng sai và hỏng ảnh hưởng đến mức rủi ro. Xem xét chi tiết hơn về khả năng xảy ra và độ khắc nghiệt của thương tích mà được yêu cầu trong đánh giá rủi ro cho phép người sử dụng có nhiều cơ sở cân nhắc lựa chọn phối hợp các biện pháp kiểm soát một cách thích hợp. Điều này đặc biệt có ích

TCVN 12670-14:2020

trong một số ứng dụng khi các biện pháp kiểm soát được tổng hợp trong Bảng 1 là không thích hợp, không đủ hoặc không hợp lý.

Khi có thể, việc đánh giá rủi ro kết hợp với quá trình laser cụ thể cần được thực hiện trước khi mua bộ phát laser. Điều này sẽ đảm bảo rằng người sử dụng kỳ vọng sẽ nhận thức đầy đủ về những thứ liên quan đến an toàn, mà có thể có liên quan đến nơi lắp bộ phát laser hoặc cách sử dụng nó. Tất cả những chuẩn bị cần thiết có thể được thực hiện trước khi đưa thiết bị đến.

Việc giảm rủi ro đến các mức chấp nhận được là một quá trình lặp lại. Có thể có nhiều cách tiếp cận khác nhau để đánh giá rủi ro, nhưng các bước thiết yếu liên quan được mô tả dưới đây.

7.2 Đánh giá rủi ro: Giai đoạn 1 – Nhận biết các tình huống gây thương tích tiềm ẩn

Phần quan trọng nhất của đánh giá rủi ro là xem xét tình huống gây thương tích dự đoán được một cách hợp lý mà có thể phát sinh khi sử dụng thiết bị laser, kể cả khi lắp đặt, hoạt động bình thường, bảo dưỡng, bảo trì và sử dụng sai hoặc hỏng dự đoán được một cách hợp lý. Cần tính đến việc bảo dưỡng, điều chỉnh hoặc tác vụ khác do nhà chế tạo khuyến cáo. Danh sách các việc có thể bị làm sai có thể được rút ra từ những hoạt động xem xét một cách có hệ thống hoặc ngẫu nhiên bằng cách thảo luận tập thể.

Ba vấn đề quan trọng mà người sử dụng cần tập trung vào khi lên danh sách các tình huống thương tích tiềm ẩn được mô tả trong 7.2.1, 7.2.2 và 7.2.3.

7.2.1 Các nguy hiểm liên quan

Điều quan trọng là xem xét toàn bộ các nguy hiểm có thể có và các trường hợp trong đó chúng có thể phát sinh, có tính đến kiểu thiết bị laser (cấp, điều kiện xảy ra phơi nhiễm nguy hiểm và loại thương tích có thể gây ra) và tác vụ hoặc quá trình đang thực hiện. Mặc dù phơi nhiễm với bức xạ laser thường gây ra nguy hiểm hiển nhiên nhưng không phải lúc nào cũng vậy. Điều 5 thảo luận nhiều nguy hiểm kết hợp liên quan đến việc sử dụng thiết bị laser. Các biện pháp kiểm soát bất kỳ đã được đặt vào tại thời điểm đánh giá rủi ro sẽ cách ly có hiệu quả các nguy hiểm này (có lẽ ngoại trừ trong bảo trì). Khi thiết lập danh sách ban đầu, mức độ mà các biện pháp kiểm soát này được tính đến (khi chúng được lắp vào sản phẩm laser bởi nhà chế tạo hoặc đã được thực hiện trong hệ thống lắp đặt laser) là vấn đề cần đánh giá về phần của người sử dụng.

7.2.2 Môi trường laser

Môi trường laser bao gồm

- vị trí của thiết bị laser: ví dụ bên trong tòa nhà trong phạm vi khu vực làm việc của bộ phát laser được bao kín và dành riêng; bên trong khu vực làm việc tiếp cận được rộng hơn hoặc khu vực làm việc không vách ngăn; bên ngoài;
- tình trạng của khu vực làm việc nhìn từ thiết bị: ví dụ ảnh hưởng về nhiệt độ, độ ẩm, rung, bụi, v.v. lên thiết bị và khả năng nhiễu hoặc hư hại do xung đột với người hoặc thiết bị đang di chuyển;

- tình trạng khu vực làm việc nhìn từ người vận hành: ví dụ rộng rãi hoặc lộn xộn; sạch hoặc bẩn; chiếu sáng tốt hoặc tối; dễ sử dụng và dễ thao tác thiết bị laser và thiết bị kết hợp; sự đơn giản hoặc phức tạp của tác vụ đang thực hiện;
- mức tiếp cận: ví dụ khu vực hạn chế cục bộ ở nơi không có sự tiếp cận của công chúng; khu vực không hạn chế tiếp cận ở nơi không có sự tiếp cận của công chúng; khu vực công chúng tiếp cận.

7.2.3 Người chịu rủi ro

Các vấn đề liên quan đến những người chịu rủi ro gồm số lượng người chịu rủi ro và mức độ nhận thức, bảo vệ và huấn luyện của họ. Người chịu rủi ro có thể bao gồm người vận hành có kỹ năng và được huấn luyện, người bảo trì, người lao động có thể không nhận thức được nguy hiểm, nhà thầu, người đến tham quan, trẻ em và những người khác trong công chúng có thể không hiểu đầy đủ các ký hiệu cảnh báo hoặc không đánh giá đúng những nguy hiểm liên quan.

7.3 Đánh giá rủi ro: Giai đoạn 2 – Đánh giá rủi ro đối với những tình huống thương tích tiềm ẩn

Hai yếu tố làm nên rủi ro là khả năng xảy ra thương tích và độ nghiêm trọng của thương tích, có thể được xem xét riêng rẽ đối với từng hạng mục trong danh mục các trường hợp thương tích tiềm ẩn.

Có thể khá khó khăn để định lượng các yếu tố này, nhưng thường không cần làm như vậy. Thực vậy, sau khi hoàn thành giai đoạn 1 của quá trình đánh giá rủi ro, đôi khi có thể trở nên hiển nhiên rằng tồn tại rủi ro không chấp nhận được và cần thực hiện các bước để loại trừ hoặc giảm thiểu chúng.

Hướng dẫn ở đây tập trung vào chùm tia laser, bằng cách lấy ví dụ. Người sử dụng cũng sẽ phải xét đến các nguy hiểm kết hợp khác và các rủi ro phát sinh từ các nguy hiểm này.

Mặc dù khả năng xảy ra và độ nghiêm trọng của thương tích đều là các khía cạnh của rủi ro tổng thể, nhưng do độ không đảm bảo của mức độ nguy hại có thể gây ra, thường hữu ích và quan trọng hơn khi chỉ tập trung vào xác suất xảy ra phơi nhiễm lớn hơn MPE (bất kể các hậu quả thực tế). Điều này được gọi là đánh giá rủi ro tất định và là cơ sở cho việc thực hiện nhiều đánh giá rủi ro về an toàn laser.

Bằng cách nhấn mạnh vào việc đánh giá các trường hợp, điều kiện và tình huống có thể xảy ra các mức phơi nhiễm nguy hiểm, các biện pháp kiểm soát (xem 6.4) có thể dễ dàng liên kết với nhu cầu đảm bảo rằng các trường hợp, điều kiện hoặc tình huống cụ thể mà có thể làm tăng thương tích (bất kể độ nghiêm trọng của nó) là ít có khả năng xảy ra.

Cách thông thường hơn để đánh giá rủi ro có thể thích hợp được mô tả trong 7.3.1, 7.3.2 và 7.3.3.

7.3.1 Tần suất

Đặt khả năng xảy ra thương tích mà phát sinh từ từng nguy hiểm đã được nhận biết vào một trong ba cấp độ, có tính đến tần suất phơi nhiễm với nguy hiểm, thời gian phơi nhiễm với nguy hiểm và xác suất khi bị phơi nhiễm không thể tránh khỏi nguy hiểm.

TCVN 12670-14:2020

Các cấp độ này bao gồm:

- có nhiều khả năng xảy ra: sẽ xảy ra thường xuyên;
- có thể xảy ra: thỉnh thoảng có thể xảy ra;
- ít có khả năng xảy ra: rất ít có khả năng xảy ra.

7.3.2 Độ nghiêm trọng

Đặt độ nghiêm trọng của thương tích vào một trong ba cấp độ. (Cấp độ thứ tư có thể thêm vào đối với hư hại đến cây cối hoặc môi trường).

Các cấp độ đề xuất gồm:

- Nhỏ: hơi khó chịu, có thể đòi hỏi sơ cứu nhưng phục hồi hoàn toàn nhanh chóng;
- Vừa: ảnh hưởng nghiêm trọng hơn, thời gian phục hồi lâu hơn, có nhiều khả năng cần điều trị y tế;
- Lớn: thương tích nghiêm trọng đòi hỏi can thiệp y tế khẩn cấp, với xác suất mất khả năng vĩnh viễn (kể cả mất thị lực) hoặc thậm chí tử vong.

7.3.3 Rủi ro tổng hợp

Xem xét rủi ro tổng hợp và quyết định xem rủi ro này có chấp nhận được hay không.

Các xem xét quan trọng được mô tả trong 7.3.3.1, 7.3.3.2 và 7.3.3.3.

7.3.3.1 Mất hoặc da

- a) Hậu quả của thương tích đến mắt thường nghiêm trọng hơn thương tích tương đương đến da.
- b) Ở mức phơi nhiễm bất kỳ, bỏng da trên vùng lớn sẽ nghiêm trọng hơn bỏng trên vùng nhỏ.
- c) Laser công suất rất cao có thể gây thương tích cơ thể rất nghiêm trọng, có thể gây tử vong.

7.3.3.2 Bước sóng lớn

- a) Có thể có rủi ro hư hại lũy tích, thậm chí gây ra ung thư, do phơi nhiễm lặp lại hoặc kéo dài của da với bức xạ cực tím.
- b) Mắt có thể bị tổn thương do phơi nhiễm với bức xạ laser có công suất đủ lớn tại bước sóng bất kỳ. (Không có dải bước sóng nào an toàn cho mắt).
- c) Ngay cả thương tích cục bộ vùng mặt cũng có thể dẫn đến mất thị lực nghiêm trọng.
- d) Hư hại bề mặt của giác mạc có thể liền; thương tổn sâu hơn vào bên trong giác mạc thì không.
- e) Phơi nhiễm bất thành linh và ngoài dự kiến của mắt với bức xạ laser nhìn thấy, ngay cả ở các mức thấp hơn MPE nhiều, cũng có thể gây mất tập trung và lóa mắt.

7.3.3.3 Thời gian phơi nhiễm bức xạ laser

Thời gian phơi nhiễm bức xạ có thể được giới hạn bằng tổng độ dịch chuyển khi bị đau, theo cường độ ánh sáng hoặc theo cảm nhận về nhiệt. Tuy nhiên, thương tích quang hóa nhìn chung không sinh ra cảm giác ngay lập tức.

7.4 Đánh giá rủi ro: Giai đoạn 3 – Chọn phương pháp kiểm soát

Trong trường hợp mức rủi ro được nhận thấy là không chấp nhận được thì các biện pháp kiểm soát phải được đưa ra để giảm thiểu rủi ro đến mức chấp nhận được. Các biện pháp kiểm soát này được nêu trong Điều 8. Để chọn các kiểm soát thích hợp, các kiểm soát kỹ thuật áp dụng trong việc thiết lập chính sách an toàn, cần được xem xét sơ bộ như phương tiện giảm rủi ro thương tích laser. Thiết bị bảo vệ cá nhân chỉ nên sử dụng như một kế sách cuối cùng khi việc kết hợp kiểm soát kỹ thuật và kiểm soát hành chính không cung cấp đủ mức bảo vệ.

Sau các biện pháp kiểm soát để giảm rủi ro đã được xác định, cần lập lại quy trình đánh giá rủi ro được nêu trên đây, và nếu cần tiến hành lặp lại thêm nữa cho đến khi rủi ro từ tất cả các tình huống gây thương tích có thể có được giảm đến mức chấp nhận được. Việc lặp lại này cần được tiến hành trước khi thực hiện các kiểm soát đề xuất và thiết bị laser được sử dụng, để khẳng định rằng một khi áp dụng biện pháp kiểm soát thì rủi ro còn lại là chấp nhận được.

8 Biện pháp kiểm soát

8.1 Quy định chung

Trong trường hợp đánh giá rủi ro cho thấy có rủi ro ở mức không chấp nhận được thì cần đưa ra các biện pháp kiểm soát bảo vệ. Điều này áp dụng cho việc sử dụng tất cả các bộ phát laser, bất kể là được nhà chế tạo phân loại, được bán như một bộ phát laser chưa được phân loại để lắp vào sản phẩm khác, hoặc có kết cấu đặc biệt cho mục đích cụ thể, cho thực nghiệm hoặc đánh giá. (Đánh giá rủi ro bình thường sẽ không cần thiết đối với các sản phẩm laser Cấp 1 và Cấp 2, mặc dù luôn cần xem xét đến khả năng các trường hợp không bình thường hoặc trường hợp đặc biệt có thể yêu cầu các biện pháp kiểm soát đặc biệt.)

Tính khả thi của việc sử dụng bộ phát laser cấp thấp hơn cần luôn được coi là lựa chọn đầu tiên khi kiểm soát nguy hiểm. Do đó nhu cầu sử dụng bộ phát laser nguy hiểm cần được đánh giá trước khi mua và sử dụng.

Trong trường hợp sản phẩm laser được sử dụng cho mục đích hoặc theo cách khác với cách được thiết kế bởi nhà chế tạo thì các nguy hiểm có thể phát sinh mà đòi hỏi phải có biện pháp kiểm soát bảo vệ bổ sung được thực hiện nhiều hơn cả những biện pháp được nhà chế tạo quy định.

Các biện pháp kiểm soát cần được xem xét dưới ba tiêu đề bao gồm kiểm soát kỹ thuật, kiểm soát hành chính và thiết bị bảo vệ cá nhân. Tuy nhiên, trong trường hợp khả thi, các nguy hiểm laser cần được loại trừ hoàn toàn tại nguồn bằng cách sử dụng các kiểm soát kỹ thuật (ví dụ vỏ bọc toàn bộ chùm tia).

TCVN 12670-14:2020

- Kiểm soát kỹ thuật bao gồm các đặc trưng kết hợp trong thiết bị laser và xung quanh chùm tia laser bởi nhà chế tạo hoặc người sử dụng, cụ thể cơ cấu gắn các tấm bảo vệ và tấm chắn ngăn tiếp cận của người với bức xạ laser.
- Kiểm soát hành chính bao gồm chính sách tổng thể, các vấn đề về quy trình (“quy tắc địa phương” chi phối việc sử dụng bộ phát laser), sử dụng và hiển thị các ký hiệu cảnh báo nguy hiểm, huấn luyện và hướng dẫn, ấn định trách nhiệm và những việc cấm.
- Thiết bị bảo vệ cá nhân là những đồ bảo hộ được cá nhân mặc. Liên quan đến an toàn laser, thiết bị bảo vệ cá nhân chủ yếu được sử dụng là kính mắt bảo vệ khỏi laser, nhưng cũng có thể bao gồm đồ bảo hộ đặc biệt (ví dụ găng tay và mặt nạ) để bảo vệ da, cũng như mặt nạ phòng độc để bảo vệ khỏi bụi và khói và đeo nút bịt tai để bảo vệ khỏi tiếng ồn quá mức.

Sau khi áp dụng chính sách tổng thể chi phối việc sử dụng bộ phát laser, các kiểm soát kỹ thuật cần được xem xét đầu tiên và là phương tiện giảm rủi ro thương tích liên quan đến laser. Các kiểm soát hành chính bao gồm các vấn đề về quy trình và hệ thống an toàn của công việc được xem xét tiếp theo. Thiết bị bảo vệ cá nhân chỉ nên sử dụng như một kế sách cuối cùng khi việc kết hợp kiểm soát kỹ thuật và kiểm soát hành chính không cung cấp đủ mức bảo vệ. Khi thiết bị bảo vệ cá nhân được sử dụng nó cần được hỗ trợ bởi mức kiểm soát hành chính thích hợp để chi phối việc sử dụng.

Việc giảm rủi ro xuống đến các mức chấp nhận được là một quá trình lặp lại liên quan đến nhận biết các nguy hiểm kết hợp với việc sử dụng hoặc sử dụng sai dự đoán được một cách hợp lý của thiết bị laser, (kể cả các chế độ hồng dự đoán được một cách hợp lý), đánh giá rủi ro của nguy hại phát sinh do phơi nhiễm với các nguy hiểm này và rà soát các biện pháp kiểm soát có thể làm giảm rủi ro.

Trong trường hợp có nhiều bên liên quan đến thiết kế, quy định kỹ thuật và lắp đặt thiết bị laser (điều này có thể liên quan đến, ví dụ, nhà chế tạo của bản thân bộ phát laser, công ty thực hiện việc cung cấp và lắp đặt thiết bị kết hợp và nhân viên từ bên mua thiết bị), điều quan trọng là trách nhiệm về an toàn được xác định rõ ràng. Có thể hữu ích khi thỏa thuận trước và viết thành văn bản về trách nhiệm của từng bên đối với từng khía cạnh an toàn cụ thể trong toàn bộ hệ thống, nhận biết và làm rõ các vấn đề liên quan đến an toàn của toàn bộ hệ thống và sự phù hợp về an toàn.

8.2 Giảm nguy hiểm

Việc xét đến sử dụng dự kiến của bộ phát laser liên quan đến mức rủi ro có thể cho thấy rằng có khả năng đạt được mục đích dự kiến với mức nguy hiểm thấp hơn (và do đó mức độ rủi ro cũng thấp hơn). Điều này là có thể, ví dụ, bằng cách giảm phát xạ laser, tăng đường kính chùm tia hoặc bằng cách sử dụng bước sóng khác nhau. Người sử dụng cần luôn đảm bảo rằng đạt được mức nguy hiểm nhỏ nhất theo ứng dụng dự kiến.

8.3 Che chắn nguy hiểm

8.3.1 Vỏ bọc chùm tia

Việc sử dụng vỏ bọc để chứa hoàn toàn chùm tia laser cần luôn được xem xét như phương tiện ngăn ngừa việc tiếp cận của người đến các mức bức xạ laser nguy hiểm. Các vỏ bọc này bao gồm các vỏ bọc được thiết kế để ngăn phát xạ bức xạ laser từ thiết bị cũng như vỏ bọc được thiết kế để ngăn sự tiếp cận của người vào vùng có thể có bức xạ laser.

Tất cả các vỏ bọc cần bằng vật liệu thích hợp, cứng vững, chắc chắn và phù hợp với mục đích sử dụng dự kiến của nó và chịu tác động của môi trường cục bộ của chúng.

Kim loại được áp dụng phổ biến để tạo nên các vỏ bảo vệ, và trong một số phạm vi bước sóng, có thể sử dụng vật liệu thủy tinh hoặc nhựa. Đặc tính cần thiết của vật liệu làm vỏ bọc là phải có đủ độ bền với môi trường (cụ thể khả năng chịu va đập cơ khí, nhiệt và ánh sáng) và đủ mật độ quang ở bước sóng bức xạ laser. Các vách của phòng tất nhiên có thể được coi là tạo thành vỏ bảo vệ nếu loại bỏ được nhu cầu người vận hành có mặt trong môi trường laser đó.

Bộ phát laser Cấp 4 công suất cao, ví dụ các bộ phát được sử dụng để cắt, hàn và các dạng gia công khác, tạo ra một vấn đề khác về vỏ bọc do chùm tia laser có khả năng xuyên qua vật liệu không trong suốt do chảy, cháy, bay hơi hoặc bong tách. Để hướng dẫn đánh giá sự thích hợp của vật liệu kết cấu đối với bức xạ laser công suất cao, người sử dụng nên xem IEC 60825-4. Nhìn chung, các vỏ bọc phải thích hợp để chứa bức xạ laser mà có thể tác động lên bề mặt bên trong của nó khi cần thiết.

Đối với tất cả các vỏ bảo vệ, phương tiện để ngăn ngừa việc tháo không chủ ý hoặc không được phép tất cả hoặc một phần vỏ bọc, tạo tiếp cận đến bức xạ laser, là một xem xét quan trọng (xem 8.3.3: Bảo vệ khóa liên động).

8.3.2 Cửa sổ quan sát

Trong khi có thể sử dụng cửa sổ quan sát để cho phép xem xét bên trong vỏ bọc laser trong quá trình hoạt động, thì việc sử dụng này không phải là giải pháp lý tưởng và việc sử dụng hệ thống quan sát từ xa (TV) cần được coi là giải pháp thay thế. Trường hợp sử dụng các cửa sổ quan sát, chúng cần được làm bằng vật liệu thích hợp để cho phép quan sát bên trong của vỏ bọc mà không mất đi các đặc tính bảo vệ.

Phương pháp tính mật độ quang cần thiết của vật liệu làm cửa sổ tại (các) bước sóng của bức xạ laser được che chắn giống với phương pháp dùng cho kính mắt bảo vệ khỏi laser (xem 8.4.5.2), nhưng việc đánh giá phơi nhiễm lớn nhất dự đoán được sẽ khác nhau. Cụ thể, vì cửa sổ quan sát không phải đeo lên người nên phơi nhiễm ngẫu nhiên có thể trong thời gian dài hơn nhiều so với trường hợp kính mắt. (Xem IEC 60825-4).

8.3.3 Bảo vệ khóa liên động

8.3.3.1 Mục đích của bảo vệ khóa liên động

Việc tiếp cận với vỏ bảo vệ do người sử dụng lắp đặt cần được kiểm soát bởi các biện pháp tương ứng với mức rủi ro (xem Bảng 9). Trong trường hợp có rủi ro thương tích nghiêm trọng có thể dự đoán một

TCVN 12670-14:2020

cách hợp lý do mờ hoặc tháo không chủ ý, ngẫu nhiên hoặc thậm chí cố ý một phần của vỏ bọc, giải pháp khuyến cáo để kiểm soát nguy hiểm laser bằng các phương tiện kỹ thuật (ví dụ bằng cách sử dụng khóa liên động an toàn) để ngăn ngừa tiếp cận hoặc để kết thúc phát xạ laser. (Xem thêm 8.4.2 và Phụ lục A.)

Hướng dẫn đối với các khóa liên động do người sử dụng lắp đặt được cho trong các đoạn dưới đây như các khuyến cáo về thực hành tốt, nhưng không nên hiểu là các yêu cầu chế tạo. (Yêu cầu chế tạo đối với các sản phẩm laser được quy định trong TCVN 12670-1 (IEC 60825-1).)

8.3.3.2 Thiết kế hệ thống khóa liên động

Đối với khóa liên động thực hiện chức năng quan trọng về an toàn, cần xem xét các tiêu chí sau.

- a) Thiết bị đóng cắt cơ khí cần có thiết kế "cắt đứt khoá" (xem A.2.2). Chúng có các tiếp điểm bật mạnh ra khỏi nhau khi nhà thiết bị đóng cắt khóa liên động, để ngăn ngừa hồ quang hoặc rủi ro có hoạt động không dứt khoát.
- b) Thiết bị đóng cắt cảm ứng cần được mã hóa (tức là đòi hỏi hai phần ăn khớp với nhau được mang cùng nhau) nhằm tránh bị làm mất hiệu lực không chủ ý.
- c) Hệ thống khóa liên động cần được thiết kế sao cho sự cố đơn trong phần bất kỳ của mạch điện không làm mất chức năng bảo vệ. Sự cố đơn cần được phát hiện trước khi hệ thống có thể đặt lại. (Ví dụ về sự cố đơn dự đoán được một cách hợp lý là tiếp điểm role bị dính.)
- d) Việc kết thúc phát xạ laser đạt được bằng cách ngắt nguồn cấp cho bộ phát laser, trong trường hợp các bộ phát laser dạng xung, cần được tiến hành bằng cách giảm năng lượng dư bất kỳ có thể gây ra cho các xung tiếp theo. Điều này thường được đáp ứng bởi nhà chế tạo trong thiết kế sản phẩm.

8.3.3.3 Khóa liên động đặt lại

Các hệ thống khóa liên động được thiết kế sao cho, sau khi tác động, hệ thống chỉ có thể được đặt lại bằng hành động có cân nhắc (ví dụ nút bấm đặt lại).

Việc đặt lại hệ thống khóa liên động không được phép cho đến khi tất cả các chức năng bảo vệ và thiết bị bảo vệ sẵn sàng hoạt động và sự cố bất kỳ đều đã được giải trừ.

Bản thân việc đặt lại hệ thống khóa liên động không nên khởi động lại bộ phát laser mà chỉ cần chuẩn bị hệ thống để chờ lệnh khởi động.

8.3.3.4 Mất hiệu lực khóa liên động

Các hệ thống khóa liên động có phương tiện để làm mất hiệu lực khóa liên động, nhằm tạo tiếp cận khi bảo trì hoặc các công việc điều chỉnh khác, cần đáp ứng các yêu cầu dưới đây.

Khóa liên động không được có khả năng duy trì tình trạng mất hiệu lực khi vỏ bọc được lắp lại. Yêu cầu này có thể đạt được, ví dụ, bằng cách giới hạn thời gian của thao tác mất hiệu lực hoặc bằng thiết kế cơ khí của cơ chế làm mất hiệu lực.

Cần có cảnh báo rõ ràng nhìn thấy hoặc nghe thấy khi chức năng làm mất hiệu lực đang được kích hoạt.

Trong trường hợp các khóa liên động có thể làm mất hiệu lực từ bên ngoài khu vực có kiểm soát laser thì việc này chỉ có thể thực hiện bằng công tắc có mã hóa hoặc hoạt động bằng chìa khóa để ngăn kích hoạt chức năng làm mất hiệu lực bởi những người không được uỷ quyền.

8.4 Giảm nhẹ nguy hiểm

8.4.1 Ngăn ngừa tiếp cận

Tiếp cận của người đến nguy hiểm laser cần được ngăn ngừa bằng phương tiện kỹ thuật trong chừng mực có thể. Trường hợp mức bảo vệ này không đạt được thì tiếp cận của người đến các mức bức xạ laser nguy hiểm hoặc đến các nguy hiểm laser khác cần được ngăn ngừa trong chừng mực có thể bằng cách sử dụng tấm chắn, ống chùm tia và vỏ bọc cục bộ thích hợp và bằng cách đảm bảo rằng việc tiếp cận với khu vực nguy hiểm được giới hạn ở những người mà việc tiếp cận này là cần thiết.

