

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

GROUP SAFETY PUBLICATION
PUBLICATION GROUPEE DE SÉCURITÉ

**Safety of laser products –
Part 1: Equipment classification and requirements**

**Sécurité des appareils à laser –
Partie 1: Classification des matériels et exigences**

IECNORM.COM : Click to visit the full PDF of IEC 60825-1:2007



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2007 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00



IEC 60825-1

Edition 2.0 2007-03

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

GROUP SAFETY PUBLICATION
PUBLICATION GROUPEE DE SÉCURITÉ

**Safety of laser products –
Part 1: Equipment classification and requirements**

**Sécurité des appareils à laser –
Partie 1: Classification des matériels et exigences**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XD

ICS 13.110; 31.260

ISBN 2-8318-9085-3

SAFETY OF LASER PRODUCTS –

Part 1: Equipment classification and requirements

INTERPRETATION SHEET 1

This interpretation sheet has been prepared by committee 76: Optical radiation safety and laser equipment.

The text of this interpretation sheet is based on the following documents:

ISH	Report on voting
76/415/ISH	76/418/RVD

Full information on the voting for the approval of this interpretation sheet can be found in the report on voting indicated in the above table.

Subclauses 9.2 and 9.3

These subclauses are clarified by the following:

Introduction

For emissions in the wavelength range of 400 nm to 1 400 nm, the need to perform measurements for Condition 2 (eye loupe viewing) can be greatly reduced by recognising that Condition 3 (unaided viewing) in many cases will be the most restrictive criterion.

Interpretation

The following table outlines the process in this interpretation of IEC 60825-1, subclauses 9.2 and 9.3.

IF	THEN
Angular Subtense > 1,5 mrad @ 100 mm from the reference point	Condition 2 need not be considered
Angular Subtense ≤ 1,5 mrad @ 100 mm; or the angular subtense is not determined	Use simplified Condition 2, $C_6 = 1$
<i>Optional for intermediate sources:</i> Angular Subtense ≤ 1,5 mrad @ 100 mm AND > 1,5 mrad using Figure 5	CAN use Figure 5 (with C_6 determined using Figure 5) if simplified Condition 2 is too restrictive for the application

Rationale

Based on independent studies (see for instance reference [1]), it is found that for extended sources and for radiation in the wavelength range of 400 nm to 1 400 nm, Condition 3 will in most cases be more restrictive than Condition 2 for extended sources (Figure 5). The main reason for this is the magnification of the source obtained with Condition 2. Also, the aperture stop of Condition 2 is limited to 3,5 mm since it simulates a case where there is a high level of ambient lighting, while Condition 3 uses a 7 mm aperture stop, as it simulates a general viewing condition including accidental exposure.

Row 1 in the table above:

If it can be shown that the apparent source is extended ($\alpha > 1,5$ mrad) for unaided viewing at 100 mm distance from the reference point, Condition 2 does not have to be considered.

Row 2 in the table above:

If the source is not extended for unaided viewing (i.e. the angular subtense of the apparent source is less than 1,5 mrad at 100 mm distance from the reference point), or if the angular subtense of the apparent source is not determined (default simplified evaluation), Condition 2 needs to be considered, as it could be more restrictive than Condition 3.

Row 3 in the table above:

For the case that the optional application of Condition 2 for extended sources (Figure 5) is considered, the following cases can be distinguished:

- a) if the angular subtense of the apparent source is determined to be less than 1,5 mrad at 100 mm from the reference point, but appears extended ($\alpha > 1,5$ mrad) using Condition 2 for extended sources (Figure 5) (due to the magnification of the eye loupe), Condition 2 for extended sources may be less restrictive than the simplified Condition 2 and can be applied for the test. If Condition 2 for extended sources (per Figure 5) is used, the corresponding angular subtense is also to be determined using this measurement setup. It should be noted that in this case Condition 3 (where $C_6 = 1$) can be more restrictive than Condition 2 for extended sources (Figure 5) and has to be considered.
- b) if the angular subtense of the apparent source is determined to be less than 1,5 mrad at 100 mm from the reference point, and is also less than 1,5 mrad using Condition 2 for extended sources (Figure 5), the simplified Condition 2 (Table 11) is applicable.

NOTE For the default (simplified) evaluation described in 9.3.2 of the standard, it is not necessary to determine the angular subtense of the apparent source. The apparent source can be assumed to be a small source to simplify the analysis, since this would be the most restrictive case. The simplified measurement conditions listed in Table 11 would apply (Row 2 in the table above).

References

[1] *Influence of magnifiers on ocular exposure levels*, G Veas, R Gilber and K Schulmeister, ILSC Paper 503, ILSC 2009 Proceedings (Laser Institute of America)

SAFETY OF LASER PRODUCTS –

Part 1: Equipment classification and requirements

INTERPRETATION SHEET 2

This interpretation sheet has been prepared by technical committee 76: Optical radiation safety and laser equipment.

The text of this interpretation sheet is based on the following documents:

ISH	Report on voting
76/437/ISH	76/440/RVD

Full information on the voting for the approval of this interpretation sheet can be found in the report on voting indicated in the above table.

Subclause 8.3 f 3)

This subclause is clarified by the following:

Introduction

For pulse durations shorter than 1 ns, the application of the criterion given in 8.3 f 3) a) (the „N^{-0,25} criterion“) produces overly-restrictive results when compared to the TOTP criterion 8.3 f 3) b).

NOTE This Interpretation Sheet also applies to MPE analyses (subclause A.3 c)).

Interpretation

In the wavelength range of 400 nm to 1 400 nm, the TOTP criterion (8.3 f 3) b)) can be applied for the case of pulse trains with pulses of the same energy and duration.

NOTE 1 If the “N^{-0,25} criterion” is applied, it would have to be adopted as follows so that it results in equivalent evaluations as the TOTP criterion:

Pulses with durations less than T_i are assigned pulse durations of T_i . If two or more pulses occur within a duration of T_i , these pulse groups are assigned a pulse duration of T_i . The reduction factor C_5 is applied to the AEL that is applicable for T_i (i.e. $C_5 \cdot AEL(T_i)$). If one pulse occurs within T_i , the energy of that pulse is compared with the reduced AEL, i.e. with $C_5 \cdot AEL(T_i)$. If more than one pulse occurs within T_i , the sum of the energies of these pulses is compared with the reduced AEL.

NOTE 2 For the heading of 8.3 f 3) b)), instead of “for varying pulse widths or varying pulse durations” the intended wording was “for varying pulse widths or varying pulse intervals” as corrected in Corrigendum 1”.

Rationale

For constant pulse durations and energies, the two criteria (the N^{-0,25} and the TOTP criterion) should be, as a general principle, equivalent for all pulse durations, as both reflect the same

thermal additivity of multiple pulse exposures and constant pulse trains are a special case of non-constant pulse trains.

For pulse durations longer than T_i , the TOTP and the $N^{-0,25}$ criteria, as given in IEC 60825-1:2007, do produce mathematically identical evaluations. For pulse trains where individual pulse durations are shorter than 1 ns, because the $N^{-0,25}$ criterion is applied in IEC 60825-1 to the AEL for the single pulse (which for pulse durations less than 1 ns is smaller than the AEL for T_i of 18 μ s or 50 μ s), the $N^{-0,25}$ criterion and the TOTP criterion produce different results. Since both rules are intended to reflect thermal additivity of pulses, the TOTP is the more general criterion. Criteria that would make the current $N^{-0,25}$ criterion equivalent with the TOTP criterion are outlined in NOTE 1 above.

This instruction will remain valid until a new version of IEC 60825-1 is published.

Withd
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60825-1:2007

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope and object.....	7
2 Normative references	9
3 Terms and definitions	9
4 Engineering specifications.....	22
4.1 General remarks.....	22
4.2 Protective housing.....	22
4.3 Access panels and safety interlocks	22
4.4 Remote interlock connector	23
4.5 Manual reset	23
4.6 Key control	24
4.7 Laser radiation emission warning	24
4.8 Beam stop or attenuator	24
4.9 Controls	24
4.10 Viewing optics	24
4.11 Scanning safeguard.....	25
4.12 "Walk-in" access	25
4.13 Environmental conditions	25
4.14 Protection against other hazards	25
5 Labelling	26
5.1 General.....	26
5.2 Class 1 and Class 1M.....	28
5.3 Class 2 and Class 2M.....	29
5.4 Class 3R.....	30
5.5 Class 3B.....	30
5.6 Class 4.....	30
5.7 Aperture label.....	30
5.8 Radiation output and standards information.....	30
5.9 Labels for access panels	31
5.10 Warning for invisible laser radiation.....	32
5.11 Warning for visible laser radiation	32
6 Other informational requirements	32
6.1 Information for the user	32
6.2 Purchasing and servicing information	34
7 Additional requirements for specific laser products	34
7.1 Other parts of the standard series IEC 60825	34
7.2 Medical laser products	35
7.3 Laser processing machines	35
7.4 Electric toys	35
7.5 Consumer electronic products	35
8 Classification.....	35
8.1 Introduction	35
8.2 Classification responsibilities.....	36
8.3 Classification rules	36

9	Determination of the accessible emission level	40
9.1	Tests	40
9.2	Measurement of laser radiation	41
9.3	Measurement geometry	51
	Annex A (informative) Maximum permissible exposure values	57
	Annex B (informative) Examples of calculations	64
	Annex C (informative) Description of the classes and potentially associated hazards	74
	Annex D (informative) Biophysical considerations	80
	Annex E (informative) MPEs and AELs expressed as radiance	90
	Annex F (informative) Summary tables	94
	Annex G (informative) Overview of associated parts of IEC 60825	97
	Bibliography	99
	Figure 1 – Warning label – Hazard symbol	27
	Figure 2 – Explanatory label	28
	Figure 3 – Measurement set-up to limit angle of acceptance by imaging the apparent source onto the plane of the field stop	53
	Figure 4 – Measurement set-up to limit angle of acceptance by placing a circular aperture or a mask (serving as field stop) close to the apparent source	54
	Figure 5 – Experimental set-up for the determination of the accessible emission (above) and the angular subtense of the apparent source (below) for condition 2 when an extended source is to be considered (i.e. not using the default, simplified evaluation)	55
	Figure B.1 – Flowchart guide for the classification of laser products from supplied output parameters	66
	Figure B.2 – Flowchart guide for the classification of Class 1M and Class 2M laser products	68
	Figure B.3 – AEL for Class 1 ultra-violet laser products for selected emission durations from 10^{-9} s to 10^3 s	69
	Figure B.4 – AEL for Class 1 ultra-violet laser products for emission durations from 10^{-9} s to 10^3 s at selected wavelengths	69
	Figure B.5 – AEL for Class 1 visible and selected infra-red laser products (case $C_6 = 1$)	70
	Figure D.1 – Anatomy of the eye	80
	Figure D.2 – Diagram of laser-induced damage in biological systems	82
	Figure E.1 – Radiance as a function of wavelength	90

Table 1 – Requirements for safety interlocking	23
Table 2 – Additivity of effects on eye and skin of radiation of different spectral regions.....	37
Table 3 – Times below which pulse groups are summed	40
Table 4 – Accessible emission limits for Class 1 and Class 1M laser products and $C_6 = 1$	44
Table 5 – Accessible emission limits for Class 1 laser products in the wavelength range from 400 nm to 1 400 nm (retinal hazard region): extended sources	45
Table 6 – Accessible emission limits for Class 2 and Class 2M laser products	46
Table 7 – Accessible emission limits for Class 3R laser products and $C_6 = 1$	47
Table 8 – Accessible emission limits for Class 3R laser products in the wavelength range from 400 nm to 1 400 nm (retinal hazard region): extended sources	48
Table 9 – Accessible emission limits for Class 3B laser products	49
Table 10 – Correction factors and breakpoints for use in AEL and MPE evaluations	50
Table 11 – Measurement aperture diameters and measurement distances for the default (simplified) evaluation	52
Table 12 – Reference points	52
Table 13 – Limiting angle of acceptance γ_{ph}	55
Table A.1 – Maximum permissible exposure (MPE) for $C_6 = 1$ at the cornea for exposure to laser radiation.....	58
Table A.2 – Maximum permissible exposure (MPE) at the cornea for exposure to laser radiation from extended sources in the wavelength range from 400 nm to 1 400 nm (retinal hazard region)	59
Table A.3 – Maximum permissible exposure (MPE) of the skin to laser radiation.....	60
Table A.4 – Aperture diameters for measuring laser irradiance and radiant exposure	60
Table D.1 – Summary of pathological effects associated with excessive exposure to light	84
Table D.2 – Explanation of measurement apertures applied to the MPEs	88
Table E.1 – Maximum radiance of a diffused source for Class 1.....	91
Table F.1 – Summary of the physical quantities used in this Part 1	94
Table F.2 – Summary of manufacturer's requirements	95
Table G.1 – Overview of additional data in associated parts of IEC 60825	98

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SAFETY OF LASER PRODUCTS –

Part 1: Equipment classification and requirements

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60825-1 has been prepared by IEC technical committee 76: Optical radiation safety and laser equipment.

This second edition of IEC 60825-1 cancels and replaces the first edition published in 1993, its Amendment 1 (1997) and its Amendment 2 (2001). It constitutes a technical revision. The user's guide has been removed from this part of the IEC 60825 series and is now a separate document (Part 14). Light emitting diodes (LEDs) have been removed from the scope of this part of IEC 60825, but may still be included in other parts.

This part of IEC 60825 has the status of a Group Safety Publication, in accordance with IEC Guide 104¹⁾, for aspects of laser radiation pertaining to human safety.