8.4.2 Khu vực có kiểm soát laser

Khu vực có kiểm soát laser cần được thiết lập khi có rủi ro nguy hại dự đoán được một cách hợp lý xuất phát từ việc sử dụng thiết bị laser. Đơn giản nhất, khu vực có kiểm soát laser là khu vực trong đó các nguy hiểm chùm tia laser có thể tồn tại và có một vài mức kiểm soát nguy hiểm hiệu quả. Khu vực này cần được mô tả rõ ràng, và việc tiếp cận đến chúng được giới hạn ở những người được chỉ định là những người có đủ huấn luyện về an toàn và người được giám sát bởi họ.

Biên của khu vực có kiểm soát laser cần bao kín các nguy hiểm liên quan đến sử dụng bộ phát laser trong tất cả các điều kiện dự đoán được một cách hợp lý (kể cả các sự cố dự đoán được một cách hợp lý với bộ phát laser hoặc thiết bị kết hợp và việc không tuân thủ các quy trình đúng dự đoán được một cách hợp lý).

Ký hiệu cảnh báo cần được hiển thị rõ ràng trên phía ngoài của tất cả các khu vực có kiểm soát laser. Các ký hiệu này cần gồm ký hiệu nguy hiểm laser như thể hiện trên Hình 1, và cần chỉ ra loại nguy hiểm, bắt buộc hạn chế tiếp cận và các biện pháp phòng ngừa cần thực hiện khi đi vào. Ký hiệu này cũng hữu ích khi có thông tin về tên người chịu trách nhiệm cho khu vực này và có thể có thêm thông tin từ người này.

Thường mong muốn có vỏ bọc vật lý toàn bộ khu vực có kiểm soát laser, nhưng không phải lúc nào cũng cần như vậy với điều kiện a) việc tiếp xúc với khu vực này được kiểm soát đầy đủ, và b) không có rủi ro quá mức cho người bên ngoài khu vực có kiểm soát. Việc khóa liên động các cửa hoặc lối vào khác đến khu vực có kiểm soát laser cần được xem xét khi tồn tại các nguy hiểm đáng kể và khi việc tiếp cận là không thể được kiểm soát đủ bởi các phương tiện hành chính, và đặc biệt khi yêu cầu sử dụng thiết bị

TCVN 12670-14:2020

bảo vệ cá nhân bên trong khu vực laser. Nếu khóa liên động được lắp vào lối vào, chúng có thể được nối với bộ nối khóa liên động từ xa được kết hợp trong các sản phẩm laser Cấp 3B và Cấp 4 để kết thúc phát xạ laser khi khóa liên động được kích hoạt bằng cách mở lối vào. Để thay thế, có thể sử dụng phương tiện khác sử dụng khóa liên động để kết thúc phát xạ laser (ví dụ bằng cách nối nó với nguồn cấp điện cho bộ phát laser hoặc với màn chắn chùm tia hồng một cách an toàn). Tổng hợp các loại khu vực có kiểm soát laser khác nhau liên quan đến cấp laser được cho trong Bảng 9.

Trong trường hợp cần có lối vào hoặc lối ra khỏi khu vực laser có kiểm soát hoặc được bảo vệ bằng khóa liên động trong quá trình sử dụng bộ phát laser vì lý do vận hành hợp lý nào đó thì có thể lắp cơ cấu mất hiệu lực khóa liên động. (Xem 8.3.3.4.) Hệ thống này cho phép làm quyền và có thể làm giảm hiệu quả của khu vực có kiểm soát laser bằng cách cho phép làm mất hiệu lực, mặc dù chỉ tạm thời, hệ thống bảo vệ. Do đó, trang bị làm mất hiệu lực khóa liên động không nên thực hiện không có cân nhắc cẩn thận cách thức thường được sử dụng và cách có thể bị sử dụng sai.

Nếu việc gián đoạn phát xạ laser không chấp nhận được và việc làm mất hiệu lực khóa liên động không cung cấp giải pháp thỏa đáng (ví dụ trong các ứng dụng y tế) thì một tùy chọn là sử dụng khóa cửa điện từ hồng một cách an toàn có các nút mở cửa khẩn cấp (khả năng tiếp cận được từ cả bên trong và bên ngoài khu vực có kiểm soát laser) để mở các khóa cửa nếu được tác động.

Các ký hiệu cảnh báo được chiếu sáng có thể được sử dụng phía ngoài các khu vực có kiểm soát laser để cho thấy khi bộ phát laser đang được sử dụng và khóa cửa liên động (nếu có lắp) đang hoạt động. Các ký hiệu này cần chỉ thị rõ ràng khi an toàn và khi không an toàn để vào khu vực này. (Xem A.2.5.)

Việc lắp các nút dừng khẩn cấp màu đỏ thông thường phía bên trong khu vực laser để kết thúc phát xạ laser nguy hiểm trong trường hợp khẩn cấp cần được xem xét cùng với các rủi ro khác. Có thể áp dụng các yêu cầu quốc gia cụ thể liên quan đến việc duy trì sự an toàn của nơi làm việc.

8.4.3 Quy tắc và quy trình cục bộ

Các kiểm soát hành chính cần được thực hiện dưới dạng các quy tắc và quy trình cục bộ được lập thành văn bản. Các quy tắc và quy trình này được xây dựng riêng cho tổ chức cụ thể, vị trí hoặc thiết bị liên quan, hoặc có thể dựa trên mô hình tiêu chuẩn thích hợp. Chúng cần có:

- a) bản mô tả và mục đích của thiết bị hoặc quá trình;
- b) tên và địa chỉ liên hệ của nhân viên an toàn laser và của người chịu trách nhiệm với thiết bị laser;
- c) tên của người được ủy quyền để vận hành, bảo dưỡng hoặc bảo trì thiết bị laser;
- d) các quy trình cần thực hiện đối với hoạt động, bảo dưỡng và bảo trì bộ phát laser (nếu có liên quan), và tất cả các biện pháp phòng ngừa cần tuân thủ, kể cả việc sử dụng bảo vệ cá nhân và sử dụng và bảo quản chắc chắn các chìa khóa kiểm soát laser;
- e) hành động cần tiến hành khi hồng thiết bị quy định hoặc các khẩn cấp khác;
- f) quy trình lập báo cáo tai nạn và hành động cần thực hiện khi có tai nạn đáng ngờ;

- g) chi tiết về các yêu cầu, nếu có, liên quan đến việc ủy quyền đối với các hoạt động nguy hiểm, ví dụ các quy trình để chấp thuận bảo trì (cho phép làm việc).

Các quy tắc cục bộ cần được rà soát thường xuyên để đảm bảo chúng tiếp tục phù hợp với các yêu cầu.

8.4.4 Giảm rủi ro cục bộ

8.4.4.1 Các biện pháp phòng ngừa chung

Trong tất cả các vùng có kiểm soát laser, cần tiến hành các bước để giảm rủi ro thương tích đến người được ủy quyền thực hiện công việc trong các vùng đó. Các bước này cần bao gồm:

- a) huấn luyện đầy đủ cho những người vận hành liên quan;
- b) các mức chiếu sáng đủ cho phòng;
- c) môi trường ngăn nắp và bố trí không gian làm việc gọn gàng;
- d) giữ chắc chắn các chìa khóa vận hành laser;
- e) cơ cấu gắn chắc chắn của bộ phát laser và tất cả các bộ phận dọc theo tuyến chùm tia;
- f) phương pháp an toàn để giữ thẳng hàng chùm tia;
- g) bộ khóa chùm tia ở cuối tuyến hoạt động của chùm tia laser, khi thích hợp;
- h) sử dụng bộ suy giảm chùm tia hoặc bộ khóa chùm tia lắp với các sản phẩm laser Cấp 3B và Cấp 4 để tạm thời kết thúc phát xạ chùm tia khi không yêu cầu phát xạ này trong thời gian ngắn. Khi không yêu cầu phát xạ laser trong thời gian dài hơn, cần tắt nguồn bộ phát laser;
- i) che chắn chùm tia nhiều nhất có thể;
- j) giữ chùm tia cao hơn hoặc thấp hơn mắt khi có thể;
- k) hạn chế chùm tia trong các khu vực xác định rõ ràng và nhỏ nhất có thể (ví dụ giữ chùm tia trong biên giới của bàn quang; đặt các tấm chắn ngăn sự tiếp cận của người khi chùm tia không che chắn chiếu qua sàn nhà);
- l) sử dụng các màn chắn hoặc tấm che để chứa bức xạ laser (xem IEC 60825-4 đối với hướng dẫn về việc lựa chọn vật liệu thích hợp);
- m) sử dụng danh mục kiểm tra khi thích hợp.

8.4.4.2 Phản xạ gương

Cần đặc biệt thận trọng để ngăn ngừa phản xạ gương không chủ ý của bức xạ laser. Gương, thấu kính và bộ chia chùm tia cần được lắp đặt cứng vững và chỉ chịu các dịch chuyển có kiểm soát trong khi phát laser.

TCVN 12670-14:2020

Phản xạ gương của bức xạ từ sản phẩm laser Cấp 1M và Cấp 2M từ các bề mặt có thể hội tụ chùm tia có thể gây ra nguy hiểm cho mắt không có hỗ trợ. (Phơi nhiễm trực tiếp với phát xạ từ các sản phẩm laser Cấp 1M và Cấp 2M thường không nguy hiểm đến mắt không có hỗ trợ.)

Bề mặt phản xạ xuất hiện khuếch tán trên thực tế có thể phản xạ gương một phần đáng kể chùm tia bức xạ, đặc biệt trong dải phổ hồng ngoại. Điều này có thể có nguy hiểm tiềm ẩn trong các khoảng cách dài hơn so với dự kiến đối với các phản xạ khuếch tán thuần túy (Lambertian).

Phản xạ gương nguy hiểm tiềm ẩn xảy ra ở tất cả các bề mặt của bộ phận quang có thể truyền được như thấu kính, lăng kính, cửa sổ và bộ chia chùm tia. Cần đặc biệt thận trọng khi lựa chọn các thành phần quang đối với các bộ phát laser Cấp 3B và Cấp 4 và khi giữ sạch các bề mặt của chúng.

Bức xạ nguy hiểm tiềm ẩn cũng có thể được truyền qua một số bộ phận quang như gương (ví dụ bức xạ hồng ngoại qua bộ phản xạ của bức xạ nhìn thấy được).

Nhiều bề mặt trở thành phản xạ gương tại điểm bức xạ tới.

8.4.5 Bảo vệ cá nhân

8.4.5.1 Sử dụng thiết bị bảo vệ cá nhân (PPE)

PPE (ví dụ kính mắt bảo vệ khỏi laser) cần được sử dụng, khi thích hợp, bởi các cá nhân làm việc trong các khu vực có kiểm soát laser để cung cấp bảo vệ chống các nguy hiểm laser. Tuy nhiên, bảo vệ này chỉ được sử dụng khi không thể đảm bảo bảo vệ đủ bằng các phương tiện khác, mà ưu tiên là vỏ bọc toàn bộ bức xạ laser và khi chắc chắn rằng thiết bị bảo vệ cá nhân có thể cung cấp đủ bảo vệ.

Trong trường hợp thiết bị bảo vệ cá nhân được coi là phương pháp thích hợp để giảm rủi ro, việc sử dụng chúng cần được bắt buộc và không phải là một tùy chọn của cá nhân đó. Một cách lý tưởng PPE cần được thiết kế trên cơ sở từng người, và với lý do vệ sinh, chúng cần được làm sạch hoàn hảo bằng phương pháp thích hợp trước khi sử dụng lại bởi người khác. Có thể có các yêu cầu bổ sung của quốc gia bao gồm thiết kế, quy định kỹ thuật và việc sử dụng PPE.

Các yêu cầu đặc biệt áp dụng trong Châu Âu bao gồm quy định kỹ thuật, ghi nhãn và thử nghiệm bảo vệ mắt, có sử dụng khái niệm mật độ bảo vệ (mà không phải mật độ quang), có tính đến khả năng bảo vệ chịu được bức xạ laser tới (xem EN 207 và EN 208).

8.4.5.2 Quy định bảo vệ mắt

Bảo vệ mắt có thể dưới dạng kính mắt (có khung được đỡ trên hai tai) hoặc kính bảo hộ (được giữ bằng dải băng xung quang đầu). Bảo vệ này có lắp bộ lọc quang để giảm việc truyền bức xạ laser đến mắt, và có thể được sử dụng như biện pháp bảo vệ trong vùng có kiểm soát laser. Tuy nhiên vỏ bọc toàn bộ chùm tia kết hợp với việc sử dụng hệ thống quan sát từ xa (ví dụ ti vi) cần luôn được xét đến trước tiên như biện pháp thay thế cho việc dựa vào bảo vệ mắt người.

8.4.5.2.1 Bảo vệ mắt chỉ nên sử dụng nếu đáp ứng tất cả các điều kiện sau.

- a) Có rủi ro thương tích đáng kể do phơi nhiễm ngẫu nhiên của mắt với các mức bức xạ laser cao hơn MPE.
- b) Không có rủi ro nghiêm trọng đồng thời nào về thương tích da do phơi nhiễm laser (nhưng xem 8.4.5.3). Rủi ro này có nhiều khả năng tồn tại khi có thể cần các mức mật độ lọc cao để bảo vệ mắt.
- c) Không có khả năng đảm bảo bảo vệ đủ bằng cách sử dụng kiểm soát kỹ thuật và/hoặc kiểm soát hành chính.
- d) Kính mắt bảo vệ có quy định kỹ thuật về tính năng cần thiết liên quan đến:
 - 1) giảm phơi nhiễm laser lớn nhất dự đoán được một cách hợp lý xuống đến các mức an toàn,
 - 2) khả năng kính mắt chịu được phơi nhiễm laser lớn nhất dự đoán được một cách hợp lý đủ dài để thực hiện các hành động khắc phục nhằm kết thúc phơi nhiễm, và
 - 3) khả năng người sử dụng kính mắt không bị khó chịu và không bị suy giảm thị lực đáng kể.

8.4.5.2.2 Khi chọn kính mắt thích hợp cần xét đến các điều sau:

- a) bước sóng hoạt động. Kính mắt laser sử dụng vật liệu bộ lọc để cung cấp bảo vệ trong các dải bước sóng xác định nhất định. Sử dụng kính mắt không đúng sẽ luôn có nghĩa là không cung cấp đủ bảo vệ;
- b) phơi nhiễm hiệu quả trường hợp xấu nhất dự đoán được một cách hợp lý (được xác định theo Điều 3) được thể hiện bằng độ rọi tới ($W \cdot m^{-2}$) hoặc phơi nhiễm bức xạ tới ($J \cdot m^{-2}$).
- c) giá trị áp dụng được của MPE đối với mắt (được xác định theo Điều 4), và được quy định theo cùng đơn vị với phơi nhiễm hiệu quả;
- d) phơi nhiễm thực tế và đường kính chùm tia (các tham số này cho phép thiết lập khả năng của kính mắt chịu được bức xạ laser tới);
- e) mật độ quang D_λ của kính mắt ở bước sóng laser. Mật độ quang cần đủ để giảm bức xạ truyền xuống thấp hơn MPE áp dụng cho thời gian phơi nhiễm lớn nhất dự đoán được một cách hợp lý. Giá trị D_λ cần thiết để đạt được mức bảo vệ mắt tối thiểu có thể được tính từ công thức:

$$D_\lambda = \log_{10} [(phơi\ nhiễm\ lớn\ nhất\ dự\ đoán\ được\ một\ cách\ hợp\ lý)/(MPE)]$$

8.4.5.2.3 Các yếu tố quan trọng khác gồm:

- a) truyền ánh sáng nhìn thấy và khả năng nhìn ánh sáng cảnh báo hoặc các chỉ thị khác qua bộ lọc;
- b) thiết kế chung, sự thoải mái, thông khí, tầm nhìn ngoại biên và phương tiện để hiệu chỉnh kính (bằng các thiết bị bảo vệ kiểu kính bảo hộ lắp bên ngoài kính thông thường hoặc kính bảo vệ có lắp hiệu chỉnh quang của riêng từng người sử dụng);
- c) giảm chất lượng hoặc thay đổi vật liệu hấp thụ của bộ lọc, kể cả độ trong suốt cảm ứng bức xạ;
- d) độ bền cơ của vật liệu và khả năng chịu xóc;
- e) yêu cầu hoặc quy định kỹ thuật liên quan bất kỳ của quốc gia.

8.4.5.2.4 Kính mắt cần được ghi nhãn vĩnh viễn để chỉ thị:

TCVN 12670-14:2020

a) bước sóng hoạt động;

b) mật độ quang tại bước sóng hoạt động.

8.4.5.2.5 Các xem xét kính mắt khác có thể gồm:

a) Cần biết giới hạn bất kỳ về mức phơi nhiễm laser lớn nhất mà kính mắt cần chịu được (do xác suất hư hại đến vật liệu lọc ở các mức phơi nhiễm cao).

b) Trong trường hợp sử dụng các loại kính bảo vệ khác nhau thì có thể hữu ích khi sử dụng mã màu hoặc phương tiện khác để kết nối từng cặp kính với laser cụ thể của nó.

c) Đối với công việc với phát xạ laser nhìn thấy, đôi khi có thể có khả năng nhìn thấy chùm tia laser để gióng thẳng hàng hoặc vì lý do hoạt động khác. Trong trường hợp này, bộ lọc bảo vệ mắt cần được quy định trên cơ sở giảm phơi nhiễm ngẫu nhiên đến mức tương đương với Cấp 2, trong đó bảo vệ được tạo ra bởi phản ứng khó chịu tự nhiên. Điều này được thực hiện bằng cách sử dụng góc thời gian 0,25 s để xác định MPE trong công thức cho trên đây đối với D_{λ} .

d) Kính mắt bảo vệ được thiết kế để bảo vệ chống phơi nhiễm ngẫu nhiên với bức xạ laser. Không nên sử dụng kính mắt để bảo vệ chống phơi nhiễm có chủ ý hoặc quan sát chùm tia laser một cách có chủ ý. Kính mắt bảo vệ cần được kiểm tra định kỳ dấu hiệu mòn hoặc hỏng. Ngày kiểm tra cần được ghi lại và thay kính mắt nếu cần. Kính mắt bảo vệ cũng cần được xem xét sự phù hợp trên từng trường hợp trước khi sử dụng.

e) Ở các mức công suất tới hoặc năng lượng tới cao, việc hấp thụ bức xạ tới trong vật liệu lọc có thể gây ra ứng suất nghiêm trọng và hỏng đột ngột bộ lọc. Vì lý do này, cần thay các kính mắt bảo vệ nào đã chịu một phơi nhiễm ngẫu nhiên ở mức phơi nhiễm cao.

8.4.5.3 Quần áo bảo hộ

Trong một số trường hợp có thể cần cung cấp quần áo bảo hộ để làm việc trong các khu vực có kiểm soát laser. Quần áo bảo hộ này thường chỉ ở dạng mặt nạ hoặc găng tay, nhưng đôi khi cũng có thể yêu cầu sử dụng bảo vệ toàn thân.

Bảo vệ này cần được xem xét bất cứ khi nào việc đánh giá rủi ro cho thấy rằng tồn tại rủi ro nguy hại nghiêm trọng (ngoài nguy hiểm cho mắt) (xem Điều 7), mặc dù trong các trường hợp này, vỏ bọc hoàn toàn khỏi nguy hiểm luôn là giải pháp ưu tiên.

8.5 Bảo trì thiết bị

8.5.1 Tăng rủi ro trong quá trình bảo trì thiết bị laser

Các sản phẩm laser được phân loại trên cơ sở mức bức xạ laser tiếp cận được trong khi hoạt động. Mặt khác, bảo dưỡng và bảo trì có thể đòi hỏi tháo các nắp bảo vệ, làm mất hiệu lực các đặc trưng bảo vệ của sản phẩm và/hoặc thay đổi đáng kể đến vận hành của sản phẩm laser, do đó làm tăng rủi ro thương

tích. Cũng có thể có các nguy hiểm bổ sung (ví dụ về điện). Bảo trì và bảo dưỡng có thể đòi hỏi mức huấn luyện về an toàn cao hơn so với vận hành bình thường.

Trước khi tiến hành bảo trì, cần thực hiện đánh giá rủi ro riêng. Bảo trì bao gồm hoạt động điều chỉnh sự thẳng hàng của chùm tia và các hoạt động khác, và làm tăng mạnh khả năng tạo ra các chùm tia laser không đúng tiêu chuẩn (tức là các chùm tia chiếu theo các hướng không mong muốn). Để thực hiện bảo trì theo cách an toàn thường cần tạo một khu vực có kiểm soát laser tạm thời xung quanh thiết bị laser (xem dưới đây), và thực hiện các quy trình và biện pháp bảo vệ (ví dụ phương pháp có tính hệ thống để giống thẳng hàng chùm tia) thích hợp với mức rủi ro tăng. Khi có yêu cầu, nhà chế tạo cần cung cấp hướng dẫn về quy trình an toàn trong bảo trì.

8.5.2 Khu vực có kiểm soát laser tạm thời

Khu vực có kiểm soát laser tạm thời cần được thiết lập khi các điều kiện cho phép người tiếp cận với các nguy hiểm bức xạ laser được tạo ra tạm thời (ví dụ trong quá trình bảo trì) và khi người không được ủy quyền, không nhận thức được sự nguy hiểm của laser và/hoặc không được huấn luyện hoặc giám sát thích hợp trong các quy trình an toàn cần thiết có thể có.

Hướng dẫn về các khu vực có kiểm soát tạm thời giống như các khu vực có kiểm soát laser chung (xem 8.4.2). Mặc dù yêu cầu bình thường đối với kiểm soát kỹ thuật của việc tiếp cận có thể khó đạt được, thì các kiểm soát hành chính có thể làm tăng hiệu quả khi việc hạn chế tiếp cận chỉ là tạm thời. Nếu việc tiếp cận an toàn đến khu vực này không bị kiểm soát bởi các phương tiện kỹ thuật thì cần có những cảnh báo tạm thời hoặc biển hiệu cấm vào ở các điểm đi vào khu vực đó. Trong một số trường hợp nhất định, cần có thêm người khác để thực hiện việc cấm tiếp cận tạm thời.

8.5.3 Kiểm soát trong quá trình bảo trì

Để thiết lập các biện pháp kiểm soát trong quá trình bảo trì thiết bị, khi tăng rủi ro thương tích do bức xạ laser, cần xét đến các điểm dưới đây:

- a) giảm mức phát xạ đến mức lớn nhất cần thiết;
- b) giới hạn phạm vi di chuyển của các thành phần lái chùm tia để giảm độ không đảm bảo của vị trí chùm tia trong quá trình giống thẳng hàng;
- c) đầu tiên kiểm tra sự giống thẳng hàng chùm tia sát với bộ phát laser rồi sau đó dịch ra xa dần để giảm thiểu độ không đảm bảo của vị trí chùm tia;
- d) đặt bộ khóa chùm tia diện tích lớn phía sau các màn chắn đích trong quá trình giống thẳng hàng chùm tia để chặn chùm tia khi nó không đi trúng đích;
- e) cung cấp hỗ trợ giống thẳng hàng chùm tia (ví dụ máy ảnh, màn chắn nhạy huỳnh quang hoặc nhiệt và người quan sát). Thiết bị hỗ trợ này cũng được sử dụng trong trường hợp các chùm tia laser nhìn thấy khi có mong muốn bỏ kính mắt bảo vệ để nhìn chùm tia rõ hơn;
- f) cung cấp kính mắt an toàn laser phù hợp, thích hợp cho việc sử dụng lâu dài, khi không dễ thực hiện việc bảo vệ đủ bằng các phương tiện khác;

TCVN 12670-14:2020

- g) cung cấp phương tiện kỹ thuật để truyền sự điều khiển chùm tia laser (ví dụ thiết bị giữ-đề-đốt cầm tay) trong trường hợp hai hoặc nhiều người cùng tham gia bảo trì, cụ thể khi người ở xa bộ phát laser có thể gọi cho người khác kích hoạt bộ phát;
- h) sử dụng lớp phủ không phản xạ hoặc các bề mặt phản xạ khuếch tán trên dụng cụ và yêu cầu tháo hoặc che phủ đồ trang sức, đồng hồ, v.v. trong khu vực có kiểm soát, để giảm thiểu tán xạ.

8.5.4 Kỹ sư bảo trì bên ngoài

Nếu đại lý bên ngoài (ví dụ nhà cung cấp thiết bị laser) liên kết để thực hiện bảo trì thiết bị laser thì cần có quy trình cho phép làm việc để chuyển giao thiết bị cho kỹ sư bảo trì và nhận trở lại đã được phục hồi hoàn toàn cho hoạt động bình thường khi công việc được hoàn thành. Cần sử dụng quy trình bằng văn bản để có được điều này. Kiểm tra việc phục hồi khóa liên động an toàn nên là một phần của việc trả thiết bị về cho người sử dụng.

Đánh giá rủi ro của hoạt động bảo trì là cần thiết ngay cả khi kỹ sư bảo trì hoàn toàn kiểm soát công việc. Trách nhiệm thiết lập khu vực có kiểm soát laser tạm thời trước khi bắt đầu các hoạt động bảo trì, nếu có yêu cầu khu vực như vậy, có thể được xác định bằng hợp đồng. Nếu không có hợp đồng này thì người sử dụng bộ phát laser có trách nhiệm đảm bảo các kiểm soát bảo trì cần thiết được đặt đúng chỗ.

9 Duy trì hoạt động an toàn

Cần thực hiện theo dõi thường xuyên khu vực làm việc có laser và ghi lại các theo dõi này, để đảm bảo rằng các quy trình kiểm soát được thực hiện vẫn hiệu quả và các điều kiện để có được rủi ro chấp nhận được vẫn được đáp ứng. Các quy trình bảo vệ cần được sửa đổi khi cần để đảm bảo việc sử dụng vẫn an toàn. Các kết quả nghiên cứu về các tai nạn liên quan đến an toàn và các tai nạn nghi ngờ (xem Điều 10) cần được sử dụng để đánh giá lại hiệu quả và tính thích hợp của các quy trình kiểm soát.

Các trường hợp có thể cho thấy nhu cầu cấp thiết phải đánh giá lại rủi ro và rà soát các quy trình bảo vệ và kiểm soát bao gồm:

- a) sửa đổi hoặc đặt lại hoặc thay thiết bị laser;
- b) thay đổi điều kiện sử dụng;
- c) thay đổi môi trường sử dụng thiết bị laser;
- d) thay đổi người vận hành có thể tiếp cận thiết bị laser hoặc người có thể phơi nhiễm với các nguy hiểm laser;
- e) chỉ thị về việc mất phù hợp bất kỳ với các quy trình an toàn.

10 Báo cáo tai nạn và nghiên cứu tai nạn

Trường hợp có phơi nhiễm nguy hiểm thực hoặc nghi ngờ với bức xạ laser hoặc nguy hiểm laser khác (tai nạn) hoặc hỏng có thể có các biện pháp bảo vệ có thể dẫn đến tai nạn thì cần dừng phát xạ laser ngay lập tức. Tai nạn cần được báo cáo với quản lý thiết bị khi xảy ra.

Khi tai nạn xảy ra hoặc nghi ngờ có xảy ra thì cần kiểm tra y tế nếu cần. Trong trường hợp thương tích rõ ràng hoặc nghi ngờ đến mắt, cần tiến hành kiểm tra y tế bởi bác sỹ nhãn khoa đủ trình độ trong vòng 24 h. Sẽ hữu ích khi có bản tổng hợp các đặc tính của chùm tia laser đi kèm vụ tai nạn và hỗ trợ cho bác sỹ nhãn khoa. Trong tất cả các trường hợp khi có nghi ngờ phơi nhiễm nguy hiểm, cần tiến hành nghiên cứu để xác định chắc chắn các trường hợp xung quanh tai nạn và độ lớn có thể có của phơi nhiễm, và kết luận của nghiên cứu này cần được ghi thành biên bản. Trong trường hợp tai nạn, cần xác định nguyên nhân dẫn đến hỏng hóc có thể có và cần đưa ra những thay đổi cần thiết đến hệ thống kiểm soát bảo vệ trước khi sử dụng lại bộ phát laser.

11 Theo dõi y tế

Việc tiến hành kiểm tra mắt thường xuyên cho người lao động làm việc với thiết bị laser không có giá trị như một phần của chương trình theo dõi sức khỏe. Kiểm tra mắt đôi khi được tiến hành vì những lý do khác (ví dụ y tế-pháp lý). Một số quy trình nghiên cứu được sử dụng bản thân chúng cũng nguy hiểm, và do đó chỉ được tiến hành khi có tham vấn về y tế và không được sử dụng cho việc sàng lọc thường xuyên.

Bảng 5 – Phơi nhiễm lớn nhất cho phép (MPE) tại giác mạc đối với phơi nhiễm trực tiếp với bức xạ laser

Bước sóng λ (nm)	Thời gian phơi nhiễm t (s)											
	10^{-13} đến 10^{-11}	10^{-11} đến 10^{-9}	10^{-9} đến 10^{-7}	10^{-7} đến $1,8 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-5}$ đến 5×10^{-5}	5×10^{-5} đến 1×10^{-3}	1×10^{-5} đến 10	10 đến 10^2	10^2 đến 10^4	10^3 đến 3×10^4		
180 đến 302,5	$30 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$											
302,5 đến 315	$3 \times 10^{10} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$		$(t \leq T_1)$ $C_1 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$				$C_2 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ $(t > T_1)$		$C_2 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$			
315 đến 400							$C_1 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$				$10^4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	
400 đến 450 ^a	$1,5 \times 10^{-4} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$		$2,7 \times 10^4 t^{0,75} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$		$5 \times 10^{-3} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$		$18 t^{0,75} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$		$100 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$			
450 đến 500 ^a									$100 C_3 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ và ^b $10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$		$C_3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	
500 đến 700 ^a									$10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$			
700 đến 1 050 ^a	$1,5 \times 10^{-4} C_4 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$2,7 \times 10^4 t^{0,75} C_4 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$5 \times 10^{-3} C_4 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$		$18 t^{0,75} C_4 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$		$10 C_4 C_7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$					
1 050 đến 1 400 ^a	$1,5 \times 10^{-3} C_7 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$2,7 \times 10^5 t^{0,75} C_7 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$5 \times 10^{-2} C_7 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$		$90 t^{0,75} C_7 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$							
1 400 đến 1 500	$10^{12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$		$10^3 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$			$5 600 t^{0,25} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$		$1 000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$				
1 500 đến 1 800	$10^{13} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$		$10^4 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$			$5 600 t^{0,25} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$						
1 800 đến 2 600	$10^{12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$		$10^3 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$			$5 600 t^{0,25} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$						
2 600 đến 10^6	$10^{11} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$		$100 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$5 600 t^{0,25} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$								

CHÚ THÍCH 1: Đối với các hệ số hiệu chỉnh và đơn vị, xem Bảng 8.

CHÚ THÍCH 2: Đối với thời gian phơi nhiễm nhỏ hơn 10^{-9} s và đối với các bước sóng nhỏ hơn 400 nm và lớn hơn 1 400 nm, các MPE có được bằng cách tính độ rọi tương đương từ các giới hạn phơi nhiễm bức xạ ở 10^{-9} s. Đối với khoảng thời gian phát xạ nhỏ hơn 10^{-13} ở tất cả các bước sóng, MPE được đặt bằng các giá trị độ rọi tương đương của MPE tại 10^{-13} s.

^a MPE cho trong bảng này đối với dải bước sóng từ 400 đến 1 400 nm (vùng nguy hiểm võng mạc) áp dụng cho các kích cỡ nguồn biểu kiến không lớn hơn 1,5 mrad. (Điều này đề cập đến quan sát trực tiếp hầu hết các nguồn laser đơn.) Các giới hạn tăng áp dụng cho các nguồn lớn (ví dụ một số nguồn nhất định hoặc phản xạ khuếch tán) được cho trong Bảng 6.

^b Trong dải bước sóng từ 450 nm đến 500 nm, áp dụng giới hạn kép cho khoảng thời gian phơi nhiễm từ 10 đến 100 s và giới hạn phơi nhiễm không được vượt quá một trong hai giới hạn áp dụng.

**Bảng 6 – Phơi nhiễm lớn nhất cho phép (MPE) tại giác mạc
đối với phơi nhiễm trực tiếp với bức xạ laser từ các nguồn bên ngoài
trong dải bước sóng từ 400 nm đến 1 400 nm (vùng nguy hiểm võng mạc)**

Bước sóng λ (nm)	Thời gian phơi nhiễm t (s)							
	10 ⁻¹³ đến 10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹ đến 10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ đến 1,8 × 10 ⁻⁵	1,8 × 10 ⁻⁵ đến 5 × 10 ⁻⁵	5 × 10 ⁻⁵ đến 10	10 đến 10 ²	10 ² đến 10 ⁴	10 ³ đến 3 × 10 ⁴
400 đến 700 ^a	1,5 × 10 ⁻⁴ C ₆ J·m ⁻²	2,7 × 10 ⁴ t ^{0,75} C ₆ J·m ⁻²	5 × 10 ⁻³ C ₆ J·m ⁻²	18 t ^{0,75} C ₆ J·m ⁻²	400 đến 600 nm ^a	Nguy hiểm quang hóa võng mạc		
						100 C ₃ J·m ⁻² sử dụng $\gamma_p = 11$ mrad	1 C ₃ W·m ⁻² sử dụng $\gamma_p = 1,1$ t ^{0,5} mrad	1 C ₃ W·m ⁻² sử dụng $\gamma_p = 110$ mrad
						VÀ		
					400 đến 700 nm ^a	Nguy hiểm nhiệt võng mạc		
						(t ≤ T ₂) 18 t ^{0,75} C ₆ J·m ⁻²	18 C ₆ T ₂ ^{-0,25} W·m ⁻² (t > T ₂)	
700 đến 1 050	1,5 × 10 ⁻⁴ C ₄ C ₆ J·m ⁻²	2,7 × 10 ⁴ t ^{0,75} C ₄ C ₆ J·m ⁻²	5 × 10 ⁻³ C ₄ C ₆ J·m ⁻²	18 t ^{0,75} C ₄ C ₆ J·m ⁻²		18 C ₄ C ₆ C ₇ T ₂ ^{-0,25} W·m ⁻² (t > T ₂)		
1 050 đến 1 400	1,5 × 10 ⁻³ C ₆ C ₇ J·m ⁻²	2,7 × 10 ⁴ t ^{0,75} C ₆ C ₇ J·m ⁻²	5 × 10 ⁻² C ₆ C ₇ J·m ⁻²	90 t ^{0,75} C ₆ C ₇ J·m ⁻²	(t ≤ T ₂) 18 t ^{0,75} C ₄ C ₆ C ₇ J·m ⁻²			

CHÚ THÍCH 1: Đối với các hệ số hiệu chỉnh và đơn vị, xem Bảng 8.
CHÚ THÍCH 2: Góc γ_p là góc chấp nhận giới hạn đối với thiết bị đo.

^a Trong dải bước sóng từ 400 nm đến 600 nm, áp dụng giới hạn kép và phơi nhiễm không được vượt quá một trong hai giới hạn áp dụng. Thông thường các giới hạn nguy hiểm quang hóa chỉ áp dụng đối với các khoảng thời gian phơi nhiễm lớn hơn 10 s; tuy nhiên, đối với các bước sóng trong khoảng từ 400 nm đến 484 nm và đối với các kích cỡ nguồn biểu kiến lớn hơn 1,5 mrad đến 82 mrad, phải áp dụng giới hạn nguy hiểm quang hóa bằng 100 C₃ J·m⁻² đối với các phơi nhiễm lớn hơn hoặc bằng 1 s.

Bảng 7 – Phơi nhiễm lớn nhất cho phép (MPE) của da với bức xạ laser

Bước sóng λ (nm)	Thời gian phơi nhiễm t (s)					
	$< 10^{-9}$	10^{-9} đến 10^{-7}	10^{-7} đến 10^{-3}	10^{-3} đến 10	10 đến 10^3	10^3 đến 3×10^4
180 đến 302,5	$3 \times 10^{10} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$30 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$				
302,5 đến 315		$C_1 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ ($t \leq T_1$)	$C_2 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ ($t > T_1$)			$C_2 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$
315 đến 400		$C_1 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$			$10^4 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
400 đến 700	$2 \times 10^{11} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$200 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$		$1,1 \times 10^4 t^{0,25} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$2\,000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	
700 đến 1 400	$2 \times 10^{11} \text{ C}_4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$200 \text{ C}_4 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$		$1,1 \times 10^4 \text{ C}_4 t^{0,25} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$2\,000 \text{ C}_4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	
1 400 đến 1 500	$10^{12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$10^3 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$		$5\,000 t^{0,25} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$1\,000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \text{ }^a$	
1 500 đến 1 800	$10^{13} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$10^4 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$				
1 800 đến 2 600	$10^{12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$10^3 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$		$5\,000 t^{0,25} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$		
2 600 đến 10^6	$10^{11} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$100 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$5\,000 t^{0,25} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$			

CHÚ THÍCH 1: Đối với các hệ số hiệu chỉnh và đơn vị, xem Bảng 8.

CHÚ THÍCH 2: Không có nhiều bằng chứng về các ảnh hưởng đối với các phơi nhiễm nhỏ hơn 10^{-9} s. MPE đối với các khoảng thời gian phơi nhiễm này được suy ra bằng cách duy trì độ rọi đặt vào ở 10^{-9} s.

^a Đối với các vùng da bị phơi nhiễm lớn hơn $0,1 \text{ m}^2$, MPE được giảm còn $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Đối với các vùng da bị phơi nhiễm từ $0,01 \text{ m}^2$ đến $0,1 \text{ m}^2$, MPE thay đổi tỷ lệ nghịch với vùng da bị chiếu rọi.

Bảng 8 – Hệ số hiệu chỉnh đối với MPE

Tham số	Vùng phổ nm
$C_1 = 5,6 \times 10^3 t^{0,25}$	302,5 đến 400
$T_1 = 10^{0,8(\lambda - 295)} \times 10^{-15}$ s	302,5 đến 315
$C_2 = 10^{0,2(\lambda - 295)}$	302,5 đến 315
$T_2 = 10 \times 10^{[(\alpha - \alpha_{\min})^{98,5}]}$ s ^a	400 đến 1 400
$C_3 = 1,0$	400 đến 450
$C_3 = 10^{0,02(\lambda - 450)}$	450 đến 600
$C_4 = 10^{0,002(\lambda - 700)}$	700 đến 1 050
$C_4 = 5$	1 050 đến 1 400
$C_5 = N^{-1/4}$ ^b	400 đến 10^6
$C_6 = 1$ đối với $\alpha \leq \alpha_{\min}$ ^c	400 đến 1 400
$C_6 = \alpha/\alpha_{\min}$ đối với $\alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max}$ ^c	400 đến 1 400
$C_6 = \alpha_{\max}/\alpha_{\min} = 66,7$ đối với $\alpha > \alpha_{\max}$ ^{c,d}	400 đến 1 400
$C_7 = 1$	700 đến 1 150
$C_7 = 10^{0,018(\lambda - 1150)}$	1 150 đến 1 200
$C_7 = 8$	1 200 đến 1 400

^a $T_2 = 10$ s đối với $\alpha < 1,5$ mrad và $T_2 = 100$ s đối với $\alpha > 100$ mrad.

^b C_5 chỉ áp dụng cho các khoảng thời gian xung nhỏ hơn 0,25 s.

^c C_6 chỉ áp dụng đối với các bộ phát laser dạng xung và bộ phát laser CW nơi thương tích về nhiệt chiếm ưu thế.

^d Góc giới hạn chấp nhận γ phải bằng α_{\max}

$\alpha_{\min} = 1,5$ mrad

$\alpha_{\max} = 100$ mrad

N là số lượng xung nằm trong khoảng thời gian áp dụng (xem 5.2).

CHÚ THÍCH 1: Chỉ có bằng chứng hạn chế về những ảnh hưởng đối với các phơi nhiễm nhỏ hơn 10^{-9} s đối với các bước sóng nhỏ hơn 400 nm và lớn hơn 1 400 nm.

CHÚ THÍCH 2: Hệ số hiệu chỉnh C_1 đến C_7 và các điểm gãy T_1 và T_2 được sử dụng trong Bảng 5 đến Bảng 7 được xác định theo các công thức cho trong bảng này.

CHÚ THÍCH 3: Xem Bảng 2 đối với các lỗ mở giới hạn.

CHÚ THÍCH 4: Trong các công thức ở Bảng 5 đến Bảng 7 và trong các chú thích này, bước sóng được tính bằng nanomét, khoảng thời gian phát xạ t được tính bằng giây và α được tính bằng mili radian.

Bảng 9 – Khu vực kiểm soát laser

Cấp laser	Bản chất của nguy hiểm	Ví dụ về khu vực có kiểm soát	Các biện pháp kiểm soát bảo vệ
Cấp 1 Cấp 2	Tối thiểu (Các bộ phát lắp trong có thể có các nguy hiểm kết hợp.)	Không hạn chế. tức là không yêu cầu khu vực laser quy định	Tuân thủ cảnh báo trên nhãn và hướng dẫn của nhà chế tạo về sử dụng an toàn.
Chùm tia phân kỳ cấp 1M Chùm tia phân kỳ cấp 2M (tức là các sản phẩm Cấp 1 hoặc Cấp 2 bị hỏng trong Điều kiện 2)	Nguy hiểm mắt cục bộ nếu sử dụng các thiết bị quan sát quang như kính lúp.	Cục bộ Có thể là khu vực mở nếu có kiểm soát theo quy trình hiệu quả trong vùng bao xung quanh bộ phát laser	Nên có huấn luyện. Tránh sử dụng kính lúp và kính phóng đại khác gần bộ phát laser. Tránh hội tụ lại hoặc chuẩn trực chùm tia.
Chùm tia chuẩn trực cấp 1M Chùm tia chuẩn trực cấp 2M (tức là các sản phẩm Cấp 1 hoặc Cấp 2 bị hỏng trong Điều kiện 1)	Nguy hiểm mắt trong phạm vi dài nếu sử dụng các thiết bị quan sát quang như ống nhòm hoặc kính viễn vọng.	Khu vực được bao kín hoặc khu vực mở Tiếp cận với ENOHA cần được kiểm soát bằng phương tiện theo quy trình, tức là bằng cách sử dụng các biển hiệu, hướng dẫn và huấn luyện. Trong trường hợp khu vực mở, tiếp cận của công chúng đến ENOHA phải được ngăn ngừa	Phải có huấn luyện LSO được khuyến cáo. Tránh sử dụng ống nhòm và kính viễn vọng. Tránh hội tụ lại chùm tia
Cấp 3R	Nguy hiểm mắt mức thấp	Không hạn chế tức là an toàn phụ thuộc vào sử dụng có trách nhiệm	Nên có huấn luyện. Tránh phơi nhiễm mắt trực tiếp
Cấp 3B	Nguy hiểm mắt Nguy hiểm da có thể có ở các mức cao hơn của cấp	Khu vực bao kín và được bảo vệ bằng khóa liên động tức là việc tiếp cận được kiểm soát bằng phương tiện kỹ thuật	Phải có huấn luyện và LSO. Đảm bảo an ninh bằng chìa khóa. Bao kín chùm tia tốt nhất có thể, sử dụng vỏ bọc toàn bộ nếu khả thi. Sử dụng hệ thống an toàn công việc. Sử dụng PPE nếu không thể tránh rủi ro phơi nhiễm
Cấp 4	Nguy hiểm mắt và da Nguy hiểm cháy và khói có thể có	Khu vực bao kín và được bảo vệ bằng khóa liên động tức là việc tiếp cận được kiểm soát bằng phương tiện kỹ thuật	Phải có huấn luyện và LSO. Đảm bảo an ninh bằng chìa khóa. Bao kín chùm tia tốt nhất có thể, sử dụng vỏ bọc toàn bộ nếu khả thi. Sử dụng hệ thống an toàn công việc. Sử dụng PPE nếu không thể tránh rủi ro phơi nhiễm Bảo vệ chống các nguy hiểm kết hợp (ví dụ cháy, khói).

CHÚ THÍCH: Bảng này đề cập đến vận hành bình thường của bộ phát laser (tức là không tính đến bảo dưỡng hoặc bảo trì) và chỉ nhằm làm hướng dẫn cho các khu vực có kiểm soát laser. Đánh giá rủi ro có thể chỉ ra rằng các bộ phát laser có cấp cho trước cần được đặt trong loại khu vực có kiểm soát cao hơn hoặc thấp hơn, hoặc cần hệ thống kiểm soát bảo vệ khác nhau đủ để giảm rủi ro.

Phụ lục A

(tham khảo)

Ví dụ về hệ thống khóa liên động đối với khu vực có kiểm soát laser

CHÚ THÍCH: Phụ lục này cung cấp thông tin về các khả năng sẵn có đối với kiểm soát kỹ thuật của nguy hiểm laser bằng cách sử dụng các hệ thống khóa liên động. Phụ lục này được thiết kế cho những người có thể không quen với việc sử dụng các kiểm soát này nhưng không loại trừ việc sử dụng các giải pháp thay thế có thể có mức bảo vệ thỏa đáng trong các trường hợp cho trước. Các loại trang thiết bị được mô tả ở phụ lục này chỉ nhằm minh họa; không phải tất cả đều cần thiết đối với một hệ thống lắp đặt cho trước.

A.1 Giới thiệu

Hệ thống khóa liên động có thể được sử dụng để kết thúc phát xạ laser bất cứ khi nào cửa tạo ra sự tiếp cận vào khu vực có kiểm soát laser được mở ra.

Có nhiều cách để cấu hình hệ thống khóa liên động, tùy thuộc vào các yêu cầu cụ thể, nhưng chúng được chia thành hai loại chính; khóa và không khóa. Các loại này được thể hiện trên Hình A.1 đến Hình A.3. Không phải tất cả các thành phần đều cần thiết, mà chúng được thể hiện trên các hình này cho đầy đủ.

A.2 Các thành phần chung

A.2.1 Hệ thống kiểm soát khóa liên động

Hệ thống kiểm soát khóa liên động nên có thiết kế hồng một cách an toàn sao cho nó duy trì được chức năng bảo vệ trong trường hợp hỏng bộ phận hợp thành. (Ví dụ hỏng bộ phận hợp thành là tiếp điểm rơ le bị dính.) Hệ thống cũng nên có nút bấm đặt lại sao cho một khi khóa liên động tác động (do mở cửa), cần một hành động có chủ ý để khởi động lại phát xạ laser (mà không chỉ đơn giản chỉ là đóng cửa lại). Tuy nhiên, lưu ý là bộ nổi khóa liên động từ xa quy định trong TCVN 12670-1 (IEC 60825-1) đối với tất cả các sản phẩm laser Cấp 3B và Cấp 4 có thể được sử dụng để liên kết các thiết bị đóng cắt của cửa, không yêu cầu phải có cơ chế đặt lại và vì vậy khuyến cáo người sử dụng tự cân nhắc việc lắp đặt chúng cho riêng mình.

A.2.2 Thiết bị đóng cắt khóa liên động của cửa

Thiết bị đóng cắt cơ khí thường là đơn giản nhất. Chúng cần có thiết kế "cắt đứt khoát" (tức là các tiếp điểm bật xa ra khỏi nhau bằng hành động mở cửa) để tránh các tiếp điểm bị dính. Các thiết bị đóng cắt từ hoặc cảm ứng vị trí khác thông thường sẽ hữu ích trên các cửa kiểu trượt hoặc khi yêu cầu mức vệ sinh cao. Các thiết bị đóng cắt này cần được mã hóa (tức là hai phần được thiết kế để tác động như một cặp duy nhất) để tránh bị làm mất hiệu lực vô ý và cần có thiết kế để loại bỏ khả năng dính tiếp điểm.

TCVN 12670-14:2020

A.2.3 Thiết bị đóng cắt làm mất hiệu lực

Chỉ được lắp đặt trang thiết bị dùng để làm mất hiệu lực khóa liên động, cho phép làm mất hiệu lực tạm thời của việc bảo vệ bằng khóa liên động bởi người được ủy quyền, nếu đánh giá được việc sử dụng và không ảnh hưởng đến an toàn (xem 8.4.2). Cũng cần thiết phải đảm bảo rằng phát xạ laser không thể xuyên qua lối cửa đang mở trong khi đang làm mất hiệu lực.

Trong trường hợp sử dụng hệ thống làm mất hiệu lực, thiết bị đóng cắt không chắc chắn, ví dụ kiểu nút ấn, thường thích hợp để sử dụng bên trong phòng. Nếu thiết bị đóng cắt làm mất hiệu lực cũng được đặt bên ngoài phòng (sẽ là cần thiết nếu phòng có thể không cần có người trong khi bộ phát laser đang hoạt động), thì cần sử dụng chìa khóa hoặc thẻ được mã hóa để kiểm soát sự tiếp cận. Bản thân việc làm mất hiệu lực cần được thiết kế hồng một cách an toàn, có thời gian giới hạn và độc lập với thiết bị đóng cắt sao cho nó không thể duy trì việc sử dụng liên tục ngay cả khi thiết bị đóng cắt làm mất hiệu lực đang ở vị trí "on".

A.2.4 Màn chắn

Trường hợp sử dụng màn chắn chùm tia để kết thúc phát xạ laser mà không cắt nguồn cấp, nó cần có thiết kế hồng một cách an toàn sao cho nó sẽ luôn duy trì ở vị trí đóng khi nguồn cấp của màn chắn bị cắt, và cũng phải có khả năng chịu được chùm tia laser tới mà không bị hỏng.

A.2.5 Biển hiệu cảnh báo được chiếu sáng

Đây có thể là kiểm soát hành chính có ích, đặc biệt khi kiểu hệ thống không khóa đang được sử dụng, giúp tránh việc ngắt phát xạ laser không cần thiết. Để thực hiện việc này một cách hiệu quả, biển hiệu phải được nối thích hợp sao cho chỉ hiện thị "on" khi bộ phát laser đang hoạt động. Biển hiệu được chiếu sáng thao tác bằng tay không phải lúc nào cũng đáp ứng yêu cầu này.

A.2.6 Hệ thống khóa liên động không khóa (xem Hình A.2)

Đây là những loại hệ thống khóa liên động phổ biến nhất. Chúng thực hiện chức năng an toàn bằng cách cắt phát xạ laser khi có ai đó mở cửa, và chúng cần được thiết kế để ngăn khởi động lại cho đến khi các cánh cửa được đóng lại. Có thể sử dụng chức năng làm mất hiệu lực để cho phép người được ủy quyền đi vào và đi ra khỏi vùng nguy hiểm mà không làm ngắt laser (nhưng xem A.2.3), trong khi có thể sử dụng các biển hiệu cảnh báo được chiếu sáng để chỉ thị trạng thái của bộ phát laser ở tất cả các cửa tiếp cận. Một phương pháp để kết thúc phát xạ laser là ngắt nguồn cấp điện, mặc dù đây có thể có ảnh hưởng đến tính năng của bộ phát laser (ví dụ ảnh hưởng đến độ ổn định và hồng thành phần gia tốc), ngoại trừ khi sử dụng bộ phát laser điốt công suất tương đối thấp được sử dụng. Do đó điều này thường được loại bỏ vì tính khả thi. (Tuy nhiên, nếu thực hiện các kiểm soát có tính quy trình thích hợp thì hoạt động không chủ ý của khóa liên động do sự tiếp cận của người không được ủy quyền phải là trường hợp cực kỳ hiếm xảy ra.) Phương pháp thay thế là sử dụng cửa chập hồng một cách an toàn làm ngắt chùm tia laser (xem A.2.4).

A.2.7 Thiết bị đóng cắt dừng khẩn cấp

Nếu nút dừng khẩn cấp để kết thúc phát xạ laser không dễ dàng tiếp cận từ tất cả các khu vực của phòng thì phải có một hoặc nhiều nút dừng khẩn cấp trong hệ thống.