The text of this standard is based on the following documents:

CDV	Report on voting
76/338/CDV	76/357/RVC

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The list of all parts of the IEC 60825 series, published under the title *Safety of laser products*, can be found on the IEC website.

This part of IEC 60825 is also referred to as "Part 1" in this publication.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

The contents of the corrigendum of August 2008 have been included in this copy.

1) IEC Guide 104:1997, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications*
It gives guidance to IEC technical committees and to writers of specifications concerning the manner in which safety publications should be drafted.
This guide does not constitute a normative reference and reference to it is given for information only.

SAFETY OF LASER PRODUCTS –

Part 1: Equipment classification and requirements

1 Scope and object

IEC 60825-1 is applicable to safety of laser products emitting laser radiation in the wavelength range 180 nm to 1 mm.

A laser product may consist of a single laser with or without a separate power supply or may incorporate one or more lasers in a complex optical, electrical, or mechanical system. Typically, laser products are used for demonstration of physical and optical phenomena, materials processing, data reading and storage, transmission and display of information, etc. Such systems have found use in industry, business, entertainment, research, education, medicine and consumer products.

Laser products that are sold to other manufacturers for use as components of any system for subsequent sale are not subject to IEC 60825-1, since the final product will itself be subject to this standard. However, if the laser system within the laser product is operable when removed from the equipment, the requirements of this Part 1 apply to the removable unit.

NOTE 1 Operable equipment does not require a tool to prepare for operation.

Any laser product is exempt from all further requirements of this Part 1 if classification by the manufacturer of that product according to Clauses 3, 8 and 9 shows that the emission level does not exceed the AEL (accessible emission limit) of Class 1 under all conditions of operation, maintenance, service and failure.

NOTE 2 The above exemption is to ensure that inherently safe laser products are not unnecessarily subject to the standard.

In addition to the hazards resulting from laser radiation, laser equipment may also give rise to other hazards such as fire and electric shock.

NOTE 3 However, the classification and other requirements of this standard are intended to address only the laser radiation hazards to the eyes and skin. Other hazards are not included within its scope.

This Part 1 describes the minimum requirements. Compliance with this Part 1 may not be sufficient to achieve the required level of product safety. Laser products must conform to the applicable performance and testing requirements of the applicable product safety standards.

NOTE 4 Other standards may contain additional requirements. Consideration should also be given to the intended application and user group. For example, a class 3B or class 4 laser product may not be suitable for use as a consumer product.

Where a laser system forms a part of equipment which is subject to another IEC product safety standard (e.g. for medical equipment (IEC 60601-2-22), IT equipment (IEC 60950), audio and video equipment (IEC 60065), equipment for use in hazardous atmospheres (IEC 60079), or electric toys (IEC 62115)), this Part 1 will apply in accordance with the provisions of IEC Guide 104²⁾ for hazards resulting from laser radiation. If no product safety standard is applicable, then IEC 61010-1 applies.

In previous editions, LEDs were included in the scope of IEC 60825-1, and they may be still included in other parts of the IEC 60825 series. However, with the development of lamp safety standards, optical radiation safety of LEDs in general can be more appropriately addressed by lamp safety standards. The removal of LEDs from the scope of this Part 1 does not preclude other standards from including LEDs whenever they refer to lasers. CIE S009 may be applied to determine the risk group class of an LED or product incorporating one or more LEDs.

The MPE (maximum permissible exposure) values of this Part 1 were developed for laser radiation and do not apply to collateral radiation. However, if a concern exists that accessible collateral radiation might be hazardous, the laser MPE values may be applied to conservatively evaluate this potential hazard.

The MPE values are not applicable to intentional human exposure to laser radiation for the purpose of medical or cosmetic/aesthetic treatment.

NOTE 5 Annexes A to H have been included for purposes of general guidance and to illustrate many typical cases. However, the annexes are not regarded as definitive or exhaustive and reference should always be made to the appropriate clause(s) in the normative part of this document.

The objectives of this part of IEC 60825 are the following:

- to introduce a system of classification of lasers and laser products according to their degree of optical radiation hazard in order to aid hazard evaluation and to aid the determination of user control measures;
- to establish requirements for the manufacturer to supply information so that proper precautions can be adopted;
- to ensure, through labels and instructions, adequate warning to individuals of hazards associated with accessible radiation from laser products;
- to reduce the possibility of injury by minimizing unnecessary accessible radiation and to give improved control of the laser radiation hazards through protective features.

²⁾ IEC Guide 104:1997, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications*

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050-845:1987, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 845: Lighting*

IEC 60601-2-22, *Medical electrical equipment – Part 2: Particular requirements for the safety of diagnostic and therapeutic laser equipment*

IEC 61010-1, *Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use – Part 1: General requirements*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the definitions of IEC 60050-845 as well as the following apply.

NOTE For convenience here, the definitions have been arranged in English alphabetical order. Departures from IEC 60050-845 are intentional and are indicated. In such cases, reference is made, between brackets, to the definition of Part 845 of IEC 60050, with the mention “modified”.

3.1

access panel

part of the protective housing or enclosure which provides access to laser radiation when removed or displaced

3.2

accessible emission

level of radiation determined at a position and with aperture stops (when the AEL is given in units of Watts or Joules) or limiting apertures (when the AEL is given in units of $W \cdot m^{-2}$ or $J \cdot m^{-2}$) as described in Clause 9

The accessible emission is determined where human access is considered, as specified in Definition 3.37. The accessible emission is compared with the accessible emission limit (Definition 3.3) in order to determine the class of the laser product. In the body of the standard, whenever the term “emission level” is used, it is to be understood as accessible emission.

NOTE When the beam diameter is larger than the aperture stop, the accessible emission when given in units of Watts or Joules is less than the total emitted power or energy of the laser product. When the beam diameter is smaller than the diameter of the limiting aperture, the accessible emission when given in units of $W \cdot m^{-2}$ or $J \cdot m^{-2}$, i.e. as irradiance or radiant exposure averaged over the limiting aperture, is smaller than the actual irradiance or radiant exposure of the beam. See also aperture stop (3.9) and limiting aperture (3.52).

3.3

accessible emission limit

AEL

the maximum accessible emission permitted within a particular class

NOTE Wherever the text refers to “emission level not exceeding the AEL” or similar wording, it is implicit that the accessible emission is determined following the measurement criteria specified in Clause 9.

3.4

administrative control

safety measures of a non-engineering type such as: key supervision, safety training of personnel, warning notices, count-down procedures, and range safety controls

3.5

alpha min

$\alpha_{\min}$

see angular subtense and minimum angular subtense (see 3.7 and 3.58)

3.6

angle of acceptance

plane angle within which a detector will respond to optical radiation, usually measured in radians

This angle of acceptance may be controlled by apertures or optical elements in front of the detector (see Figure 3 and 4). The angle of acceptance is also sometimes referred to as the field of view.

Symbol: γ

3.7

angular subtense of the apparent source

α

angle subtended by an apparent source as viewed from a point in space, as shown in Figure 3

NOTE 1 The location and angular subtense of the apparent source depends on the viewing position in the beam (see 3.11).

NOTE 2 The angular subtense of an apparent source is applicable in this Part 1 only in the wavelength range from 400 nm to 1 400 nm, the retinal hazard region.

NOTE 3 The angular subtense of the source should not be confused with the divergence of the beam. The angular subtense of the source can not be larger than the divergence of the beam but it is usually smaller than the divergence of the beam.

3.8

aperture

any opening in the protective housing or other enclosure of a laser product through which laser radiation is emitted, thereby allowing human access to such radiation

See also limiting aperture (3.52).

3.9

aperture stop

opening serving to define the area over which radiation is measured

3.10

apparent source

for a given evaluation location of the retinal hazard, the real or virtual object that forms the smallest possible retinal image (considering the accommodation range of the human eye)

NOTE 1 The accommodation range of the eye is assumed to be variable from 100 mm to infinity. The location of the apparent source for a given viewing position in the beam is that location to which the eye accommodates to produce the most hazardous retinal irradiance condition.

NOTE 2 This definition is used to determine, for a given evaluation position, the location of the apparent origin of laser radiation in the wavelength range of 400 nm to 1 400 nm. In the limit of vanishing divergence, i.e. in the case of a well collimated beam, the location of the apparent source goes to infinity.

3.11**beam**

laser radiation that may be characterized by direction, divergence, diameter or scan specifications

Scattered radiation from a non-specular reflection is not considered to be a beam.

3.12**beam attenuator**

device which reduces the laser radiation to or below a specified level

3.13**beam diameter****beam width**

the beam diameter d_u at a position in space is the diameter of the smallest circle which contains u % of the total laser power (or energy)

For the purpose of this standard d_{63} is used.

NOTE 1 In the case of a Gaussian beam, d_{63} corresponds to the point where the irradiance (radiant exposure) falls to $1/e$ of its central peak value.

NOTE 2 The second moment diameter definition (as defined in ISO 11146-1) is not used for beam profiles with central high irradiance peaks and a low level background, such as produced by unstable resonators in the far field: the power that passes through an aperture can be significantly underestimated when using the 2nd moment and calculating the power with the assumption of a Gaussian beam profile.

3.14**beam divergence**

far field plane angle of the cone defined by the beam diameter

If the beam diameters (see 3.13) at two points separated by a distance r are d_{63} and d'_{63} the divergence is given by:

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

SI unit: radian

NOTE The second moment divergence definition (ISO 11146-1) is not used for beam profiles with central high irradiance peaks and a low level background, such as produced by unstable resonators in the far field or beam profiles that show diffraction patterns caused by apertures.

3.15**beam expander**

combination of optical elements which will increase the diameter of a laser beam

3.16**beam path component**

optical component which lies on a defined beam path (e.g. a beam steering mirror or a focusing lens)

3.17**beam stop**

device which terminates a laser beam path

3.18**Class 1 laser product**

any laser product which during operation does not permit human access to accessible laser radiation in excess of the accessible emission limits of Class 1 for applicable wavelengths and emission durations (see 8.2 and 8.3 e))

NOTE 1 See also the limitations of the classification scheme in Annex C.

NOTE 2 As tests for the determination of the classification of the product are limited to tests during operation, it may be the case for embedded laser products that, depending on the product, radiation above the AEL of Class 1 can become accessible during maintenance when interlocks of access panels are overridden.

3.19

Class 1M laser product

any laser product in the wavelength range from 302,5 nm to 4 000 nm which during operation does not permit human access to accessible laser radiation in excess of the accessible emission limits of Class 1 for applicable wavelengths and emission durations (see 8.3e)), where the level of radiation is measured according to 9.2 g)

NOTE 1 See also the limitations of the Classification scheme in Annex C.

NOTE 2 Since the evaluation is with a smaller measurement aperture or at a greater distance from the apparent source than those used for Class 1 laser products, the output of a Class 1M laser product is therefore potentially hazardous when viewed using an optical instrument (see 8.2).

NOTE 3 As tests for the determination of the classification of the product are limited to tests during operation, it may be the case for embedded laser products that, depending on the product, radiation above the AEL of Class 1M can become accessible during maintenance when interlocks of access panels are overridden.

3.20

Class 2 laser product

any laser product in the wavelength range from 400 nm to 700 nm which during operation does not permit human access to accessible laser radiation in excess of the accessible emission limits of Class 2 for applicable wavelengths and emission durations (see 8.2 and 8.3e))

NOTE 1 See also the limitations of the Classification scheme in Annex C.

NOTE 2 As tests for the determination of the classification of the product are limited to tests during operation, it may be the case for embedded laser products that, depending on the product, radiation above the AEL of Class 2 can become accessible during maintenance when interlocks of access panels are overridden.

3.21

Class 2M laser product

any laser product in the wavelength range from 400 nm to 700 nm which during operation does not permit human access to accessible laser radiation in excess of the accessible emission limits of Class 2 for applicable wavelengths and emission durations (see 8.3 e)), where the level of radiation is measured according to 9.2 h)

NOTE 1 See also the limitations of the Classification scheme in Annex C.

NOTE 2 Since the evaluation is with a smaller measurement aperture or at a greater distance from the apparent source than those used for Class 2 laser products, the output of a Class 2M product is therefore potentially hazardous when viewed using an optical instrument (see 8.2).

NOTE 3 As tests for the determination of the classification of the product are limited to tests during operation, it may be the case for embedded laser products that, depending on the product, radiation above the AEL of Class 2M can become accessible during maintenance when interlocks of access panels are overridden.

3.22

Class 3R and Class 3B laser products

any laser product which during operation permits human access to laser radiation in excess of the accessible emission limits of Class 1 and Class 2, as applicable, but which does not permit human access to laser radiation in excess of the accessible emission limits of Classes 3R and 3B (respectively) for any emission duration and wavelength (see 8.2)

NOTE 1 See also the limitations of the Classification scheme in Annex C.

NOTE 2 Class 1M and Class 2M products may have outputs above or below the AEL of Class 3R, depending on their optical characteristics.

3.23**Class 4 laser product**

any laser product which permits human access to laser radiation in excess of the accessible emission limits of Class 3B (see 8.2)

3.24**collateral radiation**

any electromagnetic radiation, within the wavelength range between 180 nm and 1 mm, except laser radiation, emitted by a laser product as a result of, or physically necessary for, the operation of a laser

3.25**collimated beam**

beam of radiation with very small angular divergence or convergence

3.26**continuous wave****CW**

in this Part 1, a laser operating with a continuous output for a duration equal to or greater than 0,25 s is regarded as a CW laser

3.27**defined beam path**

intended path of a laser beam within the laser product

3.28**demonstration laser product**

any laser product designed, manufactured, intended or promoted for purposes of demonstration, entertainment, advertising, display or artistic composition

The term "demonstration laser product" does not apply to laser products which are designed and intended for other applications, although they may be used for demonstrating those applications.