A.2.8 Hệ thống khóa liên động khóa (xem Hình A.3)

Các hệ thống này ngăn ngừa sự tiếp cận không được phép vào khu vực laser và do đó loại bỏ việc ngắt không mong muốn bức xạ laser. Tuy nhiên việc khóa cửa phòng thí nghiệm bằng tay là không được chấp nhận, vì người có thể bị kẹt bên trong khi có tai nạn. Thậm chí việc giữ chìa khóa bên ngoài phòng cũng không giải quyết được vấn đề vì chúng có thể bị mất vào thời điểm quan trọng, hoặc sẽ khó tìm khi có cháy. Hệ thống khóa phải là kiểu hồng một cách an toàn, tắt bộ phát laser và cho phép tiếp cận vào phòng khi có sự cố nguồn điện hoặc khi yêu cầu có tiếp cận khẩn cấp. Điều này có thể đạt được bằng cách sử dụng các khóa điện tử có mã hóa chìa khóa hoặc hoạt động bằng thẻ từ, với điều kiện có sẵn trang bị để làm mất hiệu lực một cách rõ ràng cho phép tiếp cận khẩn cấp, có thể tác động bởi người nào đó và không đòi hỏi chìa khóa, mã hoặc thẻ quét. Nó cũng có thể được thực hiện bằng cách sử dụng khóa cửa hồng một cách an toàn để khóa (xem A.2.9), mà có thể được mở một cách tương tự trong trường hợp khẩn cấp. Bộ phát laser cần vẫn được khóa liên động bằng cách sử dụng cửa trap hoặc trực tiếp vào nguồn cấp, để kết thúc phát xạ của bộ phát laser khi đạt được tiếp cận khẩn cấp. Thiết bị đóng cắt khóa liên động cửa vẫn có thể được sử dụng để đảm bảo rằng việc khởi động không thể xảy ra trong trường hợp cửa được mở, và để có xu hướng đóng nếu cửa vẫn được giữ mở lâu hơn thời gian làm mất hiệu lực cho phép.

A.2.9 Khóa điện

Khóa điện hồng một cách an toàn có thể được lắp để giữ cửa ở vị trí đóng khi cấp điện, vì thế ngăn ngừa việc đi vào không được phép. (Không nên sử dụng các khóa hoạt động bằng chìa thông thường.) Các thiết bị này được lắp vào khung cửa và che chốt cửa khi được cấp điện. (Chốt cửa không được nổi lên, và không thể tác động bởi, tay nắm cửa.) Điều này cho phép cửa đóng lại khi khóa được cấp điện nhưng không cho phép mở. Khi khóa không được cấp điện, cửa có thể được mở bằng cách ấn hoặc kéo đơn giản.

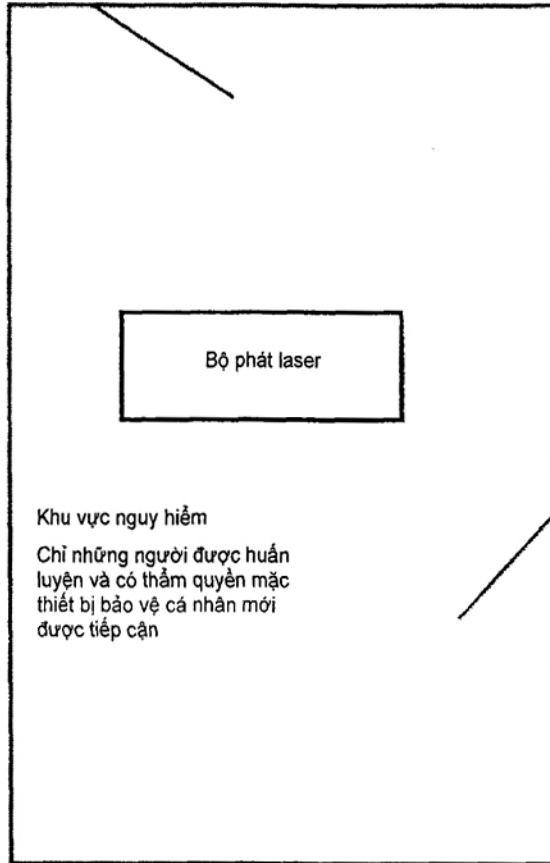
Thiết bị đóng cắt dừng khẩn cấp cần được lắp bên ngoài từng cánh cửa khi hệ thống khóa được sử dụng để cho phép đi vào trong trường hợp khẩn cấp. Trên phía bên trong của từng cánh cửa, thiết bị làm mất hiệu lực dạng nút ấn sẽ luôn cho phép đi ra và có thể được coi là đủ, mặc dù tối thiểu một nút dừng khẩn cấp cho phép tiếp cận dễ dàng được lắp bên trong cửa. Khi được ấn, thiết bị đóng cắt dừng khẩn cấp sẽ duy trì an toàn bằng cách tắt đồng thời chùm tia laser và ngắt điện khóa cửa, do đó cho phép đi ra.

Mục đích của hệ thống khóa liên động

Tường hoặc cửa có nguy hiểm trong vùng có kiểm soát laser.

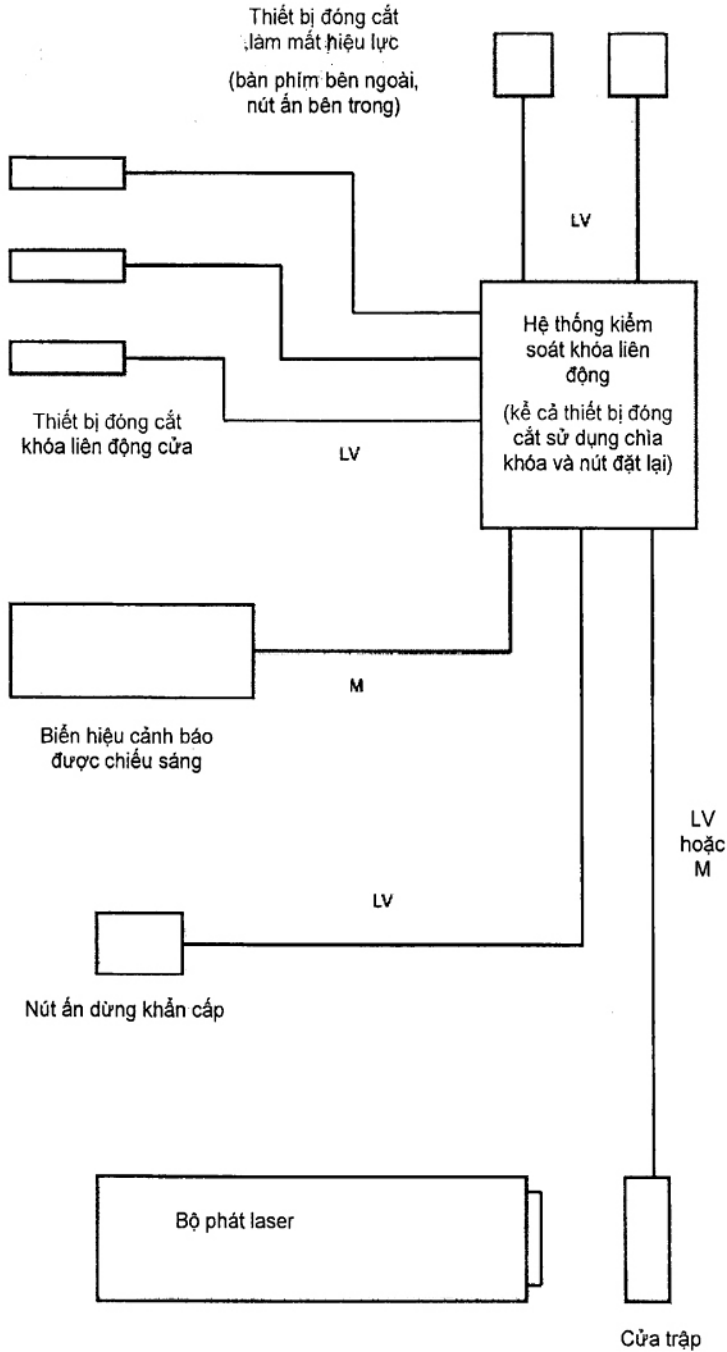
TCVN 12670-14:2020

Hệ thống khóa liên động nối với các cửa và được hoạt động khi có nguy hiểm để hạn chế tiếp cận đến người được huấn luyện, được ủy quyền và được trang bị phù hợp.



Hình A.1 – Mục đích của khóa liên động

Hệ thống khóa liên động không khóa



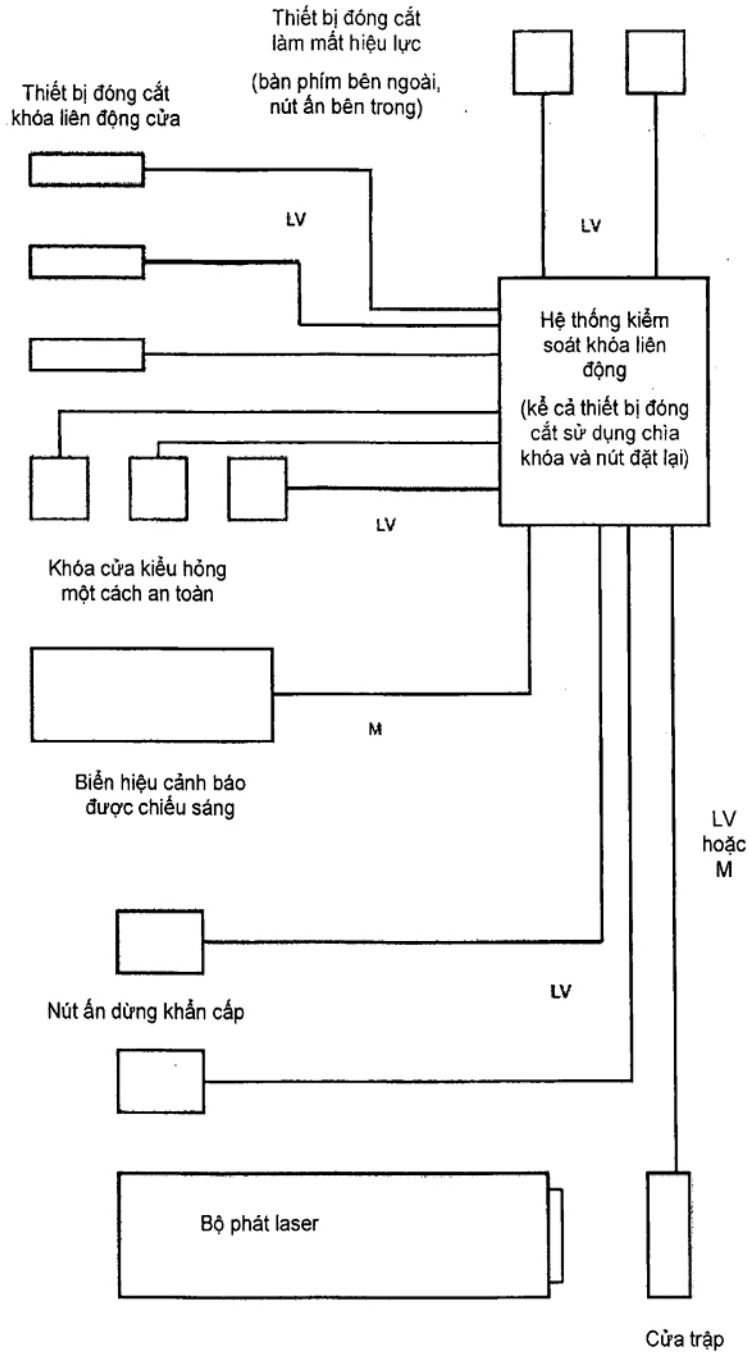
CHÚ DẪN

LV = Điện áp thấp

M = Nguồn lưới

Hình A.2 – Hệ thống khóa liên động không khóa

Hệ thống khóa liên động dạng khóa



CHÚ DẪN

LV = Điện áp thấp

M = Nguồn lưới

Hình A.3 – Hệ thống khóa liên động dạng khóa

Phụ lục B

(tham khảo)

Các ví dụ tính toán**B.1 Giới thiệu**

Phụ lục này cung cấp sự lựa chọn các ví dụ sử dụng thông tin bổ sung và công thức cho trong IEC TR 60825-10. Việc xác định phơi nhiễm lớn nhất cho phép (MPE) được giới thiệu trong B.3 với các ví dụ đối với quan sát nguồn nhỏ của đầu ra laser CW hoặc dạng xung đơn trong B.4 và hệ thống xung lặp trong B.5. Việc xác định khoảng cách nguy hiểm mắt danh nghĩa (NOHD) đối với các nguồn nhỏ được cho trong B.6 và đối với các nguồn kéo dài trong B.7. Tính mật độ quang của thiết bị bảo vệ mắt khỏi laser được cho trong B.8, và tính toán nhiều nguồn nhỏ được cho trong B.9.

B.2 Ký hiệu được sử dụng trong các ví dụ của phụ lục này

Ký hiệu	Đơn vị	Định nghĩa
a	m	Đường kính của chùm tia laser phát ra
α	rad	Góc tương bởi nguồn biểu kiến (hoặc phản xạ khuếch tán) khi quan sát từ một điểm trong không gian
α_t	rad	Góc tại mắt tương nguồn bức xạ biểu kiến ở khoảng cách $r_t = 100$ mm
α_{\min}	rad	Góc nhỏ nhất được tương bởi nguồn áp dụng tiêu chí nguồn kéo dài
α_{\max}	rad	Góc lớn nhất được tương bởi nguồn có tiêu chí nguồn kéo dài thay đổi tuyến tính với kích cỡ nguồn ($\alpha_{\max} = 0,1$ rad)
C_1, C_2, \dots, C_7	Không đơn vị	Hệ số hiệu chỉnh (xem Bảng 8)
d_u	m	Đường kính của vòng tròn nhỏ nhất ở khoảng cách quy định, r , từ nguồn biểu kiến chứa u % tổng công suất (năng lượng) laser. Trong trường hợp chùm tia phân bố Gauss, d_{e3} tương ứng với các điểm có độ rọi (hoặc phơi nhiễm bức xạ) xuống đến $1/e$ giá trị đỉnh tại tâm của nó.
D_e	m	Đường kính con ngươi của hệ thống quang
D_o	m	Đường kính mục tiêu của hệ thống quang
η	Không đơn vị	Một phần của tổng công suất (năng lượng) laser thu được thông qua lỗ mở quy định đặt ở khoảng cách quy định, r , tính từ nguồn biểu kiến.
F	Hz	Tần số lặp xung

TCVN 12670-14:2020

<i>G</i>	Không đơn vị	Căn bậc hai của tỷ số giữa độ rọi hoặc phơi nhiễm bức xạ võng mạc nhận được bởi mắt có hỗ trợ quang và độ rọi hoặc phơi nhiễm bức xạ võng mạc nhận được bởi mắt không có hỗ trợ.
<i>H</i>	$J \cdot m^{-2}$	Phơi nhiễm bức xạ hoặc
<i>E</i>	$W \cdot m^{-2}$	độ rọi ở khoảng cách quy định, <i>r</i> , tính từ nguồn biểu kiến
<i>H₀</i>	$J \cdot m^{-2}$	Phơi nhiễm bức xạ chùm tia laser phát ra hoặc
<i>E₀</i>	$W \cdot m^{-2}$	độ rọi tại khoảng cách bằng không tính từ nguồn biểu kiến
<i>k</i>	Không đơn vị	Hệ số cấu trúc chế độ với các giá trị trong dải từ <i>k</i> = 1 đối với các chùm tia có phân bố Gauss đến <i>k</i> = 2,5 đối với các chùm tia chưa biết cấu trúc chế độ.
<i>L_p</i>	$J \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	Bức xạ tích hợp nguồn kéo dài
<i>λ</i>	nm	Bước sóng của bức xạ laser
<i>M</i>	Không đơn vị	Độ phóng đại của thiết bị quang
<i>H_{MPE}</i>	$J \cdot m^{-2}$	Phơi nhiễm lớn nhất cho phép
hoặc		
<i>E_{MPE}</i>	$W \cdot m^{-2}$	
<i>μ</i>	m^{-1}	Hệ số suy giảm trong khí quyển ở bước sóng quy định
<i>N</i>	Không đơn vị	Số lượng xung trong khoảng thời gian phơi nhiễm
<i>NA</i>	Không đơn vị	Lỗ mở số của nguồn laser
<i>NA_m</i>	Không đơn vị	Lỗ mở dưới dạng chữ số của mục tiêu của kính hiển vi
<i>NOHD</i>	Không đơn vị	Khoảng cách nguy hiểm danh nghĩa cho mắt
<i>OD</i>	Không đơn vị	Mật độ (tỷ số truyền) quang được xác định là logarit cơ số 10 của nghịch đảo hệ số truyền (xem thêm IEC 845-04-66; ở đây không sử dụng hệ số D để tránh nhầm lẫn với đường kính).
<i>P₀</i>	W	Công suất bức xạ tổng (thông lượng bức xạ) của laser sóng liên tục hoặc công suất bức xạ trung bình của laser dạng xung lặp lại
<i>P_p</i>	W	Công suất bức xạ trong phạm vi một xung của laser dạng xung
<i>φ</i>	rad	Góc phân kỳ của chùm tia laser phát ra
<i>π</i>	Không đơn vị	Hằng số 3,142
<i>Q</i>	J	Năng lượng bức xạ tổng của laser dạng xung

r	m	Khoảng cách từ nguồn biểu kiến đến người quan sát, lỗ mở đo, hoặc đích khuếch tán
r_1	m	Khoảng cách từ đích laser đến người quan sát hoặc lỗ mở đo
$r_{1,max}$	m	Khoảng cách lớn nhất từ đích laser đến người quan sát trong trường hợp áp dụng các điều kiện quan sát nguồn kéo dài
t	s	Khoảng thời gian của một xung laser đơn
T	s	Tổng thời gian phơi nhiễm của chuỗi xung
T_1, T_2	s	Các điểm gãy về thời gian (xem Bảng 8)

B.3 Phơi nhiễm lớn nhất cho phép (MPE) – Giới thiệu

Phơi nhiễm lớn nhất cho phép được xác định theo 2.47 là mức bức xạ laser lớn nhất mà các mô sống (người) có thể phơi nhiễm mà không chịu thêm thương tích phát sinh ngay sau khi phơi nhiễm hoặc sau đó. Các giá trị phơi nhiễm lớn nhất cho phép được đặt thấp hơn các mức nguy hiểm đã biết. Tuy nhiên, các giá trị MPE cần được coi là hướng dẫn cho phơi nhiễm an toàn hơn là đường ranh giới cứng giữa mức phơi nhiễm an toàn và không an toàn.

Các giá trị MPE phụ thuộc vào:

- bước sóng của bức xạ;
- thời gian phơi nhiễm hoặc độ rộng xung;
- phổ của các bước sóng, khi mô được phơi nhiễm với nhiều hơn một bước sóng;
- bản chất của mô phơi nhiễm; và
- góc tương của nguồn (sẽ xác định cỡ của ảnh trên võng mạc) trong dải bước sóng từ 400 nm đến 1 400 nm.

Các ví dụ trình bày trong phụ lục này minh họa các quy trình tính toán đối với quan sát nội chùm tia, đối với các nguồn kéo dài và phản xạ khuếch tán, và đối với các phơi nhiễm dạng xung hoặc có điều biến. Việc chọn thời gian phơi nhiễm có thể rõ ràng như trong trường hợp bộ phát laser một xung hoặc bộ phát laser CW hoặc xung lặp hoạt động trong dải bước sóng nhìn thấy 400 nm đến 700 nm khi có thể sử dụng phản ứng khó chịu 0,25 s đối với phơi nhiễm mắt. Các bộ phát laser dạng xung lặp hoặc bộ phát laser CW hoạt động ở các bước sóng bên ngoài dải bước sóng nhìn thấy sẽ đòi hỏi nhân viên an toàn laser thực hiện đánh giá giá trị của thời gian phơi nhiễm có nhiều khả năng xảy ra.

CHÚ THÍCH: Bảng 5 và Bảng 6 cung cấp các giá trị MPE đối với phơi nhiễm mắt trong khi Bảng 7 cung cấp các giá trị MPE đối với phơi nhiễm da.

Các ví dụ thể hiện các quy trình tính toán theo từng bước đối với các bước sóng điển hình và các tham số phơi nhiễm khác. Người sử dụng có thể điều chỉnh các quy trình này theo từng trường hợp cụ thể khi cần tính MPE.

B.4 Phơi nhiễm lớn nhất cho phép (MPE) – Nguồn nhỏ đơn nhất

Việc quan sát nguồn nhỏ xảy ra khi góc trương của nguồn nhỏ hơn α_{\min} . Bốn ví dụ dưới đây minh họa các quy trình tính toán đối với các điều kiện quan sát nguồn đơn, nhỏ, với đầu ra laser CW hoặc xung đơn.

Ví dụ B.4.1

Tính MPE đối với bộ phát laser heli-cadmi, $\lambda = 325$ nm, với thời gian phát xạ là 0,1 s.

Lời giải:

Giá trị MPE áp dụng được có thể tìm thấy trong Bảng 5, ở giao điểm của dải bước sóng từ 315 nm đến 400 nm và cột thời gian phơi nhiễm 1×10^{-3} s đến 10 s, MPE được tìm thấy bằng C_1 J·m⁻². C_1 có thể được tính từ công thức cho trong Bảng 8.

$$C_1 = 5,6 \times 10^3 \times t^{0,25}$$

$$H_{MPE} = 5,6 \times 10^3 \times 0,1^{0,25} = 3,15 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Để có MPE, ta lấy độ rọi chia cho thời gian phơi nhiễm t ,

$$E_{MPE} = H_{MPE} / t = 3,15 \times 10^3 / 0,1 = 3,15 \times 10^4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

Ví dụ B.4.2

Xác định phơi nhiễm xung đơn lớn nhất cho phép đối với laser hồng ngọc dạng xung, $\lambda = 694$ nm, với thời gian phơi nhiễm 10^{-3} s.

Lời giải:

Trong Bảng 5, MPE tìm được tại giao điểm của dải bước sóng từ 400 nm đến 700 nm và thời gian phơi nhiễm $t = 5 \times 10^{-5}$ s đến 10^{-3} s. Giá trị MPE là

$$H_{MPE} = 18 \times t^{0,75} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Do đó,

$$H_{MPE} = 18 \times (10^{-3})^{0,75} = 0,10 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Ví dụ B.4.3

Đối với xung đơn của bộ phát laser gali-asenua, $\lambda = 905$ nm, với độ rộng xung 100 ns, MPE bằng bao nhiêu?

Lời giải:

Trong Bảng 5, MPE tìm được tại giao điểm của dải bước sóng từ 700 nm đến 1050 nm và thời gian phơi nhiễm $t = 10^{-7}$ s đến $1,8 \times 10^{-5}$ s. MPE biểu thị bằng phơi nhiễm bức xạ được cho bởi:

$$H_{MPE} = 5 \times 10^{-3} \times C_4 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Hệ số C_4 có thể được tính từ công thức cho trong Bảng 8:

$$C_4 = 10^{0,002(\lambda-700)} = 2,57$$

Do đó,

$$H_{MPE} = 5 \times 10^{-3} \times 2,57 = 12,9 \times 10^{-3} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Ví dụ B.4.4

Tính MPE đối với bộ phát laser heli-neon (He-Ne) sóng liên tục, $\lambda = 633 \text{ nm}$.

Lời giải:

Vì bộ phát laser đang hoạt động trong phần nhìn thấy của phổ và việc quan sát có chủ ý là không được dự kiến nên sẽ sử dụng thời gian phơi nhiễm được giới hạn bởi phản ứng khó chịu $T = 0,25 \text{ s}$. Các giá trị MPE có thể tìm được trong Bảng 5 tại giao điểm của dải bước sóng từ 400 nm đến 700 nm và cột thời gian phơi nhiễm 1×10^{-3} đến 10 s. MPE thể hiện là phơi nhiễm bức xạ được cho bởi:

$$H_{MPE} = 18 \times t^{0,75} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

$$H_{MPE} = 18 \times (0,25)^{0,75} = 6,36 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Để có MPE, ta lấy độ rọi chia cho thời gian phơi nhiễm $t = 0,25 \text{ s}$, khi đó

$$E_{MPE} = 25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

B.5 Phơi nhiễm lớn nhất cho phép (MPE) – Hệ thống xung lặp lại

Các quy tắc áp dụng cho phơi nhiễm từ các sản phẩm laser dạng xung lặp lại (hoặc phơi nhiễm từ các hệ thống laser quét) được cho trong 4.2. IEC TR 60825-10 cung cấp sơ đồ chi tiết các bước liên quan đến tính toán MPE đối với bộ phát xung lặp lại.

Ví dụ B.5.1

Xác định MPE nguồn nhỏ đối với phơi nhiễm ngẫu nhiên trực tiếp đến mắt với bức xạ từ bộ phát laser argon ($\lambda = 488 \text{ nm}$) hoạt động ở tần số lặp xung $F = 1 \text{ MHz}$ với độ rộng xung $t = 10^{-8} \text{ s}$.

Lời giải:

Vì bộ phát laser đang hoạt động trong phần nhìn thấy của phổ và việc quan sát có chủ ý là không được dự kiến nên sẽ sử dụng thời gian phơi nhiễm được giới hạn bởi phản ứng khó chịu $T = 0,25 \text{ s}$. Nếu quan sát có chủ ý bức xạ trong dải bước sóng từ 400 nm đến 600 nm là được dự kiến đối với thời gian phơi nhiễm 1 s hoặc lâu hơn thì cần đánh giá giới hạn quang hóa lên mắt, ngoài giới hạn nhiệt và giá trị khác nghiệt nhất sẽ cho MPE áp dụng được.

Điều 5.2 đưa ra ba tiêu chí cần được xem xét, và tiêu chí nào khắc nghiệt nhất sẽ áp dụng cho đánh giá này.

Từ 5.2 a), phơi nhiễm từ xung đơn bất kỳ không được vượt quá MPE cho xung đơn. Do đó, phơi nhiễm bức xạ đối với khoảng thời gian 10^{-8} s từ Bảng 5 là

$$H_{\text{single}} = 5 \times 10^{-3} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

TCVN 12670-14:2020

Từ 5.2 b), phơi nhiễm trung bình đối với chuỗi xung trong thời gian phơi nhiễm T không được vượt quá MPE đối với xung đơn trong thời gian phơi nhiễm T. Đối với thời gian phơi nhiễm tổng 0,25 s, Bảng 5 giới hạn phơi nhiễm bức xạ ở

$$H_T = 18 t^{0,75} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2} = 18 \times (0,25)^{0,75} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2} = 6,36 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Vì có $N = 2,5 \times 10^5$ xung trong thời gian 0,25 s, tiêu chí độ rọi trung bình tạo ra phơi nhiễm bức xạ xung đơn là

$$H_{\text{single-avg}} = H_T/N = 6,36/2,5 \times 10^5 = 2,55 \times 10^{-5} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Từ 5.2 c), phơi nhiễm trung bình từ các xung trong chuỗi xung không được vượt quá MPE đối với xung đơn nhân với hệ số hiệu chỉnh C_5 (trong đó $C_5 = N^{-1/4}$). Thời gian phơi nhiễm mà cần áp dụng yêu cầu c) là T_2 trong dải bước sóng từ 400 nm đến 1 400 nm, trong đó $T_2 = 10$ s đối với $\alpha \leq \alpha_{\min}$.

Vì bộ phát laser đang hoạt động ở tốc độ lặp cao, áp dụng chú thích 3 cho 5.2 c). Điều này đòi hỏi rằng, nếu nhiều xung xuất hiện trong thời gian T_1 (xem Bảng 3 đối với $T_1 = 18 \times 10^{-6}$ s), chúng được tính là xung đơn để xác định N và phơi nhiễm bức xạ của các xung đơn được cộng lại và so sánh với MPE của T_1 . Do đó, tần số lặp xung hiệu quả là:

$$F_E = 1/T_1 = 1/(18 \times 10^{-6}) = 55,56 \text{ kHz}$$

MPE đối với xung có thời gian T_1 được cho trong Bảng 5 là $5 \times 10^{-3} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$.

Số lượng xung hiệu quả trong 0,25 s là:

$$N_E = T \times F_E = 0,25 \times 55,56 \times 10^3 = 1,39 \times 10^4$$

Đối với $N_E = 1,39 \times 10^4$ xung đối với từng thời gian T_1 trong khoảng thời gian 0,25 s, phơi nhiễm bức xạ theo tiêu chí này tính bằng:

$$H_{\text{train}} = H_{\text{single-eff}} \times (N_E)^{-1/4} = 5 \times 10^{-3} (1,39 \times 10^4)^{-1/4} = 4,6 \times 10^{-4} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Các điều kiện 5.2 a) và 5.2 b) áp dụng cho xung có năng lượng Q trong khi điều kiện 5.2 c) áp dụng cho xung có năng lượng $= Q \times T_1 \times F = 18 \times Q$. Do đó, chia H_{train} cho 18 (bằng $2,55 \times 10^{-5} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$) cho phép so sánh ba MPE được tính từ 5.2 với nhau. Trong ví dụ này, tiêu chí 5.2 b) và 5.2 c), mà bằng nhau, là khắc nghiệt nhất; MPE xung đơn đối với hệ thống này là $2,55 \times 10^{-5} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$.

Ví dụ B.5.2

Xác định MPE nội chùm tia đối với phơi nhiễm mắt trực tiếp với bức xạ từ bộ phát laser Nd:YAG ($\lambda = 1\,064$ nm) hoạt động ở tần số $F = 20$ Hz với độ rộng xung $t = 1$ ms.

Lời giải:

Vì bộ phát laser không hoạt động trong phần nhìn thấy của phổ nên bảo vệ không được thực hiện bởi phản ứng khó chịu. Ước lượng hợp lý của thời gian phơi nhiễm thay đổi nguy hiểm có thể lấy là 10 s. Đối với khoảng thời gian này, tổng số xung là:

$$N = T \times F = 10 \times 20 = 200$$

Điều 5.2 đưa ra ba tiêu chí cần được xem xét, và tiêu chí nào khắc nghiệt nhất sẽ áp dụng cho đánh giá này.

Từ 5.2 a), phơi nhiễm từ xung đơn bất kỳ không được vượt quá MPE cho xung đơn. Vì chùm tia được phát ra từ một nguồn nhỏ nên MPE được xác định từ Bảng 5 và giá trị $C_7 = 1$ tại bước sóng 1 064 nm trong Bảng 8. Do đó, phơi nhiễm bức xạ từ Bảng 5 đối với khoảng thời gian 1 ms là

$$H_{\text{single}} = 90 t^{0,75} C_7 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2} = 90 \times 0,001^{0,75} \times 1 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2} = 0,506 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Từ 5.2 b), phơi nhiễm trung bình đối với chuỗi xung trong thời gian phơi nhiễm T không được vượt quá MPE đối với xung đơn trong thời gian phơi nhiễm T . Đối với thời gian phơi nhiễm 10 s (thời gian phơi nhiễm tổng), Bảng 5 giới hạn phơi nhiễm bức xạ ở

$$H_T = 90 t^{0,75} C_7 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2} = 90 \times 10^{0,75} \times 1 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2} = 506 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Vì có $N = 200$ xung trong thời gian 10 s, tiêu chí độ rọi trung bình tạo ra phơi nhiễm bức xạ xung đơn là

$$H_{\text{single-avg}} = H_T/N = 506/200 = 2,53 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Từ 5.2 c), phơi nhiễm trung bình từ các xung trong chuỗi xung không được vượt quá MPE đối với xung đơn nhân với hệ số hiệu chỉnh C_5 (trong đó $C_5 = N^{-1/4}$). Đối với $N = 200$ xung trong thời gian 10 s, phơi nhiễm bức xạ theo tiêu chí này là

$$H_{\text{train}} = H_{\text{single}} \times N^{0,25} = 0,506 \times (200)^{0,25} = 0,135 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Vì giới hạn từ tiêu chí xung lặp lại trong 5.2 c) là khắc nghiệt nhất nên MPE xung đơn đối với hệ thống này là $0,135 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$. MPE cũng có thể được thể hiện dưới dạng độ rọi trong thời gian của từng xung là:

$$E_{\text{MPE}} = \frac{H_{\text{train}}}{t} = \frac{0,135 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}}{10^{-3} \text{ s}} = 135 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

B.6 Khoảng cách nguy hiểm danh nghĩa cho mắt (NOHD)

Như giải thích trong 5.5, NOHD thể hiện rằng, trong các điều kiện lý tưởng, độ rọi và phơi nhiễm bức xạ giảm xuống thấp hơn MPE tương ứng.

Độ rọi ở khoảng cách r từ nguồn laser được cho bởi (xem IEC TR 60825-10) :

$$E = \frac{4P_0 e^{-\mu r}}{\pi(a+r\theta)^2} \quad (\text{B.1})$$

CHÚ THÍCH: a và ϕ được đo tại các điểm $1/e$ trong biên dạng chùm tia, khi biên dạng chùm tia được giả thiết là phân bố Gauss. Trên thực tế, chỉ các bộ phát laser khí mới sinh ra chùm tia có phân bố Gauss, hầu hết các bộ phát laser trạng thái rắn đều có cấu trúc chùm tia về cơ bản là đa chế độ, không đều đặn, và trong trường hợp này cần sử dụng công thức sau:

$$L = \frac{l e^{-\mu r}}{r^2}$$

TCVN 12670-14:2020

trong đó I = cường độ bức xạ ($W \cdot sr^{-1}$).

Nếu chưa biết I và không thể đo thì giá trị đối với P_0 trong công thức (B.1) nêu trên có thể tăng thêm 2,5 đối với các hệ thống laser đã biết là có cấu trúc chùm tia đa chế độ. Trong IEC TR 60825-10, ký hiệu k được sử dụng để tính đến các chùm tia có cấu trúc chế độ chưa biết và có các giá trị trong dải từ $k = 1$ đối với các chùm tia có biên dạng Gauss đến $k = 2,5$ đối với chùm tia có cấu trúc chế độ chưa biết.

Đại lượng $e^{-\mu r}$ là các tổn hao do suy giảm trong khí quyển và có thể bỏ qua đối với hầu hết các mục đích. Đơn giản hóa công thức (B.1) và thay hệ số k ta có:

$$E = \frac{4kP_0}{\pi(\alpha+r\phi)^2} \quad (B.2)$$

Khi E được thay bằng E_{MPE} , r trở thành NOHD và được tính như sau:

$$NOHD = \frac{1}{\phi} \sqrt{\frac{4 \times k \times P_0}{\pi \times E_{MPE}}} - \frac{a}{\phi} \quad (B.3)$$

hoặc

$$NOHD = \frac{1}{\phi} \sqrt{\frac{4 \times k \times Q}{\pi \times E_{MPE}}} - \frac{a}{\phi} \quad (B.4)$$

trong đó Q là năng lượng trên xung và H_{MPE} là MPE trên mỗi xung được thể hiện bằng phơi nhiễm bức xạ.

Nếu các ảnh hưởng của suy giảm trong khí quyển được đưa vào, giải pháp đơn giản cho công thức (B.1) khi chưa có sẵn r . Ước lượng tin cậy đối với μ , hệ số suy giảm trong khí quyển, có thể có được từ công thức sau:

$$\mu = 10^{-3} \times \frac{3,91}{V} \times \left(\frac{550}{\lambda}\right)^A m^{-1} \quad (B.5)$$

trong đó

$$A = 0,585 V^{0,33}$$

V là phạm vi tầm nhìn tính bằng km, và

λ là bước sóng tính bằng nm ($400 \text{ nm} < \lambda < 2\,000 \text{ nm}$).

Sử dụng hỗ trợ quan sát quang

Trong trường hợp có hỗ trợ quan sát (kính viễn vọng, ống nhòm, v.v.) được sử dụng để quan sát nguồn bức xạ laser, cần kéo dài NOHD để tính đến việc tăng bức xạ vào mắt.

Bức xạ đi vào mắt từ bộ phát laser được quan sát thông qua cặp ống nhòm sẽ tăng lên một hệ số khuếch đại quang G . Các khuyến cáo dưới đây được cung cấp trong IEC TR 60825-10.

a) Đối với $400 \text{ nm} \leq \lambda < 1\,400 \text{ nm}$ khi đó con người nằm trong chùm tia,

$$G = \tau \cdot M^2 \quad (B.6)$$

hoặc trường hợp chùm tia nhỏ hơn con người,

$$G = \frac{\tau \cdot D_0^2}{49} \quad (\text{B.7})$$

Sử dụng giá trị nào nhỏ hơn, trong đó

τ là hệ số truyền tại bước sóng thích hợp (= 1 nếu chưa biết),

M là độ phóng đại của thiết bị hỗ trợ quan sát, và

D_0 là đường kính của thấu kính, tính bằng mm.

b) Đối với $320 \text{ nm} \leq \lambda < 400 \text{ nm}$ và $1\,400 \text{ nm} \leq \lambda < 4\,500 \text{ nm}$

$$G = \tau \cdot M^2$$

Trong vùng này, bức xạ được hấp thụ trước khi tới võng mạc.

c) Đối với $\lambda < 320 \text{ nm}$ và $\lambda > 4\,500 \text{ nm}$

Trong vùng này, bức xạ ít có khả năng truyền qua thiết bị hỗ trợ quan sát.

NOHD kéo dài trở thành

$$ENOHD = \frac{1}{\emptyset} \sqrt{\frac{4 \times k \times G \times Q}{\pi \times H_{MPE}}} - \frac{a}{\emptyset} \quad (\text{B.8})$$

Nếu không được cung cấp cùng với bộ lọc suy giảm laser đặc biệt hoặc nếu việc truyền thực tế của thiết bị quang quan sát đã biết tại bước sóng laser thì không cần thực hiện biên dự phòng đối với tổn thất đường truyền trong thiết bị quang quan sát, vì nhiều thiết bị có hệ số truyền cao (>0,8) kéo dài vào tận vùng hồng ngoại của phổ trên 2 000 nm.

CHÚ THÍCH: Đầu ra của các sản phẩm laser Cấp 1, Cấp 1M, Cấp 2, Cấp 2M và Cấp 3R có thể được quan sát thông qua màn chắn khuếch tán hoặc đích không phản xạ gương thông qua thiết bị quang phóng đại, với điều kiện tiêu chí đối với quan sát không có hỗ trợ của các nguồn kéo dài được thỏa mãn và bức xạ trong phạm vi băng tần 400 nm đến 1 400 nm.

Hai lưu đồ hữu ích được đề cập trong IEC TR 60825-10 hỗ trợ để tính NOHD của các sản phẩm laser CW và xung lặp phát ra một hoặc nhiều bước sóng và ENOHD khi sử dụng thiết bị quang quan sát.

Ví dụ B.6.1

Bộ phát laser với biên dạng chùm tia theo phân bố Gauss ($k = 1$) có đầu ra 4 W, độ phân kỳ chùm tia 0,7 mrad và đường kính chùm tia đầu ra là 1 mm. Nếu MPE thích hợp là $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, tính NOHD, với giả thiết suy hao trong khí quyển không đáng kể.

Lời giải:

Thay vào công thức (B.3) ta có:

$$NOHD = \frac{1}{0,7 \times 10^{-3}} \sqrt{\frac{4 \times 4}{\pi \times 10}} - \frac{1 \times 10^{-3}}{0,7 \times 10^{-3}} = 1\,019 - 1,4 = 1\,018 \text{ m} = 1,02 \text{ km}$$

TCVN 12670-14:2020

Ví dụ B.6.2

Thiết bị quang mở rộng chùm tia được lắp với bộ phát laser trong ví dụ trước làm giảm độ phân kỳ chùm tia xuống còn 0,1 mrad và tăng đường kính chùm tia lên 7 mm. Tính NOHD.

Lời giải:

NOHD mới bằng:

$$NOHD = \frac{1}{0,1 \times 10^{-3}} \sqrt{\frac{4 \times 4}{\pi \times 10}} - \frac{7 \times 10^{-3}}{0,1 \times 10^{-3}} = 7136 - 70 = 7066 \text{ m} = 7,07 \text{ km}$$

Lưu ý tầm quan trọng của độ phân kỳ chùm tia khi xác định NOHD.

Ví dụ B.6.3

Bộ phát laser trong ví dụ B.4.2 hoạt động ở 550 nm. Tính NOHD sửa đổi, với giả thiết tầm nhìn 10 km.

Lời giải:

Hệ số suy giảm trong khí quyển, μ , tính được bằng cách sử dụng công thức (B.5):

$$\mu = 10^{-3} \times \frac{3,91}{10} \times \left(\frac{550}{550}\right)^{41,25} = 3,91 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$$

NOHD sửa đổi có thể tính được từ công thức (B.3) bằng cách đưa thêm hệ số suy giảm trong khí quyển:

$$NOHD = \frac{1}{\emptyset} \sqrt{\frac{4 \times k \times P_0 e^{-\mu r}}{\pi \times E_{MPE}}} - \frac{a}{\emptyset}$$

và giải ra (với $r = \text{NOHD}$) ta có

$$NOHD = \frac{1}{0,1 \times 10^{-3}} \sqrt{\frac{4 \times 4 \times e^{(-3,91 \times 10^{-4} \times r)}}{\pi \times 10}} - \frac{7 \times 10^{-3}}{0,1 \times 10^{-3}} = 3,52 \text{ km}$$

Ví dụ B.6.4

Bộ phát laser heli-neon đang khảo sát ($\lambda = 633 \text{ nm}$) với công suất ra 3 mW phát chùm tia có đường kính ban đầu 13 mm, mở rộng đến 18 mm ở khoảng cách 50 m tính từ bộ phát laser:

- Quan sát trực tiếp bộ phát laser từ khoảng cách 60 m trong bao lâu thì vẫn an toàn?
- Khoảng cách nhỏ nhất là bao nhiêu để quan sát trực tiếp bộ phát laser này trong thời gian 3 min mà vẫn an toàn?

Lời giải:

a) Công suất đầu ra $P_0 = 3 \times 10^{-3} \text{ W}$, và đường kính chùm tia ban đầu $a = 0,013 \text{ m}$. Độ phân kỳ của chùm tia do đó bằng

$$\emptyset = \frac{0,018 - 0,013}{50} \text{ rad} = 10^{-4} \text{ rad}$$

Giả thiết rằng bộ phát laser có biên dạng chùm tia theo phân bố Gauss ($k = 1$) thì độ rọi ở phạm vi r có thể được xác định bằng cách sử dụng công thức (B.2)

$$E = \frac{4P_0}{\pi(a+r\phi)^2}$$

do đó

$$E = \frac{4 \times 3 \times 10^{-3}}{\pi(0,013 + 60 \times 10^{-4})^2} = 10,58 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Đối với thời gian phơi nhiễm từ 10 s đến 3×10^4 s, MPE tương ứng được cho trong Bảng 5 là

$$E_{\text{MPE}} = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Vì giá trị này nhỏ hơn độ rọi chùm tia ở 60 m nên thời gian phơi nhiễm sẽ nhỏ hơn 10 s. Bảng 5 thể hiện các thời gian phơi nhiễm trong dải từ 1×10^{-3} s đến 10 s nên MPE tương ứng bằng

$$H_{\text{MPE}} = 18 t^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

tương đương với

$$E_{\text{MPE}} = 18 t^{0,25} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Do đó, thời gian phơi nhiễm lớn nhất có được bằng cách tính giá trị này của $E_{\text{MPE}} = 10,58 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ và giải theo t

$$18 t^{0,25} = 10,58 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\text{Do đó } t = \left(\frac{10,58}{18}\right)^4 = 8,38 \text{ s}$$

b) Phạm vi tối thiểu để quan sát an toàn có thể tính được bằng cách giải phương trình (B.3) đối với khoảng cách nguy hiểm danh nghĩa cho mắt (NOHD). Trong trường hợp này, thời gian phơi nhiễm t = 180 s (3 min) và Bảng 5 cho $E_{\text{MPE}} = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$:

$$\text{NOHD} = \frac{1}{0,1 \times 10^{-3}} \sqrt{\frac{4 \times 3 \times 10^{-3}}{\pi \times 10} - \frac{13 \times 10^{-3}}{0,1 \times 10^{-3}}} = 65,4 \text{ m}$$

Ví dụ B.6.5

Thiết bị đo khảo sát bộ phát laser hồng ngoại cầm tay có các đặc tính sau.

- Bước sóng (λ) 903 nm
- Tần số lặp xung (F) 300 Hz
- Công suất đỉnh trên xung (P_p) 30 W
- Năng lượng trên xung (Q) 600 nJ
- Độ phân kỳ chùm tia (ϕ) 10 mrad
- Đường kính lỗ mở đầu ra hiệu quả 55 mm

Giả thiết bộ phát laser có biên dạng chùm tia phân bố Gauss, đánh giá NOHD đối với thiết bị đo này

TCVN 12670-14:2020

a) để quan sát bằng mắt không có hỗ trợ, và

b) khi sử dụng ống nhòm 8×50 .

Lời giải:

a) Điều kiện mắt không có hỗ trợ

Từ quy định kỹ thuật của bộ phát laser, độ rộng xung được cho bởi $t_p = Q/P_p = (6 \times 10^{-7})/30 = 20 \text{ ns}$. Trong ví dụ này, giả thiết rằng góc tương α nhỏ hơn α_{\min} . Nếu không có quan sát có chủ ý, thời gian phơi nhiễm cần sử dụng là 100 s; trong thời gian này, số lượng xung là:

$$N = F \times t = 300 \text{ Hz} \times 100 \text{ s} = 3 \times 10^4$$

MPE nội chùm tia được lấy là giá trị khắc nghiệt nhất tính từ 5.2.

Đánh giá xung đơn (điều kiện 5.2 a))

Bảng 5 đưa ra MPE xung đơn đối với bức xạ này với thời gian phơi nhiễm 20 ns, là trong đó $C_4 = 10^{0,002(903-700)} = 2,55$, do đó

$$H_{MPE} = 5 \times 10^{-3} \times 2,55 = 1,275 \times 10^{-2} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Đánh giá độ rọi trung bình (điều kiện 5.2 b))

MPE đối với thời gian phơi nhiễm 100 s có được từ Bảng 5. Vì $\alpha \leq 1,5 \text{ mrad}$ $T_2 = 10 \text{ s}$, do đó áp dụng điều kiện $t > T_2$:

$$E_{MPE,avg} = 10 C_4 C_7 W\cdot\text{m}^{-2}$$

trong đó $C_4 = 2,55$ và $C_7 = 1$. Vì tần số lặp xung là 300 Hz nên MPE trung bình trên xung là

$$H_{MPE,average} = \frac{E_{MPE,avg}}{F} = \frac{10 \times 2,55 \times 1}{300} = 8,5 \times 10^{-2} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Đánh giá nhiều xung (điều kiện 5.2 c))

Phơi nhiễm trung bình từ các xung trong chuỗi xung không được vượt quá MPE đối với xung đơn nhân với hệ số hiệu chỉnh C_5 (trong đó $C_5 = N^{-1/4}$). Thời gian phơi nhiễm lớn nhất để áp dụng yêu cầu c) là T_2 trong dải bước sóng 400 nm đến 1 400 nm, trong đó $T_2 = 10 \text{ s}$ đối với $\alpha \leq \alpha_{\min}$. Do đó:

$$H_{MPE, single} = H_{MPE} = 5 \times 10^{-3} \times 2,55 = 1,275 \times 10^{-2} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

$$H_{MPE, train} = H_{MPE, single} N^{1/4} = 1,275 \times 10^{-2} \times (10 \times 300)^{1/4} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

$$H_{MPE, train} = 0,135 \times 1,275 \times 10^{-2} = 1,72 \times 10^{-3} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Kết luận là điều kiện 5.2 c) tạo ra MPE trên xung khắc nghiệt nhất và do đó $H_{MPE} = 1,72 \times 10^{-3} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ đối với quan sát nội chùm tia. Thay giá trị MPE này vào công thức (B.4) ta có

$$NOHD = \frac{1}{0,01} \sqrt{\frac{4 \times 600 \times 10^{-9}}{\pi \times 1,72 \times 10^{-3}}} - \frac{0,055}{0,01} = 2,11 - 5,5 = -3,39 \text{ m}$$

Vì kết quả âm nên sản phẩm laser là an toàn đối với quan sát bằng mắt không có hỗ trợ ở khoảng cách bất kỳ. Do đó, đối với sản phẩm laser này khi chỉ quan sát bởi mắt không có hỗ trợ thì NOHD thích hợp bằng không.

b) Điều kiện quan sát sử dụng ống nhòm

Hệ số khuếch đại quang, G , của ống nhòm được xác định từ công thức (B.6) và (B.7) với giá trị nhỏ nhất trong hai giá trị được trừ đi trong công thức (B.8) để có ENOHD.

Giả thiết không có suy hao khi đi qua thiết bị quang ($\tau = 1$) thì công thức (B.6) cho $G = M^2 = 8^2 = 64$, và công thức (B.7) sẽ cho $G = D_0^2/49 = 50^2/49 = 51$. Do đó thay $G = 51$ trong công thức (B.8) ta có

$$ENOHD = \frac{1}{0,01} \sqrt{\frac{4 \times 51 \times 600 \times 10^{-9}}{\pi \times 1,72 \times 10^{-3}}} - \frac{0,055}{0,01} = 9,6 \text{ m}$$

Như vậy sẽ là nguy hiểm đối với sản phẩm laser này khi quan sát với ống nhòm 8×50 ở các khoảng cách nhỏ hơn 9,6 m.

Ví dụ B.6.6

Máy định tầm của bộ phát laser đóng cắt Q bằng neodim-thủy tinh có các đặc tính sau.

- Bước sóng (λ) 1 060 nm
- Công suất đỉnh trên xung (P_p) 1,5 MW
- Năng lượng trên xung (Q) 45 mJ
- Tần số lặp xung (F) 12 xung trên phút
- Đường kính lỗ mở đầu ra hiệu quả (a) 10 mm
- Góc phân kỳ chùm tia (ϕ) 1 mrad

Xác định:

- a) NOHD đối với mắt không có hỗ trợ,
- b) NOHD đối với mắt không có hỗ trợ khi bộ lọc truyền 10 % được lắp với lỗ mở đầu ra của máy định tầm, và
- c) NOHD đối với quan sát nội chùm tia khi sử dụng thiết bị quang đường kính 50 mm.

Bỏ qua ảnh hưởng của sự suy giảm chùm tia hoặc việc hội tụ khúc xạ do truyền qua khí quyển.

Lời giải:

TCVN 12670-14:2020

a) Độ rộng xung t_p có thể được tính từ điều kiện $P_p \times t_p = Q_p$ bởi $1,5 \times 10^6 \times t_p = 45 \times 10^{-3}$ cho $t_p = 30$ ns (tức là $10^{-9} < t_p \times 5 \times 10^{-5}$ s). Tần số lặp xung F là $12/60 = 0,2$ Hz.

Trong ví dụ này, giả thiết $\alpha \leq \alpha_{\min}$. Nếu không có quan sát có chủ ý thì thời gian phơi nhiễm được sử dụng là 100 s; trong thời gian này, số lượng xung là

$$N = F \times t = 0,2 \text{ Hz} \times 100 \text{ s} = 20$$

MPE nội chùm tia được lấy là giá trị khắc nghiệt nhất tính được từ 5.2.