3.29**diffuse reflection**

change of the spatial distribution of a beam of radiation by scattering in many directions by a surface or medium

A perfect diffuser destroys all correlation between the directions of the incident and emergent radiation.

[IEV 845-04-47, modified]

3.30**embedded laser product**

in this Part 1, a laser product which, because of engineering features limiting the accessible emission, has been assigned a class number lower than the inherent capability of the laser incorporated

NOTE The laser which is incorporated in the embedded laser product is called the embedded laser.

3.31**emission duration**

temporal duration of a pulse, of a train or series of pulses, or of continuous operation, during which human access to laser radiation could occur as a result of operation, maintenance or servicing of a laser product

For a single pulse, this is the duration between the half-peak power point of the leading edge and the corresponding point on the trailing edge. For a train of pulses (or subsections of a train of pulses), this is the duration between the first half-peak power point of the leading pulse and the last half-peak power point of the trailing pulse.

3.32

errant laser radiation

laser radiation which deviates from a defined beam path

Such radiation includes unwanted reflections from beam path components and deviant radiation from misaligned or damaged components.

3.33

exposure duration

duration of a pulse, or series, or train of pulses or of continuous emission of laser radiation incident upon the human body

For a train of pulses, this is the duration between the first half-peak power point of the leading pulse and the last half-peak power point of the trailing pulse.

3.34

extended source viewing

viewing conditions whereby the apparent source at a distance of 100 mm or more subtends an angle at the eye greater than the minimum angular subtense ($\alpha_{\min}$)

Two extended source conditions are considered in this standard when considering retinal thermal injury hazards: intermediate source and large source. They are used to distinguish sources with angular subtenses of the apparent source, α , between $\alpha_{\min}$ and $\alpha_{\max}$ (intermediate sources), and greater than $\alpha_{\max}$ (large sources). (See also 3.80)

Examples are viewing of some diffused laser sources, diffuse reflections and of some laser diode arrays.

3.35

fail safe

design consideration in which failure of a component does not increase the hazard

In the failure mode the system is rendered inoperative or non-hazardous.

3.36

fail safe safety interlock

interlock which in the failure mode does not defeat the purpose of the interlock; for example, an interlock which is positively driven into the OFF position as soon as a hinged cover begins to open, or before a detachable cover is removed, and which is positively held in the OFF position until the hinged cover is closed or the detachable cover is locked in the closed position

3.37

human access

- a) ability of the human body to meet laser radiation emitted by the laser product, i.e. radiation that can be intercepted outside of the protective housing, or
- b) ability of a cylindrical probe with a diameter of 100 mm and a length of 100 mm to intercept levels of radiation of Class 3B and below, or
- c) ability of a human hand or arm to intercept levels of radiation above the AEL of Class 3B,

- d) also, for levels of radiation within the housing that are equivalent to Class 3B or Class 4, ability of any part of the human body to meet hazardous laser radiation that can be reflected directly by any single introduced flat surface from the interior of the product through any opening in its protective housing

NOTE For laser products that provide walk-in access, it is necessary to consider radiation both inside and outside of the protective housing for the determination of human access. Human access inside the housing can be prevented by engineering controls such as automatic detection systems.

3.38

integrated radiance

integral of the radiance over a given exposure duration expressed as radiant energy per unit area of a radiating surface per unit solid angle of emission

(usually expressed in $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$)

3.39

intrabeam viewing

all viewing conditions whereby the eye is exposed to the direct or specularly reflected laser beam in contrast to viewing of, for example, diffuse reflections

3.40

irradiance

quotient of the radiant flux $d\Phi$ incident on an element of a surface by the area dA of that element

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

Symbol: E

SI unit: watt per square metre ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)

3.41

laser

any device which can be made to produce or amplify electromagnetic radiation in the wavelength range from 180 nm to 1 mm primarily by the process of controlled stimulated emission

[IEV 845-04-39, modified]

3.42

laser controlled area

area where the occupancy and activity of those within is subject to control and supervision for the purpose of protection from radiation hazards

3.43

laser energy source

any device intended for use in conjunction with a laser to supply energy for the excitation of electrons, ions or molecules

General energy sources such as electrical supply mains or batteries are not considered to constitute laser energy sources.

3.44

laser hazard area

see nominal ocular hazard area (3.61)

3.45

laser product

any product or assembly of components which constitutes, incorporates or is intended to incorporate a laser or laser system

3.46

laser radiation

all electromagnetic radiation emitted by a laser product between 180 nm and 1 mm which is produced as a result of stimulated emission

3.47

laser safety officer

one who is knowledgeable in the evaluation and control of laser hazards and has responsibility for oversight of the control of laser hazards

3.48

laser system

laser in combination with an appropriate laser energy source with or without additional incorporated components

3.49

light emitting diode

LED

any semiconductor p-n junction device which can be made to produce electromagnetic radiation by radiative recombination in the semiconductor in the wavelength range from 180 nm to 1 mm

(The optical radiation is produced primarily by the process of spontaneous emission, although some stimulated emission may be present.)

3.50

limiting angle of acceptance for evaluating retinal photochemical hazards

for evaluation of the retinal photochemical hazard, a limiting measurement angle of acceptance, γ_{ph} , is specified. The angle γ_{ph} is related to eye movements and is not dependent upon the angular subtense of the source. If the angular subtense of the source is larger than the specified limiting angle of acceptance γ_{ph} , the angle of acceptance γ is limited to γ_{ph} and the source is scanned for hotspots. If the measurement angle of acceptance γ is not limited to the specified level, the hazard may be over-estimated

NOTE If the angular subtense of the apparent source is smaller than the specified limiting angle of acceptance, the actual measurement angle of acceptance does not affect the measurement and does not have to be limited, i.e. a regular "open" angle of acceptance radiometer set-up can be used.

Symbol: γ_{ph}

3.51

limiting angle of acceptance for evaluating thermal hazards

the maximum angular subtense to be used for the evaluation of the retinal thermal hazard

The value of the angle of acceptance γ may vary between α_{min} and α_{max} (see 8.3 d); 9.3.2 b) 2)).

Symbol: γ_{th}

3.52

limiting aperture

circular area over which irradiance and radiant exposure are averaged

3.53**maintenance**

performance of those adjustments or procedures specified in user information provided by the manufacturer with the laser product, which are to be performed by the user for the purpose of assuring the intended performance of the product

It does not include operation or service.

3.54**maximum angular subtense** $\alpha_{\max}$

value of angular subtense of the apparent source above which the MPEs and AELs are independent of the source size

NOTE $\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$

3.55**maximum output**

maximum radiant power, and where applicable, the maximum radiant energy per pulse, of the total accessible laser radiation emitted in any direction by a laser product over the full range of operational capability at any time after manufacture

NOTE The maximum output is the maximum accessible emission that is used to determine the class of the laser product. Since the determination of the accessible emission includes, besides other conditions, considering single fault conditions (see 9.2), the maximum output may exceed the highest output during normal operation.

3.56**maximum permissible exposure****MPE**

level of laser radiation to which, under normal circumstances, persons may be exposed without suffering adverse effects

The MPE levels represent the maximum level to which the eye or skin can be exposed without consequential injury immediately or after a long time and are related to the wavelength of the laser radiation, the pulse duration or exposure duration, the tissue at risk and, for visible and near infra-red laser radiation in the range 400 nm to 1 400 nm, the size of the retinal image. Maximum permissible exposure levels are (in the existing state of knowledge) specified in Annex A.

3.57**medical laser product**

any laser product designed, manufactured, intended or promoted for purposes of *in vivo* diagnostic, surgical, or therapeutic laser irradiation of any part of the human body

3.58**minimum angular subtense** $\alpha_{\min}$

value of angular subtense of the apparent source above which a source is considered an extended source

MPEs and AELs are independent of the source size for angular subtenses less than $\alpha_{\min}$.

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

3.59**mode-locking**

regular mechanism or phenomenon, within the laser resonator, producing a train of very short (e.g. sub-nanosecond) pulses

While this may be a deliberate feature it can also occur spontaneously as "self-mode-locking". The resulting peak powers may be significantly greater than the mean power.

3.60

most restrictive position

position in the beam where the ratio of accessible emission over AEL is maximum

NOTE Both the accessible emission and the AEL may depend on the position of the evaluation in respect to the beam.

3.61

nominal ocular hazard area

NOHA

area within which the beam irradiance or radiant exposure exceeds the appropriate corneal maximum permissible exposure (MPE), including the possibility of accidental misdirection of the laser beam

If the NOHA includes the possibility of viewing through optical aids, this is termed the "extended NOHA".

3.62

nominal ocular hazard distance

NOHD

distance from the output aperture at which the beam irradiance or radiant exposure equals the appropriate corneal maximum permissible exposure (MPE)

If the NOHD includes the possibility of viewing through optical aids, this is termed the "extended NOHD (ENOHD)".

3.63

operation

performance of the laser product over the full range of its intended functions

It does not include maintenance or service.

3.64

photochemical hazard limit

either an MPE or AEL which was derived to protect persons against adverse photochemical effects

In the ultraviolet wavelength range, the photochemical hazard limit protects against adverse effects on the cornea and lens, while the retinal photochemical hazard limit, as defined in the wavelength range from 400 nm to 600 nm, protects against photoreinitis – a photochemical retinal injury from exposure to radiation.

3.65

protective enclosure

physical means for preventing human exposure to laser radiation, unless such access is necessary for the intended functions of the installation

3.66

protective housing

those portions of a laser product (including a product incorporating an embedded laser) which are designed to prevent human access to laser radiation in excess of the prescribed AEL (generally installed by a manufacturer)

3.67**pulse duration**

time increment measured between the half peak power points at the leading and trailing edges of a pulse

3.68**pulsed laser**

laser which delivers its energy in the form of a single pulse or a train of pulses

In this Part 1, the duration of a pulse is less than 0,25 s.

3.69**radiance**

quantity defined by the formula

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

where

$d\Phi$ is the radiant flux transmitted by an elementary beam passing through the given point and propagating in the solid angle $d\Omega$ containing the given direction,

dA is the area of a section of that beam containing the given point;

θ is the angle between the normal to that section and the direction of the beam

Symbol: L

SI unit: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$

[IEV 845-01-34, modified]

NOTE This definition is a simplified version of IEV 845-01-34, sufficient for the purpose of this Part 1. In cases of doubt, the IEV definition should be followed.

3.70**radiant energy**

time integral of the radiant flux over a given duration Δt

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

[IEV 845-01-27]

Symbol: Q

SI unit: joule (J)

3.71**radiant exposure**

at a point on a surface, the radiant energy incident on an element of a surface divided by the area of that element

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

Symbol: H

SI unit: joule per square metre ($\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$)

3.72

radiant power

radiant flux

power emitted, transferred, or received in the form of radiation

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

[IEV 845-01-24]

Symbol: Φ , P

SI unit: watt (W)

3.73

reflectance

ratio of the reflected radiant power to the incident radiant power in the given conditions

[IEV 845-04-58, modified]

Symbol: ρ

SI unit: 1

3.74

remote interlock connector

connector which permits the connection of external controls placed apart from other components of the laser product (see 4.4)

3.75

safety interlock

automatic device associated with each portion of the protective housing of a laser product to prevent human access to Class 3R, Class 3B or Class 4 laser radiation when that portion of the housing is removed, opened or displaced (see 4.3)

3.76

scanning laser radiation

laser radiation having a time-varying direction, origin or pattern of propagation with respect to a stationary frame of reference

3.77

service

performance of those procedures or adjustments described in the manufacturer's service instructions, which may affect any aspect of the product's performance

It does not include maintenance or operation.

3.78

service panel

access panel that is designed to be removed or displaced for service

3.79

single fault condition

any single fault that might occur in a product and the direct consequences of that fault

3.80

small source

source with an angular subtense α less than, or equal to, the minimum angular subtense $\alpha_{\min}$

3.81**specular reflection**

reflection from a surface that can be considered a beam (see 3.11), including reflections from mirrored surfaces

NOTE This definition is intended to recognise that some reflecting surfaces, such as parabolic reflectors, may increase the hazard from an incident beam, or at least leave it unchanged.

3.82**thermal hazard limit**

either an MPE or AEL which was derived to protect persons against adverse thermal effects, as opposed to photochemical injury

3.83**time base**

emission duration to be considered for classification of laser products (see 8.3 e))

3.84**tool**

denotes a screwdriver, hexagonal key or other object which may be used to operate a screw or similar fixing means

3.85**transmittance**

ratio of the transmitted radiant flux to the incident flux in the given conditions

[IEV 845-04-59, modified]

Symbol: τ

SI unit: 1

3.86**transmittance (optical) density**

logarithm to base ten of the reciprocal of the transmittance τ

[IEV 845-04-66]

$$D = -\log_{10} \tau$$

Symbol: D

3.87**visible radiation (light)**

any optical radiation capable of causing a visual sensation directly

[IEV 845-01-03]

NOTE In this Part 1, this is taken to mean electromagnetic radiation for which the wavelengths of the monochromatic components lie between 400 nm and 700 nm.

3.88**workpiece**

an object intended for processing by laser radiation

4 Engineering specifications

4.1 General remarks

Laser products require certain built-in safety features, depending on the class to which they have been assigned by the manufacturer. The requirements for these are given in 4.2 to 4.12. The manufacturer shall ensure that the personnel responsible for the classification of laser products and systems have received training to an appropriate level that allows them to understand the full implications of the classification scheme.

- **Modification**

If the modification of a previously classified laser product affects any aspects of the product's performance or intended functions within the scope of this standard, the person or organization performing any such modification is responsible for ensuring the reclassification and relabelling of the laser product.