Đánh giá xung đơn (điều kiện 5.2 a))

Từ Bảng 5, MPE đối với phơi nhiễm xung đơn từ bộ phát laser này là

$$H_{MPE} = 5 \times 10^{-2} C_7 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

trong đó từ Bảng 8 có $C_7 = 1$, do đó

$$H_{MPE, \text{single}} = 5 \times 10^{-2} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Đánh giá độ rọi trung bình (điều kiện 5.2 b))

Từ Bảng 5, MPE đối với thời gian 100 s là

$$H_{MPE} = 90 \times t^{0,75} C_7 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

trong đó $C_7 = 1$. Vì có 20 xung trong 100 s nên MPE trung bình trên xung là

$$H_{MPE, \text{average}} = \frac{90 \times 100^{0,75}}{20} = 142 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Đánh giá nhiều xung (điều kiện 5.2 c))

Thời gian phơi nhiễm lớn nhất để áp dụng yêu cầu c) là T_2 trong dải bước sóng 400 nm đến 1 400 nm, trong đó $T_2 = 10$ s đối với $\alpha \leq \alpha_{\min}$. Do đó, hệ số hiệu chỉnh $N^{-1/4} = (10 \times 0,2)^{-1/4} = 0,84$ được sử dụng để tính $H_{MPE, \text{train}}$:

$$H_{MPE, \text{train}} = H_{MPE, \text{single}} N^{-1/4} = 5 \times 10^{-2} \times 0,84 = 4,2 \times 10^{-2} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Kết luận là điều kiện 5.2 c) tạo ra MPE trên xung khắc nghiệt nhất và do đó $H_{MPE} = 4,2 \times 10^{-2} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ đối với quan sát nội chùm tia. Thay giá trị MPE này vào công thức (B.4) và vì cấu trúc chế độ của bộ phát laser trạng thái rắn chưa được quy định nên năng lượng xung cần được tăng bởi hệ số $k = 2,5$. Do đó

$$NOHD = \frac{1}{\emptyset} \sqrt{\frac{4 \times 2,5 \times Q}{\pi \times H_{MPE, \text{train}}}} - \frac{a}{\emptyset}$$
$$NOHD = \frac{1}{10^{-3}} \sqrt{\frac{4 \times 2,5 \times 45 \times 10^{-3}}{\pi \times 4,2 \times 10^{-2}}} - \frac{10^{-2}}{10^{-3}} = 1837 \text{ m}$$

Khi đó NOHD đối với máy định tầm do đó bằng 1,84 km.

b) Nếu bộ lọc truyền 10 % được lắp với lỗ mờ đầu ra của máy định tâm, NOHD sẽ giảm xuống. Trong trường hợp này, sử dụng công thức trước đây đối với NOHD, năng lượng trên xung phải được sửa đổi bằng hệ số 0,1 để tính đến ảnh hưởng bộ lọc 10 %. NOHD sửa đổi do đó bằng

$$NOHD = \frac{1}{10^{-3}} \sqrt{\frac{4 \times 2,5 \times 0,1 \times 45 \times 10^{-3}}{\pi \times 4,2 \times 10^{-2}}} - \frac{10^{-2}}{10^{-3}} = 574 \text{ m}$$

c) Khi bộ thu quang có đường kính 50 mm tham gia vào việc quan sát nội chùm tia của bộ phát laser này, NOHD được tăng lên do hệ số khuếch đại quang G của thiết bị quang quan sát mà có thể được xác định từ công thức (B.7) và thay vào công thức (B.8) ta có ENOHD. Từ công thức (B.7) giả thiết $\tau = 1$, $G = 50^2/49 = 51$ và từ công thức (B.8) ta có

$$ENOHD = \frac{1}{10^{-3}} \sqrt{\frac{4 \times 2,5 \times 51 \times 45 \times 10^{-3}}{\pi \times 4,2 \times 10^{-2}}} - \frac{10^{-2}}{10^{-3}} = 13,18 \text{ km}$$

Do đó, vì thời gian xung rất ngắn đối với bộ phát laser này, trong khi sử dụng hệ thống kính viễn vọng, nên ngay cả thời gian phơi nhiễm ngắn nhất của mắt với bức xạ laser cũng có thể nguy hiểm ở các khoảng cách nhỏ hơn 13,18 km tính từ bộ phát laser.

B.7 Phản xạ khuếch tán và các nguồn kéo dài

Ví dụ về quan sát các nguồn kéo dài là:

- Bức xạ laser trong dải bước sóng 400 nm đến 1 400 nm khi nó được phản xạ từ bề mặt khuếch tán (nguồn biểu kiến).
- Hình ảnh tạo ra trên võng mạc của mắt bởi phản xạ khuếch tán lớn hơn hình ảnh võng mạc tối thiểu nhất định, được xác định bởi góc trương giới hạn α_{\min} , trong đó α_{\min} bằng 1,5 mrad và được đo ở khoảng cách không nhỏ hơn 100 mm từ nguồn biểu kiến (xem 5.4).

IEC 60825-10 đưa ra ba vùng phân biệt để quan sát phản xạ khuếch tán. Xét nguồn phản xạ khuếch tán có đường kính điểm D thì α_{\min} được kết hợp với dải r_{\max} ($= D/\alpha_{\min}$) vượt quá giá trị tồn tại các điều kiện quan sát nguồn nhỏ. Điều này xác định một trong ba vùng quan sát phản xạ khuếch tán. Vùng thứ hai tồn tại khi góc trương $\geq \alpha_{\max} = 0,1$ rad ứng với dải r_{\min} ($= D/\alpha_{\max}$). Giữa r_{\min} và r_{\max} là vùng chuyển tiếp giữa các điều kiện hình ảnh võng mạc rất lớn và các điều kiện quan sát nguồn nhỏ. TR 60825-10 thể hiện lưu đồ hỗ trợ mạnh cho việc tính toán phạm vi nguy hiểm, tuy nhiên, trước khi xử lý trên ô 2 của lưu đồ này, cần kiểm tra rằng $r_{\max} \geq 100$ mm; nếu không sẽ nhảy đến ô 7A hoặc 7B của lưu đồ tùy thuộc vào đơn vị của MPE. Một cách tương tự, kiểm tra xem $r_{\min} \geq 100$ mm; nếu không nhảy đến ô 5A hoặc 5B của lưu đồ tùy thuộc vào đơn vị của MPE.

Ví dụ B.7.1

Bức xạ từ bộ laser Nd:YAG đóng cắt Q ($\lambda = 1\,064$ nm, $t = 10^{-8}$ s) được mở rộng để tạo chùm tia có đường kính 2 cm trước khi được phản xạ từ bộ khuếch tán hoàn hảo.

TCVN 12670-14:2020

- Các điều kiện quan sát nguồn mở rộng tồn tại trong phạm vi nào?
- MPE bằng bao nhiêu ở khoảng cách 2,5 m tính từ bộ khuếch tán?

Lời giải:

Góc trường được xác định bằng công thức:

$$\alpha = 2 \arctan \frac{d_{63}}{2r_1} = \frac{d_{63}}{r_1}$$

trong đó d_{63} là đường kính của chùm tia laser tại đích khuếch tán.

- Trong trường hợp giới hạn $\alpha = \alpha_{\min}$ và, do đó,

$$r_{1,\max} = \frac{d_{63}}{\alpha_{\min}}$$

Đối với ví dụ này

$$r_{1,\max} = \frac{0,02 \text{ m}}{1,5 \times 10^{-3} \text{ rad}} = 13,3 \text{ m}$$

Ở các khoảng cách lớn hơn $r_{1,\max} = 13 \text{ m}$, tồn tại các điều kiện quan sát nguồn nhỏ.

Nguồn nhỏ MPE đối với thời gian phơi nhiễm quy định được cho bởi (xem Bảng 5):

$$H_{\text{MPE}} = 5 \times 10^{-2} \times C_7 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

trong đó $C_7 = 1$ đối với $\lambda = 1064 \text{ nm}$ (xem Bảng 8). Do đó

$$H_{\text{MPE}} = 5 \times 10^{-2} \times 1 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2} = 5 \times 10^{-2} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

- Ở các khoảng cách nhỏ hơn $r_{1,\max} = 13 \text{ m}$, tồn tại các điều kiện quan sát nguồn kéo dài.

MPE đối với thời gian phơi nhiễm quy định được cho bởi (xem Bảng 6):

$$H_{\text{MPE}} = 5 \times 10^{-2} \times C_6 \times C_7 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

trong đó $C_7 = 1$ và $C_6 = \alpha/\alpha_{\min}$ đối với $\alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max}$ (trong đó $\alpha_{\max} = 0,1 \text{ rad}$).

Ở khoảng cách $r_1 = 2,5 \text{ m}$,

$$\alpha = \frac{d_{63}}{r_1} = \frac{0,020 \text{ m}}{2,5 \text{ m}} = 8 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

và

$$C_6 = \frac{\alpha}{\alpha_{\min}} = \frac{8,0 \times 10^{-3} \text{ rad}}{1,5 \times 10^{-3} \text{ rad}} = 5,33$$

Do đó, MPE đối với quan sát của nguồn kéo dài ở 2,5 m là

$$H_{\text{MPE}} = 5 \times 10^{-2} \times 5,33 \times 1 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2} = 0,27 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Ví dụ B.7.2

Tim năng lượng bức xạ lớn nhất từ bộ phát laser trong ví dụ B.7.1 cho phép quan sát không nguy hiểm đầu ra được phản xạ từ bộ phản xạ hoàn hảo đặt cách mắt người quan sát ít hơn 0,2 m.

Lời giải:

Ở các khoảng cách nhỏ hơn 0,20 m, các điều kiện quan sát sao cho góc chấp nhận α lớn hơn $\alpha_{\max} = 0,1$ rad:

$$\alpha = \frac{d_{63}}{r_1} = \frac{0,020 \text{ m}}{0,20 \text{ m}} = 0,10 \text{ rad}$$

Phơi nhiễm bức xạ chùm tia tới có khả năng tạo ra phản xạ khuếch tán nguy hiểm trong điều kiện quan sát nguồn kéo dài này có thể tính được bằng cách thể hiện MPE của phản xạ khuếch tán dưới dạng bức xạ tích hợp. Điều này được thực hiện bằng cách chia MPE của phản xạ khuếch tán thể hiện bằng phơi nhiễm bức xạ cho góc khối tạo bởi góc chấp nhận lớn nhất. Trong trường hợp góc chấp nhận lớn nhất, α_{\max} , bằng 0,1 rad ứng với góc khối, Ω , được cho bởi $\Omega = \pi (\alpha_{\max}/2)^2 = 7,85 \times 10^{-3} \text{ sr}$ và MPE của phản xạ khuếch tán được thể hiện dưới dạng bức xạ tích hợp bằng

$$L_{\text{MPE}} = (C_E/\Omega) \times H_{\text{MPE, small source}} = (66,66/7,85 \times 10^{-3}) \times H_{\text{MPE, small source}}$$

$$L_{\text{MPE}} = 8,5 \times 10^3 \times H_{\text{MPE, small source}} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$$

MPE bức xạ tích hợp đối với vấn đề này được tính bằng cách thay MPE nguồn nhỏ có được trong ví dụ B.5.2:

$$L_{\text{MPE}} = 8,5 \times 10^3 \times 5,0 \times 10^{-2} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1} = 425 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$$

Bức xạ tích hợp của phản xạ khuếch tán có quan hệ với phơi nhiễm bức xạ chùm tia tới tại đích thông qua phương trình

$$H = \pi \times L_p$$

Do đó, phơi nhiễm bức xạ đủ để tạo ra phản xạ nguy hiểm từ hệ số phản xạ 100 %, đích phản xạ trắng là

$$H_{\text{MPE}} = \pi \text{ sr} \times L_{\text{MPE}} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1} = 1,34 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Cuối cùng, giả thiết là năng lượng bức xạ được phân bố đều trên diện tích điểm đích của chùm tia, A, năng lượng bức xạ đủ để tạo ra phản xạ nguy hiểm là

$$Q_{\text{MPE}} = H_{\text{MPE}} \times A = H_{\text{MPE}} \times (\pi/4) \times d_{63}^2 = 1,34 \times 10^3 \times (\pi/4) \times 0,02^2 = 0,42 \text{ J}$$

Ví dụ B.7.3

Tính khoảng cách an toàn tối thiểu vuông góc với màn chắn khuếch tán hoàn hảo nếu đầu ra từ bộ phát laser trong ví dụ B.5.2 hội tụ tại màn chắn.

TCVN 12670-14:2020

Lời giải:

Trong trường hợp này, bức xạ được phản xạ bán cầu ra phía ngoài từ điểm tiêu cự trên đích Lambert khuếch tán; do đó, áp dụng các điều kiện quan sát nguồn nhỏ. Ở khoảng cách r_1 từ nguồn Lambert, phơi nhiễm bức xạ được cho bởi:

$$H = \left(\frac{Q \cos \theta}{\pi r_1^2} \right)$$

trong đó θ là góc quan sát vuông góc với bề mặt.

Khoảng cách nguy hiểm danh nghĩa cho mắt, NOHD, đối với nguồn Lambert tính được từ MPE phơi nhiễm nguồn nhỏ như sau:

$$NOHD = \sqrt{\frac{Q \cos \theta}{\pi H_{MPE, \text{small source}}}}$$

Đầu ra năng lượng bức xạ lớn nhất của bộ phát laser có được trong ví dụ trước đây là 0,42 J, và góc quan sát quy định là $\theta = 0$ rad. Giả thiết là đích cũng phản xạ hoàn hảo, khoảng cách quan sát nhỏ nhất an toàn là

$$NOHD = \sqrt{\frac{0,42 \times \cos(0)}{\pi \times 0,05}} = 1,6 \text{ m}$$

B.8 Bảo vệ mắt

Mật độ quang D_λ của kính mắt bảo vệ ở bước sóng laser cần đủ để giảm bức xạ truyền xuống thấp hơn MPE áp dụng cho thời gian phơi nhiễm lớn nhất dự đoán được một cách hợp lý (xem 8.4.5.2.2). Giá trị D_λ cần thiết để có mức bảo vệ mắt cần thiết có thể được tính từ công thức (B.9) hoặc công thức (B.10)

$$D_\lambda = \log_{10} \left(\frac{E_o}{MPE} \right) \quad (\text{B.9})$$

trong đó E_o là độ rọi lớn nhất kỳ vọng với mắt không có bảo vệ và MPE được thể hiện là độ rọi hoặc

$$D_\lambda = \log_{10} \left(\frac{H_o}{MPE} \right) \quad (\text{B.10})$$

trong đó H_o là phơi nhiễm bức xạ lớn nhất kỳ vọng với mắt không có bảo vệ và MPE được thể hiện là phơi nhiễm bức xạ.

Ví dụ B.8.1

Xác định mật độ quang của kính mắt bảo vệ đối với người vận hành máy định tầm laser quy định trong ví dụ B.6.6.

Lời giải:

MPE trên xung đối với phơi nhiễm 100 s được tính trong ví dụ B.6.6 là $4,2 \times 10^{-2} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$. Phơi nhiễm bức xạ lên những người đứng trực tiếp phía trước bộ phát laser được cho bởi:

$$H_o = \left(\frac{4 \times k \times Q}{\pi \times d_{63}^2} \right)$$

trong đó d_{63} được quy định bằng 10 mm, $Q = 45 \text{ mJ}$ và $k = 2,5$ vì cấu trúc chế độ chưa biết, khi đó $H_o = 1\,432 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ và mật độ quang được cho bởi công thức (B.10) là:

$$D_\lambda = \log_{10} \left(\frac{1\,432}{4,2 \times 10^{-2}} \right) = 4,53$$

Thông thường khi liên quan đến an toàn, giá trị này có thể được làm tròn lên đến giá trị nguyên tiếp theo và khi đó sẽ quy định mật độ quang là 5.

Ví dụ B.8.2

Xác định mật độ quang của kính mắt bảo vệ đối với người vận hành máy định tâm laser quy định trong ví dụ B.6.1.

Lời giải:

MPE được quy định là $10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Độ rọi lên những người đứng trực tiếp phía trước bộ phát laser được cho bởi:

$$E_o = \left(\frac{4 \times k \times P}{\pi \times d_{63}^2} \right)$$

trong đó d_{63} được quy định bằng 1 mm, $P = 4 \text{ W}$ và như quy định trong ví dụ B.6.1 có $k = 1$. Vì đường kính chùm tia 1 mm nhỏ hơn lỗ mở giới hạn 7 mm (Bảng 2) ở bước sóng phơi nhiễm (được quy định là 550 nm trong ví dụ B.6.3) nên độ rọi được tính bằng cách sử dụng lỗ mở giới hạn mà không sử dụng đường kính chùm tia trên thực tế, khi đó $E_o = 1,04 \times 10^5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ và mật độ quang được cho bởi công thức (B.9) là:

$$D_\lambda = \log_{10} \left(\frac{1,04 \times 10^5}{10} \right) = 4,0$$

Có thể quy định mật độ quang bằng 4.

B.9 Nhiều nguồn nhỏ

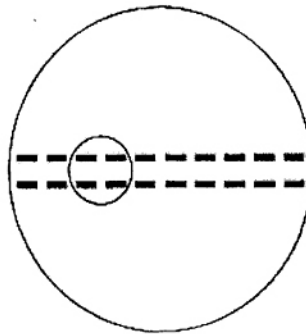
Ví dụ B.9.1: Nguồn mạng điốt laser phức hợp

Tìm MPE áp dụng cho quan sát nội chùm tia đối với phơi nhiễm 10 s ở khoảng cách 1 m từ nguồn mạng điốt laser GaAs (905 nm) phức hợp. Nguồn này gồm hai dãy, mỗi dãy có 10 điốt được lắp phía sau thiết bị quang chuẩn trực. Nguồn này có công suất ra 6 W và tần số lặp xung F là 12 kHz. Thời gian xung là 80 ns. Lỗ mở đầu ra (thấu kính chuẩn trực) có đường kính 5 cm và đường kính chùm tia phát ra là

TCVN 12670-14:2020

3,5 cm tại các điểm có độ rọi đỉnh 1/e (tức là lỗ mở đo hình tròn đường kính 3,5 cm có thể thu nhận 63 % công suất chùm tia). Độ rọi chùm tia hướng trục (trung bình) ở khoảng cách 1 m là $3,6 \times 10^3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Độ phân kỳ chùm tia là 25 mrad theo chiều ngang và 3 mrad theo chiều dọc, và ở khoảng cách 1 m tính đến lỗ mở đầu ra, kích cỡ chùm tia xấp xỉ 3,0 cm \times 3,8 cm, một cách tương ứng.

Ảnh nội chùm tia (sử dụng phim hồng ngoại) được chụp ở khoảng cách 1 m tính từ lỗ mở đầu ra cho thấy từng đốt tương tự một ảnh dạng đường thẳng được chiếu có chiều dài 2,2 mrad và nhỏ hơn 0,5 mrad chiều ngang. Mỗi đốt được phân tách bởi góc tính giữa hai tâm là 3,0 mrad, và hai dây được cách nhau một góc 2,3 mrad (xem Hình B.1). Bằng cách sử dụng bộ chuyển đổi ảnh hồng ngoại với bộ lọc OD 4 để giảm lóa, nhận thấy rằng các phân cách về góc này là không đổi từ tất cả các khoảng cách quan sát trong phạm vi từ 10 cm đến 2 m.¹



Hình B.1 – Mạng đốt laser với hai nhóm

Lời giải:

MPE áp dụng cho mạng đốt laser là MPE khắc nghiệt nhất tạo ra từ đánh giá của từng nguồn riêng rẽ và từng nhóm có thể có của mạng đốt. Tuy nhiên, đánh giá này có thể được đơn giản đi rất nhiều bằng cách sử dụng giả thiết là tất cả các công suất bức xạ phát ra từ nguồn một điểm. Việc này cũng luôn cường điệu nguy hiểm, và nếu nó không tạo ra các biện pháp kiểm soát khắc nghiệt quá mức thì không phải thực hiện phân tích phức tạp hơn với nguồn kéo dài.

Việc xác định MPE áp dụng được (khắc nghiệt nhất) đòi hỏi cách tiếp cận thử-sai lỗi, vì MPE đối với một đốt, hai đốt liền kề, nhóm ba hoặc bốn, v.v... và toàn bộ mạng đốt cần được tính, thừa nhận rằng trong từng trường hợp công suất hoặc năng lượng được lấy trung bình trên góc tương α áp dụng cho nhóm đó. Sẽ là hữu ích nếu vẽ bản đồ của nguồn để nghiên cứu các tổ hợp khác nhau của các đốt (xem Hình B.1). Số lượng tổng của các xung N trong phơi nhiễm 10 s là 120 000.

MPE xung đơn đối với đánh giá nhiều xung được cho bởi công thức sau (bằng cách sử dụng Bảng 6 đối với xung 80 ns):

¹ Đáp ứng này được giải thích trong Chương 15 của Sliney and Wolbarsht, *Safety with lasers and other optical sources*, New York: Plenum Publishing Co., 1980.

$$\begin{aligned}
 H_{MPE,train} &= C_5 \times 5 \times 10^{-3} C_4 C_6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2} \\
 &= 120\,000^{-0,25} \times 5 \times 10^{-3} \times 2,57 C_6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2} \\
 &= 6,9 \times 10^{-4} C_6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}
 \end{aligned}$$

Để so sánh MPE xung đơn với độ rọi trung bình của chùm tia, sẽ là thuận tiện nếu thể hiện MPE ở trên (được thể hiện bằng phơi nhiễm bức xạ) là độ rọi được lấy trung bình trên các xung F trên giây như sau:

$$\begin{aligned}
 E_{MPE,train,F} &= H_{MPE,train} \times F \\
 &= 6,9 \times 10^{-4} C_6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2} \times 1,2 \times 10^4 \text{ Hz} \\
 &= 8,28 C_6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}
 \end{aligned}$$

MPE xung đơn đối với đánh giá công suất trung bình cho bởi công thức dưới đây (bằng cách sử dụng Bảng 6 đối với phơi nhiễm 10 s):

$$\begin{aligned}
 H_{MPE,avg} &= 18 \times t^{0,75} C_4 C_6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2} \\
 &= 18 \times 10^{0,75} \times 2,57 C_6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2} \\
 &= 260 \times C_6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}
 \end{aligned}$$

MPE nêu trên, được thể hiện bằng phơi nhiễm bức xạ, cũng có thể được thể hiện bằng độ rọi lấy trung bình trên phơi nhiễm 10 s như sau:

$$\begin{aligned}
 E_{MPE,avg} &= H_{MPE,avg}/t \\
 &= 260 \times C_6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2} / (10 \text{ s}) \\
 &= 26 \times C_6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}
 \end{aligned}$$

Vì C_6 chỉ phụ thuộc vào góc trường của nhóm điốt, nên nó có giá trị giống nhau trong các công thức đối với $E_{MPE,train,F}$ và $E_{MPE,avg}$. Do đó, đối với ví dụ này $E_{MPE,train,F}$ luôn khắc nghiệt nhất.

Nhóm một điốt

Các góc trường của từng điốt là 0,5 mrad (theo chiều dọc) và 2,2 mrad (theo chiều ngang). MPE đối với các nguồn chữ nhật được xác định bằng trung bình số học của hai góc trường. Như nêu trong 3.3.3, trước khi xác định giá trị trung bình này, góc trường bất kỳ nhỏ hơn 1,5 mrad hoặc lớn hơn 100 mrad cần được thay bằng 1,5 mrad hoặc 100 mrad tương ứng. Do đó giá trị trung bình được tính như sau:

$$(1,5 + 2,2)/2 \text{ mrad} = 1,85 \text{ mrad}$$

Giá trị này lớn hơn 1,5 mrad nên từng điốt riêng rẽ được coi là một nguồn kéo dài và hệ số hiệu chỉnh là $C_6 = 1,85/1,5 = 1,23$. MPE áp dụng được tính như sau:

$$E_{MPE,diode} = E_{MPE,train,F} = 8,28 \times 1,23 = 10,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

MPE này không áp dụng được cho độ rọi tổng mà chỉ cho độ rọi của từng điốt. Giả thiết là tất cả các điốt đều có phát xạ công suất giống nhau, MPE này phải được so sánh với độ rọi tổng chia cho số lượng điốt, tức là 20.

$$E_{dlode} = E_{total}/20 = 3\,600/20 = 180 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

Ở khoảng cách 1 m, MPE này bị vượt quá bởi một hệ số $180/10,2 = 17,6$ lần.

TCVN 12670-14:2020

Nhóm hai điốt theo chiều ngang

Nhóm hợp lý của mạng để xét là hai điốt liền kề theo chiều ngang tương các góc 0,5 mrad (theo chiều dọc) và 5,2 mrad (theo chiều ngang). Thay 0,5 mrad bằng 1,5 mrad như nêu trong 4.3.3, trung bình số học của hai kích thước góc là $(1,5 + 5,2)/2$ mrad = 3,35 mrad. Hệ số hiệu chỉnh là $C_6 = 3,35/1,5 = 2,23$ và MPE áp dụng được tính như sau:

$$E_{MPE,hor,two} = E_{MPE,train,F} = 8,28 \times 2,23 = 18,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

Vì độ rọi của nhóm này bằng hai lần độ rọi của điốt đơn nên MPE này phải được so sánh như sau:

$$E_{two} = E_{diode} \times 2 = 180 \times 2 = 360 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

Ở khoảng cách 1 m, hệ số nguy hiểm bằng $360/18,5 = 19,5$. Do đó, nhóm hai điốt này tạo ra hệ số nguy hiểm lớn hơn (tức là MPE dè dặt hơn) so với nhóm một điốt.

Nhóm hai điốt theo chiều dọc

Một cách chia khác của mạng để xem xét là hai điốt theo chiều dọc tương các góc 2,8 mrad (theo chiều dọc) và 2,2 mrad (theo chiều ngang). Giá trị trung bình của hai kích thước góc là 2,5 mrad. Do đó hệ số hiệu chỉnh $C_6 = 2,5/1,5 = 1,67$. MPE áp dụng được tính như sau:

$$E_{MPE,vert,two} = E_{MPE,train,F} = 8,28 \times 1,67 = 13,8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

Độ rọi của nhóm này bằng hai lần độ rọi của điốt đơn nên MPE này phải được so sánh như sau:

$$E_{two} = E_{diode} \times 2 = 180 \times 2 = 360 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

Ở khoảng cách 1 m, hệ số nguy hiểm bằng $360/13,8 = 26,1$. Do đó, nhóm hai điốt này tạo ra hệ số nguy hiểm lớn hơn nhóm trước.

Nhóm bốn điốt

Một cách chia hợp lý khác của mạng để xem xét là bốn điốt liền kề (2×2) tương các góc 2,8 mrad (theo chiều dọc) và 5,2 mrad (theo chiều ngang). Giá trị trung bình của hai kích thước góc là 4 mrad. Do đó hệ số hiệu chỉnh $C_6 = 4/1,5 = 2,67$. MPE áp dụng được tính như sau:

$$E_{MPE,four} = E_{MPE,train,F} = 8,28 \times 2,67 = 22,1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

Độ rọi của nhóm này bằng bốn lần độ rọi của điốt đơn nên MPE này phải được so sánh như sau:

$$E_{four} = E_{diode} \times 4 = 180 \times 4 = 720 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

Ở khoảng cách 1 m, hệ số nguy hiểm bằng $720/22,1 = 32,5$. Do đó, nhóm hai điốt này tạo ra hệ số nguy hiểm lớn hơn nhóm trước.

Một hàng 10 điốt

Một cách chia thú vị khác để đánh giá là toàn bộ một hàng gồm 10 điốt tương các góc 0,5 mrad (theo chiều dọc) và 29,2 mrad (theo chiều ngang). Thay 0,5 mrad bằng 1,5 mrad như nêu trong 4.3.3, giá trị

trung bình của hai kích thước góc là $(1,5 + 29,2)/2$ mrad = 15,3 mrad. Do đó hệ số hiệu chỉnh $C_6 = 15,3/1,5 = 10,2$. MPE áp dụng được tính như sau:

$$E_{MPE,ten} = E_{MPE,train,F} = 8,28 \times 10,2 = 84,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

Vì nhóm này gồm 10 điốt, nên MPE này phải được so sánh như sau:

$$E_{ten} = E_{diode} \times 10 = 180 \times 10 = 1\,800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

Ở khoảng cách 1 m, hệ số nguy hiểm bằng $1\,800/84,5 = 21,3$.

Nhóm 20 điốt

Nhóm cuối cùng cần xem xét trong ví dụ này là đánh giá toàn bộ mạng gồm 20 điốt. Vì các điốt được xếp thành hai dãy liền kề nên góc trường theo chiều dọc đồng nhất với giá trị trong phân nhóm 4 điốt, tức là 2,8 mrad, còn góc trường theo chiều ngang là 29,2 mrad. Giá trị trung bình là 16 mrad, hệ số hiệu chỉnh $C_6 = 16/1,5 = 10,7$, và MPE áp dụng được tính như sau:

$$E_{MPE,twenty} = E_{MPE,train,F} = 8,28 \times 10,7 = 88,3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

Ở khoảng cách 1 m, hệ số nguy hiểm bằng $3\,600/88,3 = 40,7$. Đây là hệ số nguy hiểm cao nhất tìm thấy trong ví dụ này.

Bằng các tính toán có thể thấy rằng các nhóm khác, ví dụ ba điốt liền kề theo chiều ngang, sáu điốt liền kề (2×3), v.v. cho các hệ số nguy hiểm nhỏ hơn 40,7. Do đó 40,7 là hệ số nguy hiểm được sử dụng để đánh giá nguy hiểm của mạng điốt này.

Lưu ý bổ sung

Quan trọng là lưu ý rằng trong các tình huống khác, trường hợp giới hạn có thể đạt được từ việc phân nhóm của một phần của nguồn, mà không bởi nhóm của toàn bộ nguồn. Ví dụ, chúng ta có thể xem xét mạng khác gồm 20 điốt được bố trí thành hai hàng, mỗi hàng 10 điốt với các kích thước góc của các điốt và các khoảng cách theo chiều dọc giống như trong ví dụ nêu trên, nhưng với khoảng cách giữa hai tâm theo chiều ngang là 6 mrad.

Trong trường hợp mới này, góc trường cần được sử dụng cho toàn bộ mạng điốt là $(2,8 + 56,2)/2$ mrad = 29,5 mrad và MPE khác nghiêm ngặt nhất được cho bởi $E_{MPE,train,F}$. Do đó, hệ số hiệu chỉnh $C_6 = 29,5/1,5 = 19,7$ và MPE áp dụng được là:

$$E_{MPE,twenty} = E_{MPE,train,F} = 8,28 \times 19,7 = 163 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

Hệ số nguy hiểm của toàn bộ mạng điốt là $3\,600/163 = 22,1$.

Do đó, $C_6 = 11,5/1,5 = 7,67$. Góc trường của nhóm này là $(2,8 + 20,2)/2 = 11,5$. Do đó, $C_6 = 11,5/11 = 1,05$. MPE áp dụng được là:

$$E_{MPE,eight} = E_{MPE,train,F} = 8,28 \times 7,67 = 63,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

Giá trị này cần được so sánh với giá trị sau:

TCVN 12670-14:2020

$$E_{\text{eight}} = E_{\text{đốt}} \times 8 = 180 \times 8 = 1\,440 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

Hệ số nguy hiểm của nhóm này là $1\,440/63,5 = 22,7$. Vì 22,7 là giá trị lớn nhất nên nó được coi là hệ số nguy hiểm của mạng này.

Thực tế là toàn bộ mạng này cho hệ số nguy hiểm nhỏ hơn hệ số nguy hiểm của nhóm 8 điốt không có nghĩa là toàn bộ mạng, tức là cụm 20 điốt, ít nguy hiểm hơn cụm 8 điốt. Ý nghĩa của kết quả lạ lùng này là ở chỗ, trong trường hợp cụ thể, đánh giá đúng về nguy hiểm không đạt được bằng cách xem xét 20 điốt như một nguồn đồng nhất tương một góc tương 29,5 mrad, mà được cho bởi sự phân tích các phần tạo thành bản thân mạng đó. Điều này là do thực tế là toàn bộ nguồn không phải là đồng nhất.

Mật độ quang yêu cầu

Để bảo vệ người quan sát ở khoảng cách 1 m, hệ số suy giảm 40,7 được yêu cầu trong bộ lọc bảo vệ. Mật độ quang 1,7 tương ứng với hệ số suy giảm 50 và sẽ cung cấp bảo vệ đủ từ bộ phát laser này ở khoảng cách 1 m.

Nhìn chung, cũng cần đảm bảo rằng bộ lọc có thể chịu được mức công suất bức xạ vì, mặc dù bộ lọc có thể có đủ mật độ quang, nhưng nó có thể bị hỏng do bức xạ và do đó mất khả năng bảo vệ.

Bằng việc sử dụng tiếp cận đơn giản của xấp xỉ nguồn điểm thay vì tính toán nhóm, MPE đối với toàn bộ dây có thể bằng $8,28 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Do đó, ở khoảng cách 1 m, xấp xỉ nguồn điểm tạo ra độ rọi vượt quá $MPE\ 3\ 600/8,28 = 435$ lần, yêu cầu OD bằng $\log 435 = 2,64$ hoặc lớn hơn. Lưu ý là xấp xỉ nguồn điểm tạo ra nguy hiểm được ước lượng tại nhiều hơn bốn lần nguy hiểm tạo ra bởi tiếp cận phân nhóm điốt chính xác hơn.

Sử dụng thiết bị quang

Kính viễn vọng và ống nhòm thông thường không thể hội tụ các đối tượng ở khoảng cách 1 m. Tuy nhiên, đối với mục đích của ví dụ này, việc sử dụng thiết bị công suất 3× để quan sát bộ phát laser ở 1 m được xem xét. Điều này yêu cầu các phân tích bổ sung sau.

Lỗ mở của thiết bị này là 21 mm, nhỏ hơn các kích thước của chùm tia. Do đó, công suất được tăng lên bởi hệ số $3^2 = 9$. Các kích thước góc của dây được tăng lên bởi hệ số 3 do độ khuếch đại của thiết bị công suất là 3×. Do đó, cần thực hiện tính toán như báo cáo trước đây, nhưng có xét đến các giá trị mới đối với các kích thước góc và công suất của từng nhóm.

Vì phương pháp đo đòi hỏi góc chấp nhận lớn nhất $\alpha_{\text{max}} = 100 \text{ mrad}$ để thu nhận bức xạ (xem 4.3.3), khi một trong hai kích thước góc của nhóm, ví dụ một theo chiều ngang (chỉ thị bởi α_{hor}) lớn hơn α_{max} , công suất của nhóm cần được giảm xuống bởi hệ số $\alpha_{\text{max}}/\alpha_{\text{hor}}$, để loại trừ phần của nguồn nằm bên ngoài góc chấp nhận. Thêm vào đó, góc tương bất kỳ cần được giới hạn ở α_{max} trước khi xác định giá trị trung bình số học được sử dụng để tính C_6 , như nêu trong 4.3.3. Tuy nhiên trong ví dụ cụ thể này, tất cả các góc tương đều nhỏ hơn α_{max} .

Xét việc quan sát có hỗ trợ bởi thiết bị quang này, phân tích các nhóm điốt khác nhau cho thấy giá trị cao nhất của hệ số nguy hiểm được cho bởi nhóm toàn bộ dây gồm 20 điốt. Giá trị này bằng 122, đòi hỏi mật độ quang bổ sung là $\log 122 = 2,1$.

Cần lưu ý là trong các tình huống khác, việc đánh giá sẽ đơn giản hơn khi nguồn là đồng nhất, khi chùm tia lớn hơn lỗ mở của thiết bị quang công suất $3\times$ và khi các góc trường của từng nhóm (kể cả toàn bộ dây) nằm trong phạm vi từ α_{\min} đến α_{\max} đối với cả quan sát có hỗ trợ và không có hỗ trợ. Trên thực tế, trong trường hợp này thiết bị quang cần tập trung khoảng 9 lần công suất nhưng nguồn có thể xuất hiện lớn hơn 3 lần. Do đó, vì hệ số C_6 lớn hơn 3 lần nên nguy hiểm sinh ra bởi thiết bị quang này cần bằng ba lần nguy hiểm của quan sát không có hỗ trợ.

Trong trường hợp cụ thể này, ngay cả khi nguồn không đồng nhất, hệ số nguy hiểm vào khoảng ba lần hệ số nguy hiểm đối với quan sát không có hỗ trợ. Tuy nhiên, trong các trường hợp khác, các kết quả có thể rất khác nhau.

Giả thiết là ống nhòm có hệ số truyền khoảng 70 % ở bước sóng này, cung cấp mật độ quang bổ sung này là 0,15, mật độ quang cần thiết với thiết bị quang công suất $3\times$ là: $OD = 2,1 - 0,15 = 1,95$. Do đó, OD bằng 1,95 hoặc lớn hơn có thể cung cấp bảo vệ cho cả quan sát nội chùm tia trực tiếp có hỗ trợ hoặc không hỗ trợ ở khoảng cách 1 m tính từ lỗ mở đầu ra.

Phụ lục C

(tham khảo)

Lưu ý về lý sinh

C.1 Giải phẫu mắt

Xem Hình C.1.

C.1.1 Hình C.1 (A)

Sơ đồ của các đặc trưng bên ngoài của mắt trái. Khe hở giữa các mí mắt phủ lên trên sẽ giới hạn trường nhìn (FOV) của mắt ở hình dạng hạt hạnh nhân. Các đặc trưng chính của phần phía trước của mắt được gắn tên, và các đường chấm chấm và mũi tên thể hiện quan hệ giữa chúng với các phần của mắt.

C.1.2 Hình C.1 (B)

Mặt cắt ngang dạng biểu đồ của mắt trái. Mắt được chia thành hai phần, phần phía trước được bao bởi giác mạc, móng mắt và thấu kính, và phần cốc mắt phía sau được bao bởi võng mạc và chứa dịch thủy tinh dạng gel.

C.1.3 Hình C.1 (C)

Bên trong phần mắt không chạm tới được được nhìn thông qua kính soi đáy mắt. Thiết bị này chiếu trực tiếp chùm tia sáng qua con ngươi và rơi vào bên trong mắt để cho phép nhìn thấy mắt. Hình ảnh quan sát được đáy mắt. Nó có màu hơi đỏ nhưng có thể nhìn rõ tĩnh mạch võng mạc. Các đặc trưng nổi bật khác là đĩa quang màu hơi trắng và hố mắt. Hố mắt là điểm lõm nhỏ trên bề mặt võng mạc mà có thể có sắc tố nhiều hơn võng mạc xung quang và là vùng nhìn chính xác nhất. Hố mắt là tâm của điểm vàng; điểm vàng dùng để nhìn chi tiết.

C.1.4 Hình C.1 (D)

Kết cấu của võng mạc như nhìn trên mặt phẳng cắt của Hình D.1 (B) nhưng được khuếch đại vài trăm lần so với thực tế. Võng mạc gồm một loạt các lớp tế bào thần kinh chồng lên các thanh nhạy sáng và tế bào thụ thể dạng nón; tức là ánh sáng rơi trên bề mặt của võng mạc phải đi qua các lớp tế bào thần kinh của biểu mô sắc tố có chứa các sắc tố đen hơi nâu; và bên dưới là lớp mạch máu nhỏ, màng trạch. Lớp hấp thụ cuối cùng là màng trạch có chứa cả tế bào sắc tố và mạch máu.

C.1.5 Hình C.1 (E)

Kết cấu của vùng hố mắt được phóng đại lên hàng trăm lần. Ở đây chỉ thể hiện dạng hình nón. Các tế bào thần kinh được dịch chuyển theo hướng kính ra khỏi vùng quan sát chính xác nhất này. Sắc tố đen mà hấp thụ mạnh bước sóng từ 400 nm đến 500 nm, được nằm trong lớp sợi của Henle.

C.2 Ảnh hưởng của bức xạ laser lên các mô sinh học

Cơ chế mà bức xạ laser gây ra hư hại tương tự nhau đối với tất cả các hệ thống sinh học và có thể liên quan đến sự tương tác lẫn nhau của nhiệt, chuyển tiếp âm-nhiệt, các quá trình quang hóa và các ảnh hưởng không tuyến tính khác. Mức độ mà các cơ chế này chịu trách nhiệm cho việc hư hại đều có thể liên quan đến một số tham số vật lý của nguồn bức xạ mà quan trọng nhất là bước sóng, thời gian xung, kích cỡ hình ảnh, độ rọi và phơi nhiễm bức xạ.

Nhìn chung, trong phơi nhiễm cao hơn ngưỡng, cơ chế chiếm ưu thế có liên quan nhiều đến thời gian xung của phơi nhiễm. Do đó, khi tăng thời gian xung, các ảnh hưởng chiếm ưu thế trong vùng thời gian dưới đây là:

- trong các phơi nhiễm nano giây và ngắn hơn nano giây, các vi lỗ hồng, chuyển tiếp âm thanh và các ảnh hưởng không tuyến tính,
- từ khoảng 100 μ s đến vài giây, ảnh hưởng nhiệt, và
- lớn hơn khoảng 10 s, ảnh hưởng quang hóa.

Bức xạ laser được phân biệt với hầu hết các kiểu bức xạ đã biết khác bởi sự chuẩn trực của chùm tia và độ bức xạ cao. Điều này, cùng với năng lượng ban đầu cao, tạo ra lượng năng lượng quá mức được truyền vào các mô sinh học. Sự kiện sơ cấp trong kiểu hồng bất kỳ do bức xạ laser đến hệ thống sinh học là sự hấp thụ bức xạ quang bởi hệ thống đó. Hấp thụ xảy ra ở mức nguyên tử hoặc phân tử và là quá trình cụ thể của bước sóng. Do đó, nó là bước sóng xác định mô nào có nhiều khả năng bị hồng bởi chùm tia laser cụ thể.

Ảnh hưởng về nhiệt. Khi hệ thống hấp thụ đủ năng lượng bức xạ, các phân tử thành phần của nó chịu rung tăng lên, và tăng thành phần nhiệt. Hầu hết hư hại về laser là do nhiệt của các mô hấp thụ. Hư hại nhiệt này thường được giữ trong vùng giới hạn kéo dài sang cả hai phía của vị trí hấp thụ năng lượng laser, và có tâm nằm trên chùm tia rọi. Các tế bào nằm trong vùng này cho thấy đặc tính bông, và hư hại mô chủ yếu do biến chất của protein. Như chỉ ra ở trên, việc xuất hiện cơ chế hư hại thứ cấp do các tác động của laser có thể liên quan đến khoảng thời gian mà mô phản ứng với nhiệt và liên quan trực tiếp đến thời gian xung (xem Hình D.2) và giai đoạn làm mát. Các phản ứng nhiệt hóa xảy ra trong cả hai giai đoạn đốt nóng và làm mát, làm tăng sự phụ thuộc vào kích thước điểm của thương tích do nhiệt. Nếu xung lượng laser dạng xung dài hoặc dạng CW được chiếu thẳng vào mô thì do tính dẫn, vùng mô sinh học chịu nhiệt độ tăng lên sẽ ngày càng lan rộng. Việc lan rộng nhiệt này làm cho vùng hư hại tăng lên khi ngày càng nhiều tế bào được nâng lên cao hơn mức chịu nhiệt của chúng. Kích cỡ ảnh của chùm tia cũng đóng vai trò rất quan trọng vì mức độ lan rộng do tính dẫn là hàm của kích cỡ cũng như nhiệt độ của vùng mô gia nhiệt ban đầu. Kiểu thương tổn nhiệt này thường được thấy trên phơi nhiễm với các thiết bị laser dạng xung dài hoặc CW nhưng cũng xảy ra với các xung ngắn. Đối với các kích cỡ điểm được rọi cỡ 1 mm đến 2 mm hoặc nhỏ hơn, dòng nhiệt hướng kính dẫn đến sự phụ thuộc của thương tích vào kích cỡ điểm.

TCVN 12670-14:2020

Ảnh hưởng quang hóa. Mặt khác, hiệu ứng hư hại có thể là kết quả trực tiếp của quá trình quang hóa. Quá trình này được tạo ra bởi hấp thụ năng lượng ánh sáng cho trước. Khác với việc nhà năng lượng, các loài chịu phản ứng hóa học đơn nhất theo tình trạng bị kích thích của chúng. Phản ứng quang hóa này được cho là nguyên nhân của hư hại ở các mức phơi nhiễm thấp. Bằng cơ chế này, một vài mô sinh học ví dụ như da, thấu kính của mắt, và đặc biệt là võng mạc có thể cho thấy sự thay đổi không đảo ngược gây ra do phơi nhiễm kéo dài với mức trung bình của bức xạ UV và ánh sáng có bước sóng ngắn. Sự thay đổi gây ra do quang hóa này có thể gây ra hư hại đến hệ thống nếu thời gian chiếu rọi quá mức hoặc nếu các phơi nhiễm ngắn hơn lặp lại trong các giai đoạn kéo dài. Một số phản ứng quang hóa được khởi phát bởi phơi nhiễm laser có thể là bất thường hoặc là sự phóng đại các quá trình bình thường. Các phản ứng quang hóa nhìn chung là theo Quy luật Bunsen and Roscoe, đối với khoảng thời gian cỡ 1 h đến 3 h hoặc ít hơn (trong trường hợp cơ chế sửa chữa không thể đối phó với tỷ lệ hư hại); ngưỡng thể hiện là phơi nhiễm bức xạ là không đổi trong dải rộng của thời gian phơi nhiễm. Sự phụ thuộc vào kích cỡ điểm, như xảy ra với các ảnh hưởng về nhiệt do khuếch tán nhiệt, không xảy ra ở đây.

Ảnh hưởng không tuyến tính. Thiết bị laser có công suất giá trị đỉnh cao, dạng xung ngắn (tức là được đóng cắt Q hoặc khóa chế độ) có thể làm tăng hư hại các mô khi kết hợp khác nhau của các cơ chế cảm ứng. Năng lượng được truyền đến đích sinh học trong thời gian rất ngắn và do đó sinh ra độ rọi cao. Các mô đích chịu sự tăng nhanh về nhiệt độ đến mức các thành phần chất lỏng trong các tế bào của chúng bị chuyển thành thể khí. Trong hầu hết các trường hợp, các giai đoạn này nhanh đến mức chúng nổ và các tế bào bị nứt vỡ. Sự truyền áp lực có thể gây ra do dẫn nở nhiệt và cả hai cũng có thể cắt các mô ở xa các lớp hấp thụ do dịch chuyển vật lý lớn. Tại các phơi nhiễm cỡ nhỏ hơn nano giây, việc tự hội tụ của môi chất trong mắt sẽ làm tập trung thêm năng lượng laser từ chùm tia chuẩn trực và làm giảm thêm ngưỡng giữa xấp xỉ 10 ps và 1 ns. Ngoài ra, cơ chế quang không tuyến tính khác xuất hiện để đóng vai trò trong thương tích võng mạc trong vùng nhỏ hơn nano giây.

Tất cả các cơ chế hư hại được mô tả ở trên đều đã cho thấy sự vận hành trong võng mạc, và được phản ánh trong các điểm gây hoặc thay đổi độ dốc trong các mức phơi nhiễm an toàn mô tả trong tiêu chuẩn này.

Bảng C.1 – Tổng hợp các ảnh hưởng bệnh lý liên quan đến phơi nhiễm quá mức với ánh sáng

Vùng phổ theo CIE ^a	Mắt	Da	
Cực tím C (180 nm đến 280 nm)	Viêm giác mạc xạ quang	Ban đỏ (cháy nắng)	Quá trình lão hóa da giá tốc Tăng sắc tố da
Cực tím B (280 nm đến 315 nm)			
Cực tím A (315 nm đến 400 nm)	Đục nhân mắt do quang hóa	Sẫm màu da	Bồng da
Nhìn thấy (400 nm đến 780 nm)	Thương tích võng mạc do quang hóa và nhiệt	Phản ứng nhạy sáng	
Hồng ngoại A (780 nm đến 1 400 nm)	Đục nhân mắt, bồng võng mạc		
Hồng ngoại B (1,4 μm đến 3,0 μm)	Aqueous flare, đục nhân mắt, bồng giác mạc		
Hồng ngoại C (3,0 μm đến 1 mm)	Chỉ bồng giác mạc		
^a Các vùng phổ được xác định bởi CIE là những câu ngắn gọn có ích trong việc mô tả các hiệu ứng sinh học và có thể không hoàn toàn phù hợp với các điểm gãy phổ trong các bảng MPE.			

C.2.1 Nguy hiểm cho mắt

Mô tả ngắn gọn về giải phẫu mắt được cho trong Điều C.1. Mắt được điều tiết đặc biệt để nhận và chuyển đổi bức xạ quang. Các đặc tính hấp thụ của mắt với các bức xạ có bước sóng khác nhau được thể hiện trên Hình C.2 và các bệnh lý gây ra bởi phơi nhiễm quá mức được tổng hợp trong Bảng C.1. Khi đó, các bộ phát laser phát bức xạ cực tím và bức xạ xa hồng ngoại thể hiện nguy hiểm giác mạc trong khi các hệ thống phát bước sóng nhìn thấy và gần hồng ngoại sẽ truyền đến võng mạc.

Các chùm tia laser nhìn thấy và gần hồng ngoại là nguy hiểm đặc biệt cho mắt vì các đặc tính cần thiết cho mắt là bộ chuyển đổi hiệu quả ánh sáng tạo ra phơi nhiễm bức xạ cao được đưa đến các mô nhiều sắc tố. Việc tăng độ rọi từ giác mạc đến võng mạc xấp xỉ tỷ lệ của diện tích con ngươi với hình ảnh của nó trên võng mạc. Việc tăng này xảy ra vì ánh sáng đi vào con ngươi tập trung vào "điểm" trên võng mạc. Con ngươi là lỗ mở thay đổi nhưng đường kính có thể lớn cỡ 7 mm khi giãn nở tối đa trong mắt người trẻ. Hình ảnh trên võng mạc tương ứng với con ngươi có thể có đường kính trong khoảng 10 μm đến 20 μm. Khi xét đến sự sai lệch của giác mạc và sự phân tán nội trong mắt thì việc tăng độ rọi giữa giác mạc và võng mạc cỡ khoảng 2×10^5 .

Nếu giả thiết tăng 2×10^5 , chùm tia $50 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ trên giác mạc trở thành $1 \times 10^7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ trên võng mạc. Trong tiêu chuẩn này, con ngươi 7 mm được coi là lỗ mở giới hạn vì đây là trường hợp xấu nhất và được suy ra từ các con số có được khi đo đường kính đồng tử từ mắt người trẻ tuổi. Có một ngoại lệ cho giả thiết đồng tử 7 mm áp dụng trong việc rút ra các giới hạn phơi nhiễm để bảo vệ chống viêm võng mạc xạ quang trong khi quan sát các nguồn laser ánh sáng nhìn thấy mạnh (400 nm đến 700 nm) trong các khoảng thời gian vượt quá 10 s. Trong trường hợp này, con ngươi 3 mm được giả thiết là điều kiện trường hợp xấu nhất; tuy nhiên lỗ mở trung bình độ rọi 7 mm cho phép đo vẫn được coi là thích hợp do

TCVN 12670-14:2020

dịch chuyển sinh lý của con người trong không gian. Do đó, AEL đối với các thời gian lớn hơn 10 s vẫn được sử dụng đối với lỗ mờ 7 mm.

Nếu chùm tia cường độ mạnh của ánh sáng laser được đưa đến tiêu cự của võng mạc thì chỉ một phần nhỏ của ánh sáng (đến 5 %) sẽ được hấp thụ bởi sắc tố hình ảnh trong các tế bào dạng thanh và dạng nón. Hầu hết ánh sáng sẽ được hấp thụ bởi sắc tố được gọi là hắc tố chứa trong biểu mô sắc tố. (Trong vùng điểm vàng, một số năng lượng trong dải bước sóng 400 nm đến 500 nm sẽ được hấp thụ bởi sắc tố điểm vàng). Năng lượng hấp thụ sẽ đốt nóng cục bộ và sẽ gây bỏng cho cả biểu mô sắc tố và các tế bào dạng thanh hoặc nón nhạy sáng liền kề. Bỏng hoặc thương tổn có thể làm mất khả năng nhìn. Tổn thương do quang hóa, mặc dù không nhiệt, cũng được cục bộ hóa trong các biểu mô sắc tố.

Tùy thuộc vào biên độ phơi nhiễm, việc mất thị lực có thể vĩnh viễn hoặc không. Giảm thị lực sẽ thường được ghi lại một cách chủ quan bởi từng cá nhân phơi nhiễm chỉ khi liên quan đến vùng tâm hoặc vùng hố mắt của điểm vàng. Hố mắt, phần lõm tại tâm của điểm vàng, là phần quan trọng nhất của võng mạc vì nó chịu trách nhiệm trong việc nhìn sắc nét nhất. Nó là một phần của võng mạc được sử dụng để "nhìn thẳng vào vật thể". Góc nhìn này được tương đương bởi hố mắt xấp xỉ bằng góc được tương đương bởi mặt trăng. Nếu vùng này bị hư hại, việc giảm thị lực có thể xuất hiện ban đầu là điểm trắng mờ làm mờ vùng tâm của thị lực; tuy nhiên, trong hai tuần tiếp theo hoặc nhiều hơn, nó có thể chuyển thành điểm đen. Cuối cùng, nạn nhân sẽ không nhận thấy điểm mù (ám điểm) trong thị lực bình thường. Tuy nhiên, có thể bộc lộ tức thì khi nhìn vào một phòng trống rỗng ví dụ một tờ giấy trắng. Thương tổn ngoại vi sẽ chỉ được ghi nhận chủ quan khi xảy ra hư hại võng mạc nặng. Các thương tổn ngoại vi nhỏ sẽ không gây chú ý và thậm chí có thể không được phát hiện trong quá trình kiểm tra mắt một cách hệ thống.