4.2 Protective housing

4.2.1 General

Each laser product shall have a protective housing which, when in place, prevents human access to laser radiation (including errant laser radiation) in excess of the AEL for Class 1, except when human access is necessary for the performance of the function(s) of the product.

When the classification of a laser product is based on the prevention of human access to a level of energy that is equivalent to Class 4 (for instance, for laser processing machines), the protective housing must withstand exposures under reasonably foreseeable single fault conditions (see 9.1), without human intervention. If the protective housing is of a size that permits human entry, see 4.12.

Maintenance of Class 1, 1M, 2, 2M, or 3R laser products shall not permit human access to levels of laser radiation of Class 3B or Class 4. Maintenance of Class 3B laser products shall not permit human access to levels of laser radiation of Class 4.

4.2.2 Service

Any parts of the housing or enclosure of a laser product (including embedded laser products) that can be removed or displaced for service and which would allow access to laser radiation in excess of the AEL assigned and are not interlocked (see 4.3) shall be secured in such a way that removal or displacement of the parts requires the use of a tool or tools.

4.2.3 Removable laser system

If a laser system can be removed from its protective housing or enclosure and operated without modification, the laser system shall comply with the manufacturing requirements of Clauses 4 and 5 that are appropriate to its class.

4.3 Access panels and safety interlocks

4.3.1 A safety interlock shall be provided for access panels of protective housings when both of the following conditions are met:

- a) the access panel is intended to be removed or displaced during maintenance or operation, and
- b) the removal of the panel gives access to laser radiation levels designated by "X" in Table 1 below.

Table 1 below indicates (X) the applicability of a safety interlock.

Table 1 – Requirements for safety interlocking

Product class	Accessible emission during or after removal of access panel				
	1, 1M	2, 2M	3R	3B	4
1, 1M	–	–	X	X	X
2, 2M	–	–	X	X	X
3R	–	–	–	X	X
3B	–	–	–	X	X
4	–	–	–	X	X

Removal of the panel shall not result in emission through the opening in excess of the AEL for Class 1M or Class 2M, as applicable according to the wavelength.

When a safety interlock is required, the safety interlock shall prevent access to accessible emission levels above the applicable AEL in Table 1 when the panel is removed. Inadvertent resetting of the interlock shall not in itself restore emission values above the applicable AEL in Table 1. These interlocks shall conform to the requirements in the applicable IEC product safety standard (see Clause 1).

NOTE The requirements of 9.1 also apply to interlocks, i.e. interlocks need to be failsafe or redundant.

4.3.2 If a deliberate override mechanism is provided, the manufacturer shall also provide adequate instructions about safe methods of working. It shall not be possible to leave the override in operation when the access panel is returned to its normal position. The interlock shall be clearly associated with a label conforming to 5.9.2. Use of the override shall give rise to a distinct visible or audible warning whenever the laser is energized or capacitor banks are not fully discharged, whether or not the access panel is removed or displaced. Visible warnings shall be clearly visible through protective eyewear specifically designed or specified for the wavelength(s) of the accessible laser radiation.

4.4 Remote interlock connector

Each Class 3B and Class 4 laser system shall have a remote interlock connector. When the terminals of the connector are open-circuited, the accessible radiation shall not exceed the AEL for Class 1M or Class 2M as applicable.

4.5 Manual reset

Each Class 4 laser system shall incorporate a manual reset to enable resumption of accessible Class 4 laser radiation emission after interruption of emission caused by the use of the remote interlock connector or an interruption of longer than 5 s of electrical mains power.

NOTE Manufacturers may include a second interlock connector that does not require active action for starting emission, but it is not required for a product to have two connectors.

4.6 Key control

Each Class 3B and Class 4 laser system shall incorporate a key-operated master control. The key shall be removable and the laser radiation shall not be accessible when the key is removed.

NOTE In this Part 1 the term "key" includes any other control devices, such as magnetic cards, cipher combinations, computer passwords, etc.

4.7 Laser radiation emission warning

4.7.1 Each Class 3R laser system in the wavelength range below 400 nm and above 700 nm and each Class 3B and Class 4 laser system shall satisfy the following.

4.7.2 A warning device shall give an audible or visible signal when the laser system is switched on or if any capacitor banks of a pulsed laser are being charged or have not positively discharged. The warning device shall be fail-safe or redundant. Any visible warning device shall be clearly visible through protective eyewear specifically designed for the wavelength(s) of the emitted laser radiation. The visible warning device(s) shall be located so that viewing does not require exposure to laser radiation in excess of the AEL for Class 1M and 2M.

4.7.3 Each operational control and laser aperture that can be separated by 2 m or more from a radiation warning device shall itself be provided with a radiation warning device. The warning device shall be clearly visible or audible to the person in the vicinity of the operational control or laser aperture.

4.7.4 Where the laser emission may be distributed through more than one output aperture, then a visible warning device shall clearly indicate the output aperture or apertures through which laser emission can occur, in accordance with 4.7.2.

4.8 Beam stop or attenuator

Each Class 3B and Class 4 laser system shall incorporate one or more permanently attached means of attenuation (e. g. beam stop, attenuator, switch). The beam stop or attenuator shall be capable of preventing human access to laser radiation in excess of the AEL for Class 1M or Class 2M as applicable.

4.9 Controls

Each laser product shall have controls located so that adjustment and operation do not require exposure to laser radiation equivalent to Class 3R, Class 3B or Class 4.

4.10 Viewing optics

Any viewing optics, viewport or display screen incorporated in a laser product shall provide sufficient attenuation to prevent human access to laser radiation in excess of the AEL for Class 1M, and, for any shutter or variable attenuator incorporated in the viewing optics, viewport or display screen, a means shall be provided to:

- a) prevent human access to laser radiation in excess of the AEL for Class 1M when the shutter is opened or the attenuation varied;
- b) prevent opening of the shutter or variation of the attenuator when exposure to laser radiation in excess of the AEL for Class 1M is possible.

4.11 Scanning safeguard

Laser products intended to emit scanned radiation and classified on this basis, shall not, as a result of scan failure or of variation in either scan velocity or amplitude, permit human access to laser radiation in excess of the AEL for the assigned class, unless exposure of people is not reasonably foreseeable during the time interval between failure and when the scanning safeguard reduces emission to levels below the AEL of the class of the product (also see 9.1).

4.12 "Walk-in" access

If a protective housing is equipped with an access panel which provides "walk-in" access then:

- a) means shall be provided so that any person inside the housing can prevent activation of a laser hazard that is equivalent to Class 3B or Class 4;
- b) a warning device shall be situated so as to provide adequate warning of emission of laser radiation equivalent to Class 3R in the wavelength range below 400 nm and above 700 nm, or of laser radiation equivalent to Class 3B or Class 4 to any person who might be within the housing;
- c) where "walk-in" access during operation is intended or reasonably foreseeable, emission of laser radiation that is equivalent to Class 3B or Class 4 while someone is present inside the enclosure of a Class 1, Class 2, or Class 3R product shall be prevented by engineering means.

NOTE Methods to prevent human access to radiation when persons are inside the protective housing may include pressure sensitive floor mats, infrared detectors, etc.

4.13 Environmental conditions

The laser product shall meet the safety requirements defined in this standard under all expected operating conditions appropriate to the intended use of the product. Factors to be considered shall include:

- climatic conditions (e.g. temperature, relative humidity);
- vibration and shock.

If no provisions are made in the product safety standard, the relevant subclauses of IEC 61010-1 shall apply.

NOTE Requirements related to electromagnetic susceptibility are under consideration.

4.14 Protection against other hazards

4.14.1 Non-optical hazards

The requirements of the relevant product safety standard shall be fulfilled during operation and in the event of a single fault for the following:

- electrical hazards;
- excessive temperature;
- spread of fire from the equipment;
- sound and ultrasonics;
- harmful substances;
- explosion.

If no provisions are included in the product safety standard, the relevant subclauses of IEC 61010-1 shall apply.

NOTE Many countries have regulations for the control of harmful substances. Contact the appropriate national agency for these requirements.

4.14.2 Collateral radiation

The protective housing of laser products will normally protect against the hazards of collateral radiation (e.g. ultraviolet, visible, infrared radiation). However, if a concern exists that accessible collateral radiation might be hazardous, the laser MPE values may be applied to conservatively evaluate this hazard.

5 Labelling

5.1 General

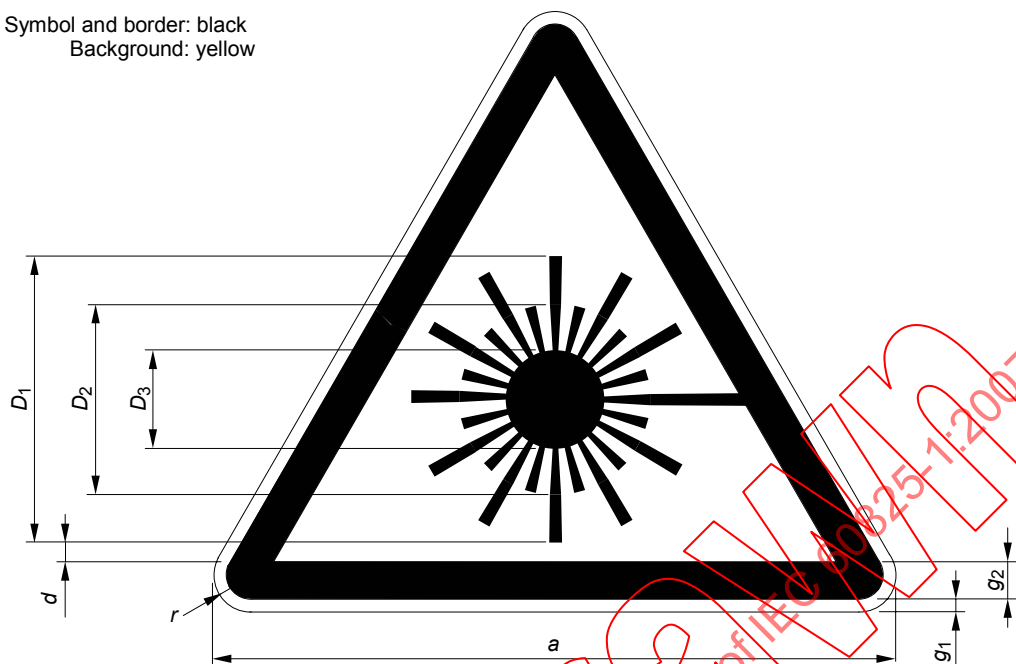
Each laser product shall carry label(s) in accordance with the requirements of the following clauses. The labels shall be durable, permanently affixed, legible, and clearly visible during operation, maintenance or service, according to their purpose. They shall be so positioned that they can be read without the necessity for human exposure to laser radiation in excess of the AEL for Class 1. Text borders and symbols shall be black on a yellow background except for Class 1, where this colour combination need not be used.

The wording of labels shown in Clause 5 is recommended but not mandatory. Other wording that conveys the same meaning may be substituted.

If the size or design of the product makes labelling impractical, the label shall be included with the user information or on the package.

NOTE Direct printing or engraving of equivalent labels on the laser product or panels is acceptable.

Symbol and border: black
Background: yellow



IEC 411/07

Dimensions in millimetres

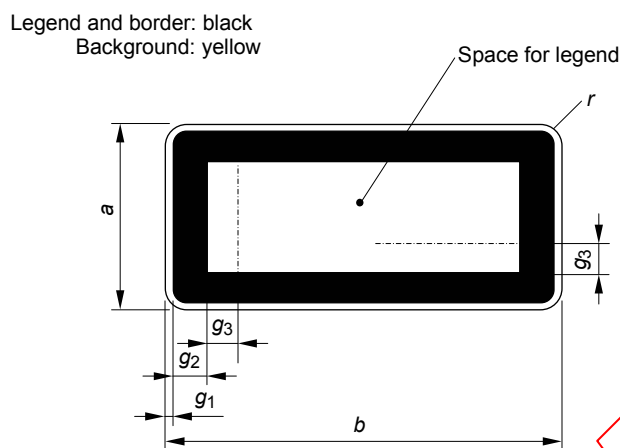
<i>a</i>	<i>g</i> ₁	<i>g</i> ₂	<i>r</i>	<i>D</i> ₁	<i>D</i> ₂	<i>D</i> ₃	<i>d</i>
25	0,5	1,5	1,25	10,5	7	3,5	0,5
50	1	3	2,5	21	14	7	1
100	2	6	5	42	28	14	2
150	3	9	7,5	63	42	21	3
200	4	12	10	84	56	28	4
400	8	24	20	168	112	56	8
600	12	36	30	252	168	84	12

The dimensions *D*₁, *D*₂, *D*₃, *g*₁ and *d* are recommended values.

NOTE 1 The relationship between the greatest distance *L* from which the label can be understood and the minimum area *A* of the label is given by: $A = L^2/2\ 000$, where *A* and *L* are expressed in square metres and metres respectively. This formula applies for distance *L* less than about 50 m.

NOTE 2 These dimensions are recommended values. As long as they are proportional to the values, the symbol and border may be of any legible size as required to suit the size of the laser product.

Figure 1 – Warning label – Hazard symbol



IEC 412/07

Dimensions in millimetres

$a \times b$	g_1	g_2	g_3	r	Minimum height of lettering
26 × 52	1	4	4	2	Lettering shall be of a size which renders it legible
52 × 105	1,6	5	5	3,2	
84 × 148	2	6	7,5	4	
100 × 250	2,5	8	12,5	5	
140 × 200	2,5	10	10	5	
140 × 250	2,5	10	12,5	5	
140 × 400	3	10	20	6	
200 × 250	3	12	12,5	6	
200 × 400	3	12	20	6	
250 × 400	4	15	25	8	
The dimension g_1 is recommended.					

NOTE 1 The relationship between the greatest distance L from which the label can be understood and the minimum area A of the label is given by: $A = L^2/2\,000$, where A and L are expressed in square metres and metres respectively. This formula applies for distance L less than about 50 m.

NOTE 2 These dimensions are recommended values. The label may be of any size necessary to contain the required lettering and border. The minimum width of each border dimension g_2 and g_3 must be 0,06 times the length of the shorter side of the label.

Figure 2 – Explanatory label

5.2 Class 1 and Class 1M

Except as permitted in Clause 1, each Class 1 laser product shall have affixed an explanatory label (Figure 2) bearing the words:

CLASS 1 LASER PRODUCT

Each Class 1M laser product shall have affixed an explanatory label (Figure 2) bearing the words:

LASER RADIATION
DO NOT VIEW DIRECTLY WITH OPTICAL INSTRUMENTS
CLASS 1M LASER PRODUCT

Instead of the above labels, at the discretion of the manufacturer, the same statements may be included in the information for the user.

The type of optical instrument which could result in an increased hazard may be added in parenthesis after the word "instruments" on the Class 1M label. The added wording could in particular be "(BINOCULARS OR TELESCOPES)" for a laser product with a collimated, large-diameter beam, which is classified 1M because it fails condition 1 (see Clause 9), or "(MAGNIFIERS)" for a laser product which is classified 1M because it fails condition 2 (see Clause 9) (highly diverging beam).

Alternatively, the second line of the Class 1M label could read "DO NOT EXPOSE USERS OF BINOCULARS OR TELESCOPES"

If the accessible emission exceeds the AEL of Class 3B as determined with a 3,5 mm diameter aperture placed at the closest point of human access, an additional warning is to be given on a product label and in the information for the user:

SKIN EXPOSURE NEAR APERTURE MAY CAUSE BURNS

NOTE Only applies if condition 2 is used to determine the AEL.

5.3 Class 2 and Class 2M

Each Class 2 laser product shall have affixed a warning label (Figure 1) and an explanatory label (Figure 2) bearing the words:

LASER RADIATION
DO NOT STARE INTO BEAM
CLASS 2 LASER PRODUCT

Each Class 2M laser product shall have affixed a warning label (Figure 1) and an explanatory label (Figure 2) bearing the words:

LASER RADIATION
DO NOT STARE INTO THE BEAM OR VIEW
DIRECTLY WITH OPTICAL INSTRUMENTS
CLASS 2M LASER PRODUCT

The type of optical instrument which could result in an increased hazard may be added in parenthesis after the word "instruments". The added wording could in particular be "(BINOCULARS OR TELESCOPES)" for a laser product with a collimated, large-diameter beam which is classified 2M because it fails condition 1 (see Clause 9), or "(MAGNIFIERS)" for a laser product which is classified 2M because it fails condition 2 (see Clause 9) (highly diverging beam).

Alternatively, the second line of the Class 2M label could read "DO NOT EXPOSE USERS OF BINOCULARS OR TELESCOPES"

If the accessible emission exceeds the AEL of Class 3B as determined with a 3,5 mm diameter aperture placed at the closest point of human access, an additional warning is to be given on a product label and in the information for the user:

SKIN EXPOSURE NEAR APERTURE MAY CAUSE BURNS

NOTE Only applies if condition 2 is used to determine the AEL.

5.4 Class 3R

Each Class 3R laser product shall have affixed a warning label (Figure 1) and an explanatory label (Figure 2) bearing the words:

LASER RADIATION
AVOID DIRECT EYE EXPOSURE
CLASS 3R LASER PRODUCT

NOTE Labels using AVOID EXPOSURE TO BEAM in the second line would also be acceptable.

5.5 Class 3B

Each Class 3B laser product shall have affixed a warning label (Figure 1) and an explanatory label (Figure 2) bearing the words:

LASER RADIATION
AVOID EXPOSURE TO BEAM
CLASS 3B LASER PRODUCT

5.6 Class 4

Each Class 4 laser product shall have affixed a warning label (Figure 1) and an explanatory label (Figure 2) bearing the words:

LASER RADIATION
AVOID EYE OR SKIN EXPOSURE TO
DIRECT OR SCATTERED RADIATION
CLASS 4 LASER PRODUCT

5.7 Aperture label

Each Class 3R, Class 3B and Class 4 laser product shall have affixed a label close to each aperture through which laser radiation in excess of the AEL for Class 1 or Class 2 is emitted. The label(s) shall bear the words:

LASER APERTURE
or
APERTURE FOR LASER RADIATION
or
AVOID EXPOSURE – LASER RADIATION IS
EMITTED FROM THIS APERTURE

5.8 Radiation output and standards information

The name and publication date of the standard to which the product was classified shall be included on the explanatory label or elsewhere in close proximity on the product. Each laser product, except those of Class 1, shall be described on the explanatory label (Figure 2) by a statement of the maximum output of laser radiation (see definition 3.55), the pulse duration (if appropriate) and the emitted wavelength(s). For Class 1 and Class 1M, instead of the labels on the product, the information may be contained in the information for the user.

5.9 Labels for access panels

5.9.1 Labels for panels

Each connection, each panel of a protective housing, and each access panel of a protective enclosure which, when removed or displaced permits human access to laser radiation in excess of the AEL for Class 1, shall have affixed labels bearing the words (for the case of an embedded Class 1M laser, the statement instead may be included in the information for the user):

a)

CAUTION – CLASS 1M LASER RADIATION WHEN OPEN
DO NOT VIEW DIRECTLY WITH OPTICAL INSTRUMENTS

if the accessible radiation does not exceed the AEL for Class 1M where the level of radiation is measured according to 9.2 g) and 9.3;

b)

CAUTION – CLASS 2 LASER RADIATION WHEN OPEN
DO NOT STARE INTO THE BEAM

if the accessible radiation does not exceed the AEL for Class 2 where the level of radiation is measured according to 9.2 h) and 9.3;

c)

CAUTION – CLASS 2M LASER RADIATION WHEN OPEN
DO NOT STARE INTO THE BEAM OR VIEW
DIRECTLY WITH OPTICAL INSTRUMENTS

if the accessible radiation does not exceed the AEL for Class 2M where the level of radiation is measured according to 9.2 h) and 9.3;

d)

CAUTION – CLASS 3R LASER RADIATION WHEN OPEN
AVOID DIRECT EYE EXPOSURE

if the accessible radiation does not exceed the AEL for Class 3R;

NOTE Labels using AVOID EXPOSURE TO THE BEAM in the second line would also be acceptable.

e)

CAUTION – CLASS 3B LASER RADIATION WHEN OPEN
AVOID EXPOSURE TO THE BEAM

if the accessible radiation does not exceed the AEL for Class 3B;

f)

CAUTION – CLASS 4 LASER RADIATION WHEN OPEN
AVOID EYE OR SKIN EXPOSURE TO
DIRECT OR SCATTERED RADIATION

if the accessible radiation exceeds the limits for Class 3B.

This information may be provided in more than one adjacent label on the product.

5.9.2 Labels for safety interlocked panels

Appropriate labels shall be clearly associated with each safety interlock which may be readily overridden and which would then permit human access to laser radiation in excess of the AEL of Class 1. Such labels shall be visible prior to and during interlock override and be in close proximity to the opening created by the removal of the protective housing. This label shall bear the words specified in items a) to f) of 5.9.1, as applicable, with the introduction of an additional line, positioned after the first line, with the following words:

AND INTERLOCKS DEFEATED

5.10 Warning for invisible laser radiation

In many cases, the wording prescribed for labels in Clause 5 includes the phrase "LASER RADIATION". If the output of the laser is outside the wavelength range from 400 nm to 700 nm, this shall be modified to read "INVISIBLE LASER RADIATION", or if the output is at wavelengths both inside and outside this wavelength range, to read "VISIBLE AND INVISIBLE LASER RADIATION".

If a product is classified on the basis of the level of visible laser radiation and also emits in excess of the AEL of Class 1 at invisible wavelengths, the label shall include the words "VISIBLE AND INVISIBLE LASER RADIATION" in lieu of "LASER RADIATION".

5.11 Warning for visible laser radiation

The wording "LASER RADIATION" for labels in Clause 5 may be modified to read "LASER LIGHT" if the output of the laser product is in the (visible) wavelength range from 400 nm to 700 nm.

6 Other informational requirements

6.1 Information for the user

Manufacturers of laser products shall provide (or see to the provision of) user instructions or an operation manual that contains all relevant safety information. It remains the responsibility of the manufacturer to provide the safety information indicated below and to decide which additional information is relevant and, therefore, shall be provided.

NOTE The information that is relevant or not relevant depends on the specific product including its intended application and may even be subject to national legislation.

The following information shall be provided:

- a) Adequate instructions for proper assembly, maintenance, and safe use, including clear warnings concerning precautions to avoid possible exposure to hazardous laser radiation and description of the classification limitations, if appropriate (see Annex C for a description of the classes and possible limitations).

- b) An additional warning for Class 1M and 2M laser products. For diverging beams, this warning shall state that viewing the laser output with certain optical instruments (for example, eye loupes, magnifiers and microscopes) within a distance of 100 mm may pose an eye hazard. For collimated beams, this warning shall state that viewing the laser output with certain optical instruments designed for use at a distance (for example, telescopes and binoculars) may pose an eye hazard.
- c) For laser radiation levels above the AEL of Class 1, a description of any radiation pattern(s) emitted from the protective housing during the performance of operation and maintenance procedures. Where applicable, this shall include a statement in appropriate units of:
- wavelength,
 - beam divergence,
 - pulse duration and repetition rate (or description of irregular pulse pattern),
 - maximum power or energy output.

The values shall, where appropriate, include cumulative measurement uncertainties and any expected increase in the measured quantities at any time after manufacture. Duration of pulses resulting from unintentional mode-locking need not be specified; whereas, those conditions associated with the product known to result in unintentional mode-locking shall be specified. For ultrashort pulses, the bandwidth of the radiation (i.e. the wavelength range of emission) shall be specified.

- d) For embedded laser products and other incorporated laser products, information to describe the incorporated laser (see item c)). The information shall also include appropriate safety instructions to the user to avoid inadvertent exposure to hazardous laser radiation. This is particularly relevant for embedded laser products that are classified as Class 1, Class 1M, Class 2 or Class 2M but where intrabeam viewing to accessible emission levels in excess of the AELs of these classes is possible during maintenance. In this case the manufacturer shall include a warning that intrabeam viewing of the laser shall be prevented.
- e) Where appropriate and relevant, the applicable MPE and NOHD for Class 3B and Class 4 laser products. Since the NOHD greatly depends on the beam delivery system and optical elements placed in the beam, when this is considered as relevant, it is recommended that the different NOHD values are given for the different attachments or beam delivery systems. If there is a variable beam divergence, the NOHD could be given for some selected values of divergence. When an MPE and NOHD value is stated, the assumed exposure duration for the determination of these values shall also be stated. For collimated-beam Class 1M and Class 2M lasers, the extended NOHD (ENOH) shall be stated, where appropriate and relevant.

NOTE Specific information on the NOHD is typically not required for collimated beams that are to be used indoors. In that case, it is usually sufficient to give only an indication of the extent of the range where the MPE can be exceeded.

- f) Where appropriate, information for the selection of eye protection. This shall include the required optical density as well as irradiance or radiation exposure levels that might be incident on the surface of the eye protection equipment, so that resistance levels can be determined.

NOTE Many countries have regulations and standards for personal protective equipment. Contact the appropriate national agency for these requirements.

- g) Legible reproductions (colour optional) of all required labels and hazard warnings to be affixed to the laser product or provided with the laser product. The corresponding position of each label affixed to the product shall be indicated or, if provided with the product, a statement that such labels could not be affixed to the product but were supplied with the product and a statement of the form and manner in which they were supplied shall be provided.
- h) A clear indication in the manual of all locations of laser apertures through which laser radiation exceeding the Class 1 AEL is emitted.
- i) List of controls, adjustments and procedures for operation and maintenance, including the warning "Caution – Use of controls or adjustments or performance of procedures other than those specified herein may result in hazardous radiation exposure" (or alternatively, equivalent appropriate warnings).
- j) In the case of laser products that do not incorporate the laser energy source necessary for laser emission, a statement of the compatibility requirements for a laser energy source to ensure safety.

6.2 Purchasing and servicing information

Manufacturers of laser products shall provide or cause to be provided the following.

- a) In all catalogues, specification sheets and descriptive brochures, the classification of each laser product and any warning shall be stated, including those specified by 6.1 b), if appropriate.
- b) To servicing dealers and distributors, and to others upon request, adequate instructions for service adjustments and service procedures for each laser product model, which include:
 - clear warnings and precautions to be taken to avoid possible exposure to laser radiation above Class 1 and other hazards;
 - a schedule of maintenance necessary to keep the product in compliance;
 - a list of those controls and procedures which could be utilized by persons other than the manufacturer or his agents to increase accessible emission levels of radiation;
 - a clear description of the location of displaceable portions of the protective housing which could allow access to laser radiation in excess of the accessible limits in Tables 4 to 9;
 - protective procedures for service personnel; and
 - legible reproductions (colour optional) of required labels and hazard warnings.

7 Additional requirements for specific laser products

7.1 Other parts of the standard series IEC 60825

For specific applications, one or other of the following IEC 60825 series may be applicable (see also Bibliography).

- IEC 60825-2, *Safety of optical fibre communication systems* (provides application notes and examples)

- IEC 60825-4, *Laser guards* (provides design and construction information for laser guards and materials especially where high power lasers are used)
- IEC 60825-12, *Safety of free space optical communication systems used for transmission of information*.