Trong dải bước sóng từ 400 nm đến 1 400 nm, nguy hiểm lớn nhất là hư hại võng mạc. Giác mạc, dịch lỏng, thủy tinh thể và dịch thủy tinh là trong suốt đối với bức xạ của các bước sóng này. Trong trường hợp chùm tia chuẩn trực, nguy hiểm không phụ thuộc vào khoảng cách giữa nguồn bức xạ và mắt, vì ánh sáng võng mạc được coi là điểm giới hạn nhiễu xạ có đường kính xấp xỉ 10 μm đến 20 μm . Trong trường hợp này, giả thiết cân bằng nhiệt, vùng nguy hiểm võng mạc được xác định bằng góc tương đương giới hạn α_{min} , thường tương ứng với điểm trên võng mạc có đường kính xấp xỉ 25 μm .

Trong trường hợp nguồn kéo dài, nguy hiểm thay đổi theo khoảng cách quan sát giữa nguồn và mắt vì trong khi bức xạ võng mạc tức thời chỉ phụ thuộc vào bức xạ của nguồn và vào đặc tính thấu kính của mắt, sự truyền năng lượng nhiệt từ các ảnh trên võng mạc lớn hơn có hiệu quả kém hơn dẫn đến sự phụ thuộc vào kích cỡ điểm ảnh trên võng mạc đối với thương tích về nhiệt nhưng không xảy ra đối với thương tích quang hóa (chủ yếu chiếm ưu thế trong vùng phổ từ 400 nm đến 600 nm). Ngoài ra, các dịch chuyển của mắt mở rộng thêm năng lượng hấp thụ đối với các phơi nhiễm laser CW dẫn đến sự phụ thuộc khác nhau của rủi ro đối với các kích cỡ ảnh võng mạc khác nhau.

Khi rút ra các giới hạn đối với phơi nhiễm mắt trong vùng nguy hiểm võng mạc, các hệ số hiệu chỉnh đối với dịch chuyển của mắt chỉ áp dụng đối với khoảng thời gian quan sát vượt quá 10 s. Mặc dù dịch chuyển sinh lý của mắt được biết đến như sự di chuyển mắt cụ thể làm lan rộng năng lượng hấp thụ

trong các hình ảnh võng mạc nhỏ nhất (cỡ 25 μm hoặc nhỏ hơn) trong khoảng thời gian từ 0,1 s đến 10 s, các giới hạn cung cấp hệ số an toàn bổ sung mong muốn đối với điều kiện quan sát này. Ở 0,25 s, điểm võng mạc trung bình được chiếu rọi xấp xỉ 50 μm . Đến 10 s, vùng võng mạc được chiếu rọi trở nên xấp xỉ 75 μm và hệ số an toàn cộng thêm đối với điều kiện ảnh nhỏ nhất trở thành 1,7 với mắt ổn định, có tính đến sự phụ thuộc vào kích cỡ điểm. Đến 100 s, hiếm khi đạt được vùng được chiếu rọi (được đo ở 50 % số điểm) nhỏ cỡ 135 μm dẫn đến hệ số an toàn bổ sung là 2,3 hoặc lớn hơn trong điều kiện ảnh nhỏ nhất.

Dữ liệu từ các nghiên cứu chuyển động của mắt và thương tích võng mạc do nhiệt được kết hợp lại để rút ra điểm gãy trong thời gian quan sát T_2 tại đó chuyển động của mắt được bù với rủi ro về lý thuyết tăng cao của thương tích do nhiệt trong các khoảng thời gian phơi nhiễm võng mạc tăng nếu mắt không chuyển động. Vì ngưỡng thương tích do nhiệt được thể hiện là công suất bức xạ đi vào mắt giảm theo thời gian phơi nhiễm t được tăng đến -0,25 công suất (tức là chỉ giảm 44 % khi thời gian phơi nhiễm tăng 10 lần), chỉ những lần tăng vừa phải về diện tích võng mạc bị phơi nhiễm sẽ bù cho rủi ro tăng lên đối với thời gian quan sát dài hơn. Diện tích võng mạc được chiếu rọi tăng lên do các chuyển động của mắt nhiều hơn với thời gian quan sát tăng sẽ mất lâu hơn khi bù tác động giảm của sự truyền nhiệt trong các nguồn kéo dài lớn hơn. Do đó, đối với góc trường α tăng, điểm gãy T_2 tăng từ 10 s đối với các nguồn nhỏ lên 100 s đối với các nguồn lớn hơn. Quá 100 s, rủi ro thương tích do nhiệt sẽ không tăng thêm đối với các hình ảnh có kích cỡ nhỏ và trung bình. Quy định kỹ thuật về các giới hạn và điều kiện đo để cố gắng theo kịp những thay đổi này với một số đơn giản hóa dẫn đến việc xác định rủi ro một cách bảo toàn. Giả thiết là các ngưỡng thương tích võng mạc do nhiệt thay đổi nghịch đảo với kích cỡ hình ảnh trên võng mạc (ổn định) từ xấp xỉ 25 μm đến 1 mm (tương ứng với các kích thước góc cỡ 1,5 mrad đến 59 mrad), trong khi vượt quá 1,7 mm (tương ứng với các kích thước góc lớn hơn 100 mrad), không có sự phụ thuộc vào kích cỡ điểm. T_2 và các giới hạn công suất và sự chiếu xạ không thay đổi khi đó sẽ phản ánh ảnh hưởng của việc chuyển động của mắt, dòng máu cũng như giảm việc phụ thuộc của ngưỡng thương tích đối với các khoảng thời gian phơi nhiễm dài hơn liên quan đến sự phụ thuộc vào thời gian của các giới hạn. Điều này sẽ không áp dụng cho các thiết bị đo mắt; xem ISO 15004-2.

Đối với thương tích võng mạc gây ra do quang hóa, không có sự phụ thuộc vào cỡ điểm ảnh đối với ảnh ổn định. Không như cơ chế thương tích về nhiệt, ngưỡng thương tích quang hóa phụ thuộc nhiều vào bước sóng và phụ thuộc vào liều lượng phơi nhiễm, tức là các ngưỡng giảm nghịch đảo với độ dài thời gian phơi nhiễm. Các nghiên cứu về thương tích võng mạc do quang hóa từ hồ quang hàn tương các góc cỡ 1 mrad đến 1,5 mrad cho thấy thương tổn điển hình vào khoảng 185 μm đến 200 μm (tương ứng với các góc nhìn từ 11 mrad đến 12 mrad) thể hiện rõ ràng ảnh hưởng của chuyển động của mắt trong khi cố định; nghiên cứu này và các nghiên cứu khác về chuyển động của mắt trong khi cố định dẫn đến việc suy ra MPE để bảo vệ chống thương tích võng mạc do quang hóa. Các nghiên cứu này cũng dẫn đến việc chiếu rọi MPE cần quy định là được lấy trung bình trong 11 mrad đối với khoảng thời gian phơi nhiễm từ 10 s đến 100 s. Do đó, các nguồn có góc trường α nhỏ hơn 11 mrad được coi giống như các nguồn "điểm", và khái niệm α_{min} được mở rộng cho quan sát thiết bị laser CW. Cách tiếp cận này không

TCVN 12670-14:2020

hoàn toàn đúng, vì các phép đo độ rọi của nguồn 11 mrad không tương đương với độ rọi lấy trung bình trong trường nhìn (γ) 11 mrad trừ khi nguồn có phân bố bức xạ chũm nhật ("top-hat"). Do đó, trong tiêu chuẩn này, có sự phân biệt giữa góc trường của nguồn và độ rọi lấy trung bình đối với các giá trị MPE quang hóa. Đối với thời gian quan sát vượt quá xấp xỉ từ 30 s đến 60 s, sự chuyển động rất nhanh của mắt trong khi giữ cố định thường được bắt kịp bằng các chuyển động đáp ứng được xác định bởi tác vụ hình ảnh, và hoàn toàn không hợp lý để giả thiết rằng nguồn sáng chỉ là hình ảnh trong hố mắt trong thời gian dài hơn 100 s. Với lý do này, góc chấp nhận γ_{ph} được tăng tuyến tính với căn bậc hai của t . Góc trường nhỏ nhất α_{min} giữ đúng tại góc tham chiếu 1,5 mrad đối với tất cả các khoảng thời gian phơi nhiễm được sử dụng trong đánh giá nguy hiểm võng mạc về nhiệt. Tuy nhiên, đối với đánh giá nguy hiểm võng mạc về quang hóa, khái niệm thực sự khác, vì góc γ_{ph} là góc chấp nhận tuyến tính để đo độ rọi, và điều quan trọng chỉ để sử dụng đối với các nguồn kéo dài lớn hơn xấp xỉ 11 mrad.

Khoảng cách quan sát. Trong trường hợp nguồn điểm có chùm tia phân kỳ, nguy hiểm tăng khi khoảng cách giảm giữa phần thu hẹp của chùm tia và mắt. Lý do là vì với khoảng cách giảm, công suất thu nhận tăng lên, trong khi kích cỡ ảnh võng mạc có thể được giả thiết là vẫn được giới hạn nhiều xạ gần đối với các nguồn laser thực đến khoảng cách 100 mm (do khả năng điều tiết hình ảnh của mắt). Nguy hiểm lớn nhất xảy ra ở khoảng cách điều tiết ngắn nhất. Với khoảng cách giảm thêm thì nguy hiểm đến mắt không có hỗ trợ cũng sẽ giảm, vì có sự tăng nhanh về hình ảnh trên võng mạc và giảm tương ứng độ rọi sáng, mặc dù có thể thu nhận công suất lớn hơn. Để mô phỏng rủi ro quan sát có hỗ trợ quang của chùm tia chuẩn trực bằng ống nhòm hoặc ống viễn vọng, khoảng cách tiếp cận gần nhất là 2 m với lỗ mở 50 mm được giả thiết dựa trên khoảng cách gần nhất để quan sát rõ.

Trong tiêu chuẩn này, khoảng cách điều tiết ngắn nhất của mắt người được đặt là 100 mm ở tất cả các bước sóng từ 400 nm đến 1 400 nm. Điều này được chọn là sự thỏa hiệp vì tất cả trừ mắt người trẻ tuổi và rất ít người cận thị không thể điều tiết mắt của họ ở khoảng cách nhỏ hơn 100 mm. Khoảng cách này có thể được sử dụng để đo độ rọi trong trường hợp quan sát nội chùm tia (xem Bảng 10).

Đối với các bước sóng nhỏ hơn 400 nm hoặc lớn hơn 1 400 nm, nguy hiểm lớn nhất là hư hại thủy tinh thể hoặc giác mạc. Tùy thuộc vào bước sóng, bức xạ quang được hấp thụ một cách ưu tiên hoặc dành riêng bởi giác mạc hoặc thủy tinh thể (xem Bảng C.1). Đối với các nguồn chùm tia phân kỳ (kéo dài hoặc nguồn điểm) có các bước sóng này, cần tránh sử dụng các khoảng cách ngắn giữa nguồn và mắt.

Trong dải bước sóng từ 1 500 nm đến 2 600 nm, bức xạ thâm nhập vào dịch lỏng. Ảnh hưởng về nhiệt do đó được tiêu tán trên thể tích lớn hơn của mắt, và MPE được tăng lên đối với phơi nhiễm nhỏ hơn 10 s. MPE tăng nhiều nhất xảy ra trong các khoảng thời gian xung rất ngắn và trong dải bước sóng từ 1 500 nm đến 1 800 nm ở đó thể tích hấp thụ là lớn nhất. Ở các thời gian lớn hơn 10 s, tính dẫn nhiệt phân phối lại nhiệt năng sao cho tác động của độ sâu thẩm thấu không còn ý nghĩa nữa.

C.2.2 Nguy hiểm trên da

Nhìn chung, da có thể chịu được phơi nhiễm với chùm tia laser nhiều hơn rất nhiều so với mắt có thể chịu. Ảnh hưởng sinh học của độ rọi lên da bởi thiết bị laser hoạt động trong các vùng phổ ánh sáng nhìn

thấy (400 nm đến 700 nm) và hồng ngoại (lớn hơn 700 nm) có thể thay đổi từ ban đỏ nhẹ đến vết phỏng rộp nghiêm trọng. Sự xém thành than màu xám tro là phổ biến trong các mô có sự hấp thụ bề mặt cao sau khi phơi nhiễm với các tia laser công suất đỉnh cao và có dạng xung rất ngắn. Điều này có thể không theo sau bởi bỏng.

Việc đen da, loét da và tạo sẹo trên da và hỏng các tế bào hữu cơ nằm bên dưới có thể xảy ra do độ rọi rất cao. Hiệu ứng âm ỉ hoặc lũy tích của bức xạ laser là không phổ biến. Tuy nhiên, một vài nghiên cứu hạn chế đã đề xuất rằng trong các điều kiện đặc biệt, các vùng nhỏ của mô người có thể nhạy cảm bởi các phơi nhiễm cục bộ lặp lại với kết quả là mức phơi nhiễm đối với phản ứng nhỏ nhất được thay đổi và phản ứng trong các mô sẽ khác nghiệt hơn đối với phơi nhiễm mức thấp này.

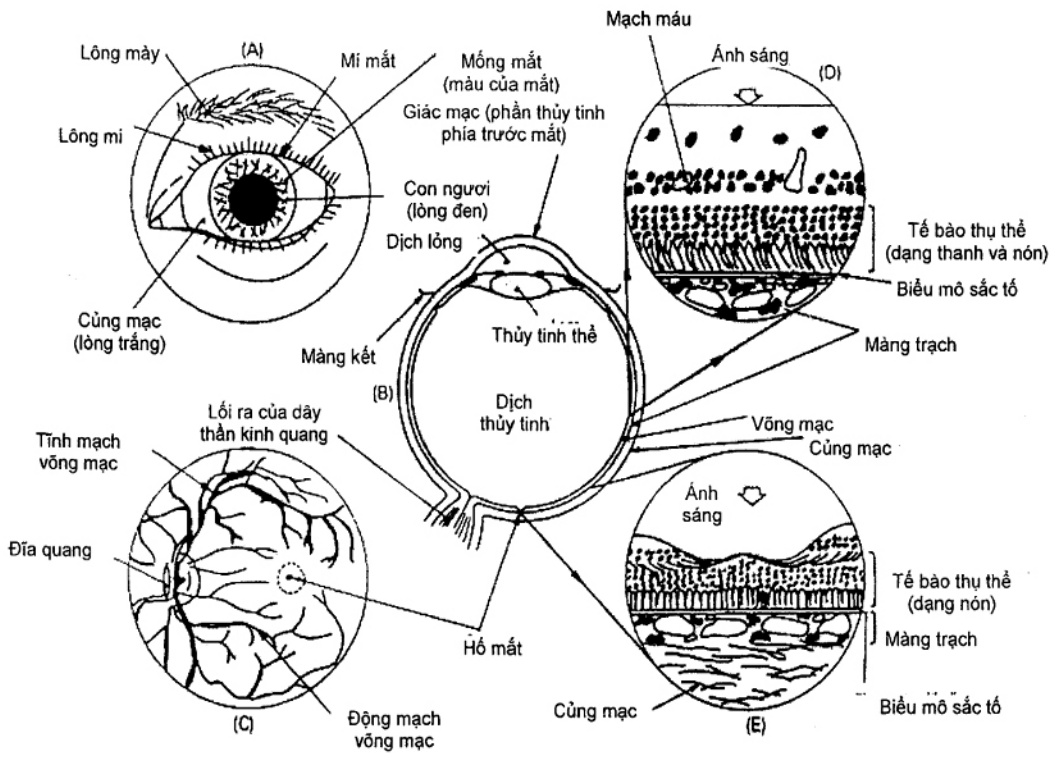
Trong dải bước sóng từ 1 500 nm đến 2 600 nm, các nghiên cứu về ngưỡng sinh học chỉ ra rằng rủi ro bị thương da có dạng tương tự với tổn thương mắt. Đối với các phơi nhiễm đến 10 s, MPE được tăng lên trong phạm vi dải phổ này.

C.3 MPE và lấy trung bình độ rọi

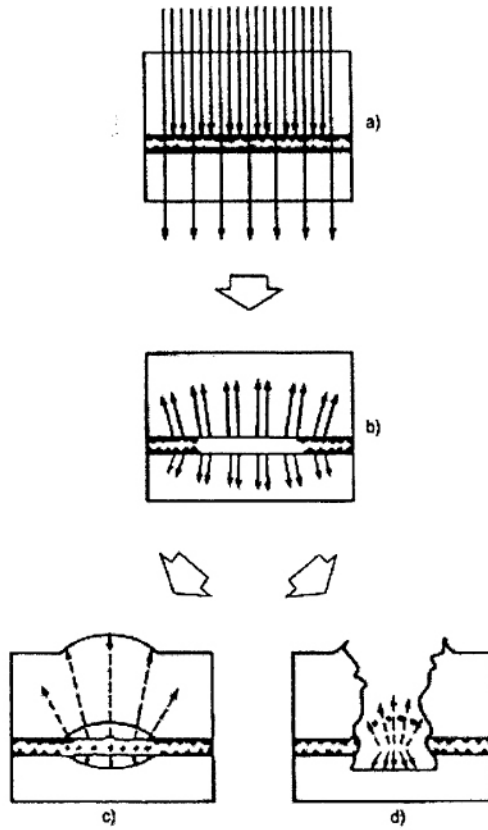
Trong tiêu chuẩn này, chấp nhận các giá trị phơi nhiễm lớn nhất cho phép (MPE) được khuyến cáo bởi Ủy ban quốc tế về bảo vệ bức xạ không ion hóa (ICNIRP). Chấp nhận các lỗ mở lấy trung bình độ rọi (lỗ mở đo) được khuyến cáo bởi ICNIRP, hoặc sử dụng hệ số an toàn bổ sung theo tiêu chuẩn này.

Bảng C.2 – Giải thích các lỗ mở đo áp dụng cho MPE của mắt

Băng tần phổ λ nm	Thời gian phơi nhiễm t	Đường kính lỗ mở mm	Nhận xét và tiêu chí đường kính lỗ mở
180 đến 400	Tất cả các t	1 mm	Sự phát tán trong biểu mô giác mạc và trong lớp sừng dẫn đến 1 mm; giả thiết không có chuyển động của mô bị phơi nhiễm trong các điều kiện phơi nhiễm liên tục được áp dụng bởi IEC. Tuy nhiên, ICNIRP khuyến cáo 3,5 mm đối với các phơi nhiễm dài do có chuyển động của mắt
400 đến 600 quang hóa	$t > 10$ s	3 mm là suy ra từ MPE nhưng sử dụng 7 mm cho các phép đo	Chuyển động bên của con người đường kính 3 mm trong không gian tạo ra lỗ mở 7 mm lấy trung bình đối với các phơi nhiễm CW áp dụng cho cơ chế bị thương do quang hóa
400 đến 1 400 nhiệt	Tất cả các t	7 mm	Đường kính của con người khi dẫn nở và chuyển động bên khi phơi nhiễm CW
$1\,400 \leq \lambda < 10^5$	$t < 0,35$ s	1 mm	Khúc xạ nhiệt trong các mô thuộc lớp sừng và lớp biểu mô
	$0,35$ s $< t < 10$ s $t > 10$ s	$1,5 \times t^{0,8}$ mm 3,5 mm	Khúc xạ nhiệt lớn hơn và chuyển động của mô đang xét tương đối so với chùm tia sau 0,35 s
$10^5 \leq \lambda \leq 10^6$	Tất cả các t	11 mm	Lỗ mở cần lớn hơn giới hạn nhiễu xạ (tức là xấp xỉ $10\times$) đối với các phép đo chính xác



Hình C.1 – Giải phẫu mắt



CHÚ DẪN

- a) Năng lượng laser được hấp thụ bởi hệ thống.
- b) Năng lượng hấp thụ sinh ra nhiệt được dẫn vào các mô xung quanh.
- c) Trong thiết bị laser dạng xung dài hoặc CW, việc duy trì nhiệt sẽ làm tăng thương tổn lan rộng.
- d) Trong các thiết bị laser xung ngắn, mật độ công suất cao làm tăng việc nứt các tế bào và hư hại do dịch chuyển vật lý.

Hình C.2 – Sơ đồ hư hại liên quan đến laser trong các hệ thống sinh học

C.4 Tài liệu tham khảo

- [1] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines on limits of exposure to laser radiation of wavelengths between 180 nm and 1,000 μm . *Health Phys.* 1996, 71(5), 804-819,.
- [2] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Revision of guidelines on limits of exposure to laser radiation of wavelengths between 400 nm and 1,4 μm . *Health Phys.* 79(4), 431-440

TCVN 12670-14:2020

- [3] NESS, J., ZWICK, H.A., STUCK, B.E., LUND, D.J., MOLCHANY, J.A. and SLINEY, D.H.: *Retinal image motion during deliberate fixation: implications to laser safety for long duration viewing*. Health Phys. 78(2): 131 -142, 2000
- [4] ROACH, W.P., JOHNSON, P.E. and ROCKWELL, B.A.: *Proposed maximum permissible exposure limits for ultrashort laser pulses*, Health Phys. 76(4):349-354, 1999
- [5] SLINEY, D.H. and WOLBARSHT, M.L.: *Safety with Lasers and Other Optical Sources*, New York, Plenum Publishing Corp., 1980
- [6] United Nations Environment Programme (UNEP); World Health Organization (WHO); International Radiation Protection Association (IRPA): *Environmental Health Criteria No. 23: Lasers and Optical Radiation*, Geneva, WHO, 1982

Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] IEC 60027-1, *Letters symbols to be used in electrical technology – Part 1: General* (Ký hiệu bằng chữ cái được sử dụng trong công nghệ điện – Phần 1: Quy định chung)
- [2] TCVN 8095-845: 2009 (IEC 60050-845:1987), *Từ vựng kỹ thuật điện quốc tế – Phần 845: Chiếu sáng*
- [3] IEC 60300-3-9:1995, *Dependability management – Part 3: Application guide – Section 9: Risk analysis of technological systems* (Quản lý độ tin cậy – Phần 3: Hướng dẫn ứng dụng – Mục 9: Phân tích rủi ro các hệ thống công nghệ)
- [4] TCVN 7303-2-22:2006 (IEC 60601-2-22:1995), *Thiết bị điện y tế - Phần 2-22: Yêu cầu riêng về an toàn của thiết bị chẩn đoán và điều trị bằng laser*
- [5] TCVN 12670-1 (IEC 60825-1), *An toàn sản phẩm laser – Phần 1: Phân loại thiết bị và các yêu cầu*
- [6] IEC 60825-2, *Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCS)* (An toàn sản phẩm laser – Phần 2: An toàn của hệ thống truyền thông bằng cáp sợi quang (OFCS))
- [7] IEC/TR 60825-3, *Safety of laser products – Part 3: Guidance for laser displays and shows* (An toàn sản phẩm laser – Phần 3: Hướng dẫn hiển thị và trình diễn laser)
- [8] IEC 60825-4, *Safety of laser products – Part 4: Laser guards* (An toàn sản phẩm laser – Phần 4: Tấm chắn bảo vệ laser)
- [9] IEC/TR 60825-5, *Safety of laser products – Part 5: Manufacturer's checklist for IEC 60825-1* (An toàn sản phẩm laser – Phần 5: Danh mục kiểm tra của nhà chế tạo theo IEC 60825-1)
- [10] IEC/TR 60825-6, *Safety of laser products – Part 6: Safety of products with optical sources, exclusively used for visible information transmission to the human eye* (An toàn sản phẩm laser – Phần 6: An toàn sản phẩm có các nguồn quang, được sử dụng riêng cho việc truyền thông tin nhìn thấy được đến mắt người)
- [11] IEC/TR 60825-7, *Safety of laser products – Part 7: Safety of products emitting infrared optical radiation, exclusively used for wireless 'free air' data transmission and surveillance* (An toàn sản phẩm laser – Phần 7: An toàn sản phẩm phát bức xạ quang hồng ngoại, được sử dụng riêng cho việc truyền và giám sát dữ liệu không dây trong không khí)
- [12] IEC/TR 60825-8, *Safety of laser products – Part 8: Guidelines for the safe use of laser beams on humans* (An toàn sản phẩm laser – Phần 8: Hướng dẫn sử dụng an toàn chùm tia laser trên người)
- [13] IEC/TR 60825-9, *Safety of laser products – Part 9: Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation* (An toàn sản phẩm laser – Phần 9: Biên soạn tài liệu về phơi nhiễm lớn nhất cho phép đối với bức xạ quang cố hữu)
- [14] IEC 60825-10, *Safety of laser products – Part 10: Application guidelines and explanatory notes to IEC 60825-1* (An toàn sản phẩm laser – Phần 10: Hướng dẫn áp dụng và giải thích các chú thích trong IEC 60825-1)

TCVN 12670-14:2020

[15] IEC 61010-1:2001, *Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use – Part 1: General requirements* (Yêu cầu về an toàn đối với thiết bị điện để đo, điều khiển và sử dụng trong phòng thí nghiệm Phần 1: Yêu cầu chung)

[16] IEC 61040:1990, *Power and energy measuring detectors, instruments and equipment for laser radiation* (Bộ phát hiện, thiết bị đo và thiết bị dùng để đo công suất và năng lượng của bức xạ laser)

[17] TCVN 6450 (ISO/IEC Guide 2), *Tiêu chuẩn hoá và các hoạt động có liên quan - Thuật ngữ chung và định nghĩa*

[18] TCVN 6844 (ISO/IEC Guide 51), *Hướng dẫn việc đề cập khía cạnh an toàn trong tiêu chuẩn*

[19] ISO 1000:1992, *SI units and recommendations for the use of their multiples and of certain other units* (Đơn vị SI và các khuyến cáo để sử dụng các bội số của nó và các đơn vị khác)

[20] EN 207, *Personal eye-protection equipment – Filters and eyeprotectors against laser radiation (laser eye-protectors)* (Thiết bị bảo vệ mắt – Bộ lọc và thiết bị bảo vệ mắt chống bức xạ laser)