Further information may be found in:

- IEC/TR 60825-3, *Guidance for laser displays and shows*
- IEC/TR 60825-5, *Manufacturer's checklist for IEC 60825-1* (suitable for use in a safety report)
- IEC/TR 60825-8, *Guidelines for the safe use of laser beams on humans*
- IEC/TR 60825-9, *Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation* (broadband sources)
- IEC/TR 60825-10, *Application guidelines and explanatory notes to IEC 60825-1*
- IEC/TR 60825-13, *Measurements for classification of laser products*
- IEC/TR 60825-14, *A user's guide*
- IEC 62471 (CIE S009), *Photobiological safety of lamps and lamp systems*

7.2 Medical laser products

Each medical laser product shall comply with all of the applicable requirements for laser products of its class. In addition, any Class 3B or Class 4 medical laser product is subject to IEC 60601-2-22.

7.3 Laser processing machines

Laser processing machines shall comply with applicable requirements for laser products of their class. In addition, laser processing machines may be subject to ISO/IEC 11553-1.

7.4 Electric toys

Electric toys that are laser products shall comply with applicable requirements for laser products of their class. In addition, these products are subject to IEC 62115.

7.5 Consumer electronic products

Consumer electronic products that are laser products shall comply with applicable requirements for laser products of their class. In addition, these products may be subject to one of the following standards: IEC 60950 (IT equipment), IEC 60065 (AV equipment).

8 Classification

8.1 Introduction

Because of the wide ranges possible for the wavelength, energy content and pulse characteristics of a laser beam, the potential hazards arising in its use vary widely. It is impossible to regard lasers as a single group to which common safety limits can apply. Annex C describes the hazards associated with the classes and possible limitations (e.g. as may arise from optically aided viewing) in more detail.

8.2 Classification responsibilities

It is the responsibility of the manufacturer or his agent to provide correct classification of a laser product (however, see 4.1).

The product shall be classified on the basis of that combination of output power(s) and wavelength(s) of the accessible laser radiation over the full range of capability during operation at any time after manufacture which results in its allocation to the highest appropriate class.

A laser product can only be assigned to a particular class when it has met all of the requirements within this Part 1 for that class, for example engineering controls, labelling and information for the user.

8.3 Classification rules

For the purpose of classification rules, the following ranking of the classes (in increasing order of hazard) shall be used: Class 1, Class 1M, Class 2, Class 2M, Class 3R, Class 3B, Class 4.

NOTE For classification of a laser product as Class 1M or 2M, the use of an aperture specified as condition 3 limits the amount of radiation that is collected from large diameter or highly diverging beams. For example, when measured under the applicable conditions, Class 1M and Class 2M products may have higher measured total energy or power than Class 2 or Class 3R. For such laser products, a classification of 1M or 2M is appropriate.

The accessible emission limits (AELs) for Class 1 and 1M, Class 2 and 2M, Class 3R and Class 3B are given in Tables 4 to 9. The values of the correction factors used are given in Table 10 as functions of wavelength, emission duration, number of pulses and angular subtense.

a) Radiation of a single wavelength

A single wavelength laser product, with a spectral range of the emission line narrow enough so that the AELs do not change, is assigned to a class when the accessible laser radiation, measured under the conditions appropriate to that class, exceeds the AEL of all lower classes but does not exceed that of the class assigned.

b) Radiation of multiple wavelengths

- 1) A laser product emitting two or more wavelengths in spectral regions shown as additive in Table 2 is assigned to a class when the sum of the ratios of the accessible laser radiation (measured under the conditions appropriate to that class) to the AELs of those wavelengths is greater than unity for all lower classes but does not exceed unity for the class assigned.
- 2) A laser product emitting two or more wavelengths not shown as additive in Table 2 is assigned to a class when the accessible laser radiation, measured under the conditions appropriate to that class, exceeds the AELs of all lower classes for at least one wavelength but does not exceed the AEL for the class assigned for any wavelength.

Table 2 – Additivity of effects on eye and skin of radiation of different spectral regions

Spectral region ^a	UV-C and UV-B 180 nm to 315 nm	UV-A 315 nm to 400 nm	Visible and IR-A 400 nm to 1 400 nm	IR-B and IR-C 1 400 nm to 10 ⁶ nm
UV-C and UV-B 180 nm to 315 nm	o s			
UV-A 315 nm to 400 nm		o s	s	o s
Visible and IR-A 400 nm to 1 400 nm		s	o ^b s	s
IR-B and IR-C 1 400 nm to 10 ⁶ nm		o s	s	o s
o Eye s Skin				
a	For definitions of spectral regions, see Table D.1.			
b	Where AELs and ocular MPEs are being evaluated for time bases or exposure durations of 1 s or longer, then the additive photochemical effects (400 nm to 600 nm) and the additive thermal effects (400 nm to 1 400 nm) shall be assessed independently and the most restrictive value used.			

c) Radiation from extended sources

The ocular hazard from laser sources in the wavelength range from 400 nm to 1 400 nm is dependent upon the angular subtense of the apparent source α .

NOTE 1 A source is considered an extended source when the angular subtense of the source is greater than $\alpha_{\min}$, where $\alpha_{\min} = 1,5$ mrad. Most laser sources have an angular subtense α less than $\alpha_{\min}$, and appear as an apparent "point source" (small source) when viewed from within the beam (intra-beam viewing). Indeed a circular laser beam cannot be collimated to a divergence less than 1,5 mrad if it is an extended source, thus any laser where a beam divergence of 1,5 mrad or less is specified cannot be treated as an extended source.

NOTE 2 For retinal thermal hazard evaluation (400 nm to 1 400 nm), the AELs for extended sources vary directly with the angular subtense of the source. For the retinal photochemical hazard evaluation (400 nm to 600 nm), for exposures greater than 1 s, the AELs do not vary directly with the angular subtense of the source. Depending on the emission duration (see 9.3.3b) 1), a limiting angle of acceptance γ_{ph} of 11 mrad or more is used for measurement and the relation of the limiting acceptance angle γ_{ph} to the angular subtense α of the apparent source can influence the measured value.

NOTE 3 For the default condition where $C_6 = 1$, a simplified Table 4 is provided for the AEL of Class 1 and 1M.

For sources subtending an angle less than or equal to $\alpha_{\min}$, the AEL and MPE are independent of the angular subtense of the apparent source α .

For classifying laser products at the most restrictive position where condition 1 applies (see 9.3.3), the 7× magnification of the angular subtense α of the apparent source may be applied to determine C_6 , i.e. $C_6 = 7 \times \alpha / \alpha_{\min}$. The expression $(7 \times \alpha)$ shall be limited to $\alpha_{\max}$ prior to the calculation of C_6 . The 7× value of α shall be used for the determination of T_2 of Table 10.

NOTE For cases where $\alpha < 1,5$ mrad but $7 \times \alpha > 1,5$ mrad, the limits for $\alpha > 1,5$ mrad of Table 5 and 8 apply.

d) Non-uniform retinal image irradiance profile, non-circular and multiple sources

For comparison with the thermal retinal limits, if:

the wavelength range is from 400 nm to 1 400 nm; and

the AEL depends on C_6

then if:

the retinal image does not have a uniform irradiance profile*; or

the retinal image profile consists of multiple points,

* For a Gaussian retinal irradiance profile (as produced by a TEM₀₀ beam), the angular subtense can be determined with the d_{63} diameter criterion and an analysis of partial areas is not necessary.

then measurements or evaluations shall be made for each of the following scenarios:

- for every single point; and
- for various assemblies of points; and
- for partial areas.

This is necessary in order to ensure that the AEL is not exceeded for each possible angle α subtended in each scenario. For the evaluation of assemblies of points or for partial areas, the angle of acceptance γ is to be varied between $\alpha_{\min}$ and $\alpha_{\max}$, i.e. $\alpha_{\min} < \gamma < \alpha_{\max}$, to determine the partial accessible emission associated with the respective scenario. For the comparison of these partial accessible emission levels with the respective AEL, the value of α is set equal to γ .

Classification is to be based on the case where the ratio between:

- the partial accessible emission within a partial area over the angular subtense α of that area; and
- the corresponding AEL

is a maximum.

The angular subtense of a rectangular or linear source is determined by the arithmetic mean value of the two angular dimensions of the source. Any angular dimension that is greater than $\alpha_{\max}$ or less than $\alpha_{\min}$ shall be limited to $\alpha_{\max}$ or $\alpha_{\min}$ respectively, prior to calculating the mean.

The photochemical limits (400 nm to 600 nm) do not depend on the angular subtense of the source, and the source is analysed with the limiting angle of acceptance specified in 9.3.3 b). For sources that are larger than the limiting angle of acceptance, the accessible emission has to be determined for the partial apparent source which produces the maximum emission value.

e) Time bases

The following time bases are used in this standard for classification:

- 1) 0,25 s for Class 2, Class 2M and Class 3R laser radiation in the wavelength range from 400 nm to 700 nm;
- 2) 100 s for laser radiation of all wavelengths greater than 400 nm except for the cases listed in 1) and 3);
- 3) 30 000 s for laser radiation of all wavelengths less than or equal to 400 nm and for laser radiation of wavelengths greater than 400 nm where intentional long-term viewing is inherent in the design or function of the laser product.

Every possible emission duration within the time base must be considered when determining the classification of a product. This means that the emission level of a single pulse must be compared to the AEL applicable to the duration of the pulse, etc. It is not sufficient to only average the emission level for the duration of the classification time base, or to merely perform the evaluation for the value of the time base without considering shorter emission durations.

NOTE For a multi wavelength emission laser product with emission in the visible and in the non-visible part of the spectrum, where the emission is assessed as additive (see Table 2), and where the visible part on its own would be classified as Class 2 or 2M or 3R and the non-visible part on its own would be classified as Class 1 or Class 1M, the time base for the assessment of the added emission may be 0,25 s even for the non-visible part.

f) Repetitively pulsed or modulated lasers

The following methods shall be used to determine the class of the laser product to be applied to repetitive pulsed or modulated emissions.

For all wavelengths requirements, 1) and 2) shall be assessed. In addition, for wavelengths from 400 nm to 10⁶ nm, requirement 3) shall also be assessed for comparison with thermal limits. Requirement 3) does not need to be assessed for comparison with photochemical limits.

The class (see Tables 4 to 9) is determined by applying the most restrictive of 1), 2) and, where applicable, 3).

- 1) The exposure from any single pulse within a pulse train shall not exceed the AEL for a single pulse.
- 2) The average power for a pulse train of emission duration T AEL_T shall not exceed the power corresponding to the AEL for a single pulse of duration T .

NOTE For comparison with AEL_{single} or $AEL_{\text{s.p.train}}$, AEL_T should be divided by N and is termed $AEL_{\text{s.p.T}}$.

- 3) a) For constant pulse energy and pulse duration:

The energy per pulse shall not exceed the AEL for a single pulse multiplied by the correction factor C_5 .

$$AEL_{\text{s.p. train}} = AEL_{\text{single}} \times C_5$$

where

$AEL_{\text{s.p. train}}$ is the AEL for a single pulse in the pulse train;

AEL_{single} is the AEL for a single pulse (Tables 4 to 9);

N is the effective number of pulses in the pulse train within the assessed emission duration (when pulses occur within T_i (see Table 3), N is less than the actual number of pulses, see below). The maximum emission duration that needs to be considered for the assessment, for wavelengths between 400 nm and 1 400 nm, is T_2 (see Table 10) or the applicable time basis, whichever is shorter. For wavelengths greater than 1 400 nm, the maximum duration to be considered is 10 s.

$$C_5 = N^{-0,25}$$

C_5 is only applicable to individual pulse duration shorter than 0,25 s.

If multiple pulses appear within the period of T_i (see Table 3), they are counted as a single pulse to determine N and the energies of the individual pulses are added to be compared to the AEL of T_i .

The energy from any group of pulses (or sub-group of pulses in a train) delivered in any given time shall not exceed the AEL for that time.

Table 3 – Times below which pulse groups are summed

Wavelength nm	T_i s
$400 \leq \lambda < 1\,050$	18×10^{-6}
$1\,050 \leq \lambda < 1\,400$	50×10^{-6}
$1\,400 \leq \lambda < 1\,500$	10^{-3}
$1\,500 \leq \lambda < 1\,800$	10
$1\,800 \leq \lambda < 2\,600$	10^{-3}
$2\,600 \leq \lambda \leq 10^6$	10^{-7}

b) For varying pulse widths or varying pulse intervals:

The total-on-time-pulse (TOTP) method shall be used. The AEL is determined by the duration of the TOTP, which is the sum of all pulse durations within the emission duration or T_2 , whichever is smaller. Pulses with durations less than T_i are assigned pulse durations of T_i . If two or more pulses occur within a duration of T_i , these pulse groups are assigned pulse durations of T_i . For comparison with the AEL for the corresponding duration, all individual pulse energies are added.

9 Determination of the accessible emission level

9.1 Tests

Tests shall take into account all errors and statistical uncertainties in the measurement process (see IEC 61040) and increases in emission and degradation in radiation safety with age. Specific user requirements may impose additional tests.

Tests during operation shall be used to determine the classification of the product. Tests during operation, maintenance and service shall also be used as appropriate to determine the requirements for safety interlocks, labels and information for the user. The above tests shall be made under each and every reasonably foreseeable single-fault condition. However, if the emission is reduced to a level below the AEL by automatic reduction in a duration within which it is not reasonably foreseeable to have human access, then such faults need not be considered.

NOTE 1 Automatic reduction includes physical limitation of the emission such as component or system failure to a safe condition. It does not include manual reduction or termination of the emission.

NOTE 2 For example, a scanning safeguard may not react fast enough to prevent emission above the AEL during the fault condition; however, this might be acceptable for products where exposure of people is unlikely.

NOTE 3 Acceptable modes of analysis of the probability and risk regarding failures are FMEA (failure mode and effect analysis), etc (see for instance IEC 61508). Probability analysis may be used to assist in determining "reasonably foreseeable single fault conditions".

NOTE 4 Classification is determined during operation, and restrictions on maintenance are then dependent upon the classification of the product.

When assessing the suitability of protective housings for the prevention of human access to a level of energy that is equivalent to Class 4, single fault events for all reasonably foreseeable changes of direction of the beam must be considered. The analysis shall include whether the single fault event will result in sufficient energy to degrade or destroy the protective housing. For example, when during operation or single fault condition, the introduction of robotics or other beam manipulation mechanisms, or the use of optics or workpieces would result in energy being directed onto the surface of the protective housing, one of the following shall occur:

- the single fault shall be eliminated by engineering means; or
- the housing material shall withstand the energy without degradation of its protective properties sufficient to allow a hazardous exposure to laser energy; or
- the fault shall be detected and emission of laser radiation through the protective housing shall be prevented before degradation can occur.

Evaluation times of the protective housing of less than 30 000 s as specified in IEC 60825-4 are not applied for the classification of the product.

NOTE 1 This is because the classification must be considered without human intervention (see 4.2.1) and therefore inspection of the protective housing by the user is not considered.

NOTE 2 Protective housing evaluations that consider human inspection, or intervention, may be used to establish levels of safety, or for the detection of potential degradation of the housing which results from reasonably unforeseeable fault events, or multiple fault events, independent of the product classification.

Equivalent tests or procedures are acceptable.

Optical amplifiers shall be classified using the maximum accessible total output power or energy, which may include maximum rated input power or energy.

NOTE In those cases where there is no clear output power or energy limit, the maximum power or energy added by the amplifier plus the necessary input signal power or energy to achieve that condition should be used.

9.2 Measurement of laser radiation

Measurement of laser radiation levels may be necessary to classify a laser product in accordance with 9.1. Measurements are unnecessary when the physical characteristics and limitations of the laser source place the laser product or laser installation clearly in a particular class. Measurements shall be made under the following conditions and procedures.

- a) Conditions and procedures which maximize the accessible emission levels, including start-up, stabilized emission and shut-down of the laser product.
- b) With all controls and settings listed in the operation, maintenance and service instructions adjusted in combination to result in the maximum accessible level of radiation. Measurements are also required with the use of accessories that may increase the radiation hazard (for example, collimating optics) which are supplied or offered by the manufacturer for use with the product.

NOTE This includes any configuration of the product which it is possible to attain without using tools or defeating an interlock, including configurations and settings against which the operation and maintenance instructions contain warnings. For example, when optical elements such as filters, diffusers or lenses in the optical path of the laser beam can be removed without tools, the product must be tested in the configuration which results in the highest hazard level. The instruction by the manufacturer not to remove the optical elements cannot justify classification as a lower class. Classification is based on the engineering design of the product and cannot be based on appropriate behaviour of the user.

- c) For a laser product other than a laser system, with the laser coupled to that type of laser energy source which is specified as compatible by the laser product manufacturer and which produces the maximum emission of accessible radiation from the product.
- d) At points in space to which human access is possible during operation for measurement of accessible emission levels (for example, if operation may require removal of portions of the protective housing and defeat of safety interlocks, measurements shall be made at points accessible in that product configuration).
- e) With the measuring instrument detector so positioned and so oriented with respect to the laser product as to result in the maximum detection of radiation by the instrument.
- f) Appropriate provision shall be made to avoid or to eliminate the contribution of collateral radiation to the measurement.

g) Class 1 and 1M

Class 1 is applicable to the wavelength range of 180 nm to 1 mm. Class 1M is applicable to the wavelength range of 302,5 nm to 4 000 nm. For determination of the accessible emission under condition 1, condition 2 and condition 3, see Table 11.

For wavelengths less than 302,5 nm and greater than 4 000 nm, if the accessible emission is less than the AEL of Class 1 for condition 3, then the laser product is assigned to Class 1.

For wavelengths between 302,5 nm and 4 000 nm:

If the radiation level is:

- less than the AEL of Class 1 for condition 1, and condition 2 and condition 3,

then the laser product is assigned to Class 1.

If the accessible emission is:

- greater than the AEL of Class 1 for condition 1 or condition 2, and
- less than the AEL of Class 3B for condition 1 and condition 2, and
- less than the AEL of Class 1 for condition 3,

then the laser product is assigned to Class 1M.

NOTE 1 Typically, the accessible emission of a Class 1M product exceeds the Class 1 AEL for either condition 1 or condition 2. However, it may also be classified as Class 1M when it exceeds that AEL for both condition 1 and condition 2.

NOTE 2 The reason for verifying the AEL of Class 3B is to limit the maximum power passing through an optical instrument.

If the accessible emission exceeds the value given in Table 9 for the AEL of Class 3B as determined with a 3,5 mm diameter aperture placed at the closest point of human access, an additional warning regarding a potential skin hazard is to be given (see 5.2).

NOTE 3 It is possible that a Class 1M laser product with a highly diverging beam can produce high enough irradiance levels near to or in contact with the source (for instance a fibre tip) so that skin injury is possible.

h) Class 2 and 2M

Classes 2 and 2M are applicable to the wavelength range of 400 nm to 700 nm. For determination of the accessible emission under condition 1, condition 2 and condition 3, see Table 11.

If the accessible emission exceeds the limits as required for Class 1 and for Class 1M (see item g)), and is:

- less than the AEL of Class 2 for condition 1, and condition 2 and condition 3,

then the laser product is assigned to Class 2.

If the accessible emission exceeds the limits as required for Class 1 and for Class 1M (see item g)) and is:

- greater than the AEL of Class 2 for condition 1 or condition 2, and
- less than the AEL of Class 3B for condition 1 and condition 2, and
- less than the AEL of Class 2 for condition 3,

then the laser product is assigned to Class 2M.

NOTE 1 The reason for verifying the AEL of Class 3B is to limit the maximum power passing through an optical instrument, and to preclude high irradiance levels near to or in contact with diverging sources which may lead to skin injury.

NOTE 2 Typically, the accessible emission of a Class 2M product exceeds the AEL of Class 2 for either condition 1 or condition 2. However, it may also be classified as Class 2M when it exceeds the AEL of Class 2 for both condition 1 and condition 2.

If the accessible emission exceeds the AEL of Class 3B as determined with a 3,5 mm diameter aperture placed at the closest point of human access, an additional warning regarding a potential skin hazard is to be given (see 5.3).

NOTE 3 It is possible that a Class 2M laser product with a highly diverging beam can produce high enough irradiance levels near to or in contact with the source (for instance, a fibre tip) so that skin injury is possible.

i) Class 3R, 3B

If the level of radiation, as determined according to 9.3, for condition 1, condition 2 and condition 3 is less than or equal to the AEL of Class 3R or Class 3B, the laser product is assigned to Class 3R or Class 3B, respectively. See also Note below first paragraph of 8.3.

j) Class 4

If the level of radiation, as determined according to 9.3, either for condition 1, or condition 2 or condition 3, exceeds the AEL for Class 3B, the product shall be assigned to Class 4.

Table 4 – Accessible emission limits for Class 1 and Class 1M laser products and $C_6 = 1$ a, b

Wave-length λ nm		Emission duration t s										
		10 ⁻¹³ to 10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹ to 10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ to 10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ to 10 ⁻⁵	1,8 × 10 ⁻⁵ to 5 × 10 ⁻⁵	5 × 10 ⁻⁵ to 1 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻³ to 0,35	0,35 to 10	10 to 10 ²	10 ² to 10 ³	10 ³ to 3 × 10 ⁴
180 to 302,5		3 × 10 ¹⁰ W·m ⁻²										
302,5 to 315		2,4 × 10 ⁴ W										
315 to 400		Thermal hazard ($t \leq T_1$) 7,9 × 10 ⁻⁷ C ₁ J										
400 to 450												
450 to 500		5,8 × 10 ⁻⁹ J		1,0 t ^{0,75} J		2 × 10 ⁻⁷ J		7 × 10 ⁻⁴ t ^{0,75} J		3,9 × 10 ⁻³ J		7,9 × 10 ⁻⁷ C ₂ J
500 to 700										3,9 × 10 ⁻³ J		
700 to 1 050		5,8 × 10 ⁻⁹ C ₄ J		1,0 t ^{0,75} C ₄		2 × 10 ⁻⁷ C ₄ J		7 × 10 ⁻⁴ t ^{0,75} C ₃ J		3,9 × 10 ⁻⁴ W		3,9 × 10 ⁻⁵ C ₃ W
1 050 to 1 400		5,8 × 10 ⁻⁸ C ₇ J		10,4 t ^{0,75} C ₇ J		2 × 10 ⁻⁶ C ₇ J		3,5 × 10 ⁻³ t ^{0,75} C ₇ J		3,9 × 10 ⁻⁴ C ₄ C ₇ W		
1 400 to 1 500		8 × 10 ⁵ W				8 × 10 ⁻⁴ J		4,4 × 10 ⁻³ t ^{0,25} J		10 ⁻² t J		1,0 × 10 ⁻² W
1 500 to 1 800		8 × 10 ⁶ W				8 × 10 ⁻³ J		1,8 × 10 ⁻² t ^{0,75} J				
1 800 to 2 600		8 × 10 ⁵ W				8 × 10 ⁻⁴ J		4,4 × 10 ⁻³ t ^{0,25} J		10 ⁻² t J		1 000 W·m ⁻²
2 600 to 4 000		8 × 10 ⁴ W		8 × 10 ⁻⁵ J		4,4 × 10 ⁻³ t ^{0,25} J						
4 000 to 10 ⁶		10 ¹¹ W·m ⁻²		100 J·m ⁻²		5 600 t ^{0,25} J·m ⁻²						1 000 W·m ⁻²
NOTE Laser products that meet the requirements for classification as Class 1 by satisfying measurement conditions 1 and 2 may be hazardous when used with viewing optics having greater than ×7 magnification or objective diameters greater than those specified in Table 11.												
a For correction factors and units, see Table 10												
b The AELs for emission durations less than 10 ⁻¹³ s are set to be equal to the equivalent power or irradiance values of the AEL at 10 ⁻¹³ s.												
c In the wavelength range between 450 nm and 500 nm, dual limits apply and a product's emission must not exceed either limit applicable to the class assigned.												

Table 5 – Accessible emission limits for Class 1 and Class 1M laser products in the wavelength range from 400 nm to 1 400 nm (retinal hazard region): extended sources a, b, c, d, e

Wave-length λ nm	Emission duration t s				
	10 ⁻¹³ to 10 ⁻¹¹	10 ⁻⁹ to 10 ⁻⁵	10 ⁻⁹ to 1,8 × 10 ⁻⁵	1,8 × 10 ⁻⁵ to 5 × 10 ⁻⁵	5 × 10 ⁻⁵ to 10
400 to 700	5,8 × 10 ⁻⁹ C ₆ J	1,0 t ^{0,75} C ₆ J	2 × 10 ⁻⁷ C ₆ J	7 × 10 ⁻⁴ t ^{0,75} C ₆ J	
				400 nm to 600 nm – Retinal photochemical hazard ^d	
				3,9 × 10 ⁻³ C ₃ J using $\gamma_{ph} = 11$ mrad	3,9 × 10 ⁻⁵ C ₃ W using $\gamma_{ph} = 1,1$ t ^{0,5} mrad
				AND ^e	
				400 nm to 700 nm – Retinal thermal hazard	
				$(t \leq T_2)$ $7 \times 10^{-4} t^{0,75} C_6 J$	
				$(t > T_2)$ $7 \times 10^{-4} C_6 T_2^{-0,25} W$ $(t > T_2)$	
700 to 1 050	5,8 × 10 ⁻⁹ C ₄ C ₆ J	1,0 t ^{0,75} C ₄ C ₆ J	2 × 10 ⁻⁷ C ₄ C ₆ J	7 × 10 ⁻⁴ t ^{0,75} C ₄ C ₆ J	
1 050 to 1 400	5,8 × 10 ⁻⁸ C ₆ C ₇ J	10,4 t ^{0,75} C ₆ C ₇ J	2 × 10 ⁻⁶ C ₆ C ₇ J	$(t \leq T_2)$ $7 \times 10^{-4} t^{0,75} C_4 C_6 C_7 J$	
				$(t > T_2)$ $7 \times 10^{-4} C_4 C_6 C_7 T_2^{-0,25} W$ $(t > T_2)$	

NOTE Laser products that meet the requirements for classification as Class 1 by satisfying measurement conditions 1 and 2 may be hazardous when used with viewing optics having greater than ×7 magnification or objective diameters greater than those specified in Table 11.

a For correction factors and units, see Table 10.

b The AELs for emission duration less than 10⁻¹³ s are set to be equal to the equivalent power or irradiance values of the AEL at 10⁻¹³ s.

c In the wavelength range between 400 nm and 600 nm, dual limits apply and a product's emission shall not exceed either limit applicable to the class assigned.

d The angle γ_{ph} is the limiting measurement angle of acceptance.

e If exposure times between 1 s and 10 s are used, for wavelengths between 400 nm and 484 nm and for apparent source sizes between 1,5 mrad and 82 mrad, the dual photochemical hazard limit of $3,9 \times 10^{-3} C_3 J$ is extended to 1 s.

Table 6 – Accessible emission limits for Class 2 and Class 2M laser products

Wavelength λ nm	Emission duration t s	Class 2 AEL
400 to 700	$t < 0,25$	Same as Class 1 AEL
	$t \geq 0,25$	$C_6 \times 10^{-3} \text{ W}^a$
NOTE Laser products that meet the requirements for classification as Class 2 by satisfying measurement conditions 1 and 2 may be hazardous when used with viewing optics having greater than $\times 7$ magnification or aperture diameters greater than those specified in Table 11.		
^a For correction factor and units, see Table 10.		

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60825-1:2007

Without 2M

Table 7 – Accessible emission limits for Class 3R laser products and $C_6 = 1$ a, b, c

Wave-length λ nm	Emission duration t s							
	10^{-13} to 10^{-11}	10^{-11} to 10^{-9}	10^{-9} to 10^{-7}	10^{-7} to 10^{-5}	$1,8 \times 10^{-5}$ to 5×10^{-5}	5×10^{-5} to 1×10^{-3}	1×10^{-3} to 0,35	0,35 to 10
180 to 302,5	$1,5 \times 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$							
302,5 to 315	$1,2 \times 10^5 \text{ W}$							
315 to 400	Thermal hazard $4 \times 10^{-6} C_1 \text{ J}$ $(t \leq T_1)^c$ Photochemical hazard $4,0 \times 10^{-6} C_2 \text{ J}$ $(t > T_1)^c$							
400 to 700	$2,9 \times 10^{-8} \text{ J}$	$5,0 t^{0,75} \text{ J}$	$1 \times 10^{-6} \text{ J}$	$4,0 \times 10^{-6} C_1 \text{ J}$	$5,0 \times 10^{-3} \text{ W}$ $(t \geq 0,25 \text{ s})$	$4,0 \times 10^{-2} \text{ J}$	$4,0 \times 10^{-2} \text{ J}$	$4,0 \times 10^{-5} \text{ W}$
700 to 1 050	$2,9 \times 10^{-8} C_4 \text{ J}$	$5,0 t^{0,75} C_4 \text{ J}$	$1 \times 10^{-6} C_4 \text{ J}$	$3,5 \times 10^{-3} t^{0,75} C_4 \text{ J}$	$1,8 \times 10^{-2} t^{0,75} C_7 \text{ J}$	$3,5 \times 10^{-3} C_4 \text{ J}$	$2,0 \times 10^{-3} C_4 C_7 \text{ W}$	
1 050 to 1 400	$2,9 \times 10^{-7} C_7 \text{ J}$	$52 t^{0,75} C_7 \text{ J}$	$1 \times 10^{-5} C_7 \text{ J}$	$4 \times 10^{-3} \text{ J}$	$2,2 \times 10^{-2} t^{0,25} \text{ J}$	$5 \times 10^{-2} t \text{ J}$	$5,0 \times 10^{-2} \text{ W}$	
1 400 to 1 500	$4 \times 10^6 \text{ W}$		$4 \times 10^{-3} \text{ J}$	$4 \times 10^{-2} \text{ J}$	$2,2 \times 10^{-2} t^{0,25} \text{ J}$	$9 \times 10^{-2} t^{0,75} \text{ J}$		
1 500 to 1 800	$4 \times 10^7 \text{ W}$		$4 \times 10^{-2} \text{ J}$	$4 \times 10^{-3} \text{ J}$	$2,2 \times 10^{-2} t^{0,25} \text{ J}$	$5 \times 10^{-2} t \text{ J}$		
1 800 to 2 600	$4 \times 10^6 \text{ W}$		$4 \times 10^{-3} \text{ J}$	$2,2 \times 10^{-2} t^{0,25} \text{ J}$	$2,8 \times 10^4 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \times 10^{-2} t \text{ J}$		
2 600 to 4 000	$4 \times 10^5 \text{ W}$		$4 \times 10^{-4} \text{ J}$	$2,2 \times 10^{-2} t^{0,25} \text{ J}$	$500 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \times 10^{-2} t \text{ J}$		
4 000 to 10 ⁶	$5 \times 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$						$5 \text{ 000 W} \cdot \text{m}^{-2}$	

a For correction factors and units, see Table 10.

b The AELs for emission durations less than 10^{-13} s are set to be equal to the equivalent power or irradiance values of the AEL at 10^{-13} s.

c For repetitively pulsed UV lasers neither limit should be exceeded.

Emission limits for Class 3R laser products in the wavelength range from 400 nm to 1400 nm (retinal hazard region): extended sources ^{a, b}					
		Emission duration t s			
10^{-9} to 10^{-7}	10^{-7} to $1,8 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-5}$ to 5×10^{-5}	5×10^{-5} to 1×10^{-3}	1×10^{-3} to $0,35$	$0,35$ to 10
1×10^{-6} C ₆ J		$5,0 \times 10^{-3}$ C ₆ W $(t \geq 0,25 \text{ s})$			
1×10^{-6} C ₄ C ₆ J		$(t \leq 0,25 \text{ s})$ $3,5 \times 10^{-3}$ t 0,75 C ₆ J $3,5 \times 10^{-3}$ t 0,75 C ₄ C ₆ J			
1×10^{-5} C ₆ C ₇ J		$1,8 \times 10^{-2}$ t 0,75 C ₆ C ₇ J			

^a 10⁻¹³ s are set to be equal to the equivalent power or irradiance values of the AEL at 10⁻¹³ s.

are set to be equal to the equivalent power or irradiance values of the AEL at 10^{-13} s.

a For correction factors and units, see Table 10.

b The AELs for emission durations less than 10^{-13} s are set to be equal to the equivalent power or irradiance values of the AEL at 10^{-13} s.

Table 9 – Accessible emission limits for Class 3B laser products

Wave-length λ nm	Emission duration t s		
	$<10^{-9}$	10^{-9} to 0,25	0,25 to 3×10^4
180 to 302,5	$3,8 \times 10^5$ W	$3,8 \times 10^{-4}$ J	$1,5 \times 10^{-3}$ W
302,5 to 315	$1,25 \times 10^4 C_2$ W	$1,25 \times 10^{-5} C_2$ J	$5 \times 10^{-5} C_2$ W
315 to 400	$1,25 \times 10^8$ W	0,125 J	0,5 W
400 to 700	3×10^7 W	0,03 J for $t < 0,06$ s 0,5 W for $t \geq 0,06$ s	0,5 W
700 to 1 050	$3 \times 10^7 C_4$ W	0,03 C_4 J for $t < 0,06 C_4$ s 0,5 W for $t \geq 0,06 C_4$ s	0,5 W
1 050 to 1 400	$1,5 \times 10^8$ W	0,15 J	0,5 W
1 400 to 10^6	$1,25 \times 10^8$ W	0,125 J	0,5 W
For correction factors and units, see Table 10.			

The correction factors C_1 to C_7 and breakpoints T_1 and T_2 used in Tables 4 to 9 are defined in the following expressions (see Table 10).

Table 10 – Correction factors and breakpoints for use in AEL and MPE evaluations

Parameter	Spectral region nm
$C_1 = 5,6 \times 10^3 t^{0,25}$	180 to 400
$T_1 = 10^{0,8(\lambda - 295)} \times 10^{-15} \text{ s}$	302,5 to 315
$C_2 = 30$	180 to 302,5
$C_2 = 10^{0,2(\lambda - 295)}$	302,5 to 315
$T_2 = 10 \times 10[(\alpha - \alpha_{\min})/98,5] \text{ s}$	400 to 1 400
$T_2 = 10 \text{ s for } \alpha < 1,5 \text{ mrad}$	400 to 1 400
$T_2 = 100 \text{ s for } \alpha > 100 \text{ mrad}$	400 to 1 400
$C_3 = 1,0$	400 to 450
$C_3 = 10^{0,02(\lambda - 450)}$	450 to 600
$C_4 = 10^{0,002(\lambda - 700)}$	700 to 1 050
$C_4 = 5$	1 050 to 1 400
$C_5 = N^{-1/4} \text{ a}$	400 to 10^6
$C_6 = 1$	180 to 400 and 1 400 to 10^6
$C_6 = 1 \text{ for } \alpha \leq \alpha_{\min}^{\text{b}}$	400 to 1 400
$C_6 = \alpha/\alpha_{\min} \text{ for } \alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max}^{\text{b}}$	400 to 1 400
$C_6 = \alpha_{\max}/\alpha_{\min} = 66,7 \text{ for } \alpha > \alpha_{\max}^{\text{b,c}}$	400 to 1 400
$C_7 = 1$	700 to 1 150
$C_7 = 10^{0,018(\lambda - 1 150)}$	1 150 to 1 200
$C_7 = 8$	1 200 to 1 400
$\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad}$ $\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$ N is the number of pulses contained within the applicable duration (8.3 f) and Clause A.3).	
NOTE 1 There is only limited evidence about effects for exposures of less than 10^{-9} s for wavelengths less than 400 nm and greater than 1 400 nm. The AELs for these emission durations and wavelengths have been derived by calculating the equivalent radiant power or irradiance from the radiant power or radiant exposure applying at 10^{-9} s for wavelengths less than 400 nm and greater than 1 400 nm. NOTE 2 See Table 11 for aperture stops and Table A.4 for limiting apertures. NOTE 3 In the formulae in Tables 4 to 9 and in these notes, the wavelength must be expressed in nanometres, the emission duration t must be expressed in seconds and α must be expressed in milliradians. NOTE 4 For emission durations which fall at the cell border values (for instance 10 s) in Tables 4 to 9, the lower limit applies. Where the symbol "<" is used, this means less than or equal to.	
a C_5 is only applicable to pulse durations shorter than 0,25 s. b C_6 is only applicable to pulsed lasers and to CW lasers for thermal retinal limits. c The maximum limiting angle of acceptance γ_{th} shall be equal to $\alpha_{\max}$ (but see 8.4 d)).	

9.3 Measurement geometry

9.3.1 General

Three measurement conditions are specified for the determination of the accessible emission. Condition 1 and 2 are applied for wavelengths where optically aided viewing may increase the hazard. Condition 1 is intended to apply to collimated beams where telescopes and binoculars may increase the hazard, and condition 2 is intended to apply to sources with a highly diverging output where the use of microscopes, hand magnifiers and eye loupes may increase the hazard. Condition 3 applies to the unaided eye. For power and energy measurement of scanned laser radiation, condition 3 shall be used.

The most restrictive of the applicable measurement conditions shall be applied. If the most restrictive condition is not obvious, each applicable condition shall be evaluated.

The following two evaluation schemes are specified.

- a) A simplified (default) method, where the test for classification is performed at a fixed distance relative to a reference point which usually can be easily identified. For this simplified evaluation, it is not necessary to determine the angular subtense of the apparent source, as C_6 (see Table 10) is set equal to unity.
- b) For radiation with wavelengths in the retinal hazard region of 400 nm to 1 400 nm, when the AEL is increased by a parameter C_6 with values greater than 1 for extended sources, it is necessary to assess the class of the product (i.e. to compare the accessible emission value with the corresponding AEL) at the most restrictive position in the beam. This second method is more complicated than the default evaluation in a) above, but, for extended sources, it can allow higher accessible emission values.

NOTE The most restrictive position is in many cases not at a distance of 100 mm to the reference point used for the basic evaluation, but further away. Determination of the angular subtense of the apparent source at a distance of 100 mm from the reference point would in those cases result in an AEL which exceeds the AEL determined at the most restrictive position.

If the simplified (default) evaluation results in the desired classification, there is no need to perform the complete evaluation for extended sources (see 9.3.2), even though the actual source might be extended and the actual factor C_6 might be greater than 1 and the most restrictive position is different from the position as given in Table 11.

NOTE If the source is a bare laser diode or if it emits a well collimated laser beam, the simplified (default) evaluation is usually the appropriate one, i.e. produces equivalent results to the extended source method as described in 9.3.3.

9.3.2 Default (simplified) evaluation

The default, simplified measurement distances in Table 11 are applicable:

- for sources with wavelengths less than 400 nm and larger than 1 400 nm, or
- if the factor C_6 is set equal to 1, or
- for the photochemical retinal limit for time base values longer than 100 s when the measurement angle of acceptance is not restricted (i.e. shall be at least as large as the angular subtense of the apparent source),
- for other limits that are neither photochemical nor thermal (i.e. do not depend on C_6) retinal limits (such as the AEL of Class 3B).

The distances specified in Table 11 are defined as distance from the reference points listed in Table 12.

Table 11 – Measurement aperture diameters and measurement distances for the default (simplified) evaluation

	Condition 1 <i>applied to collimated beam where e.g. telescope or binoculars may increase the hazard</i>		Condition 2 <i>applied to diverging beam where e.g. magnifying glasses, microscopes may increase the hazard</i>		Condition 3 <i>applied to determine irradiation relevant for the unaided eye and for scanning beams</i>	
Wavelength nm	Aperture stop mm	Distance mm	Aperture stop mm	Distance mm	Aperture stop/ limiting aperture mm	Distance mm
< 302,5	–	–	–	–	1	0
≥ 302,5 to 400	25	2 000	7	70	1	100
≥ 400 to 1 400	50	2 000	7	70	7	100
≥ 1 400 to 4 000	7 × condition 3	2 000	7	70	1 for $t \leq 0,35$ s 1,5 $t^{3/8}$ for $0,35$ s < t < 10 s 3,5 for $t \geq 10$ s (t in s)	100
≥ 4 000 to 10^5	–	–	–	–	1 for $t \leq 0,35$ s 1,5 $t^{3/8}$ for $0,35$ s < t < 10 s 3,5 for $t \geq 10$ s (t in s)	0
≥ 10^5 to 10^6	–	–	–	–	11	0

NOTE The descriptions below the “Condition” headings are typical cases for information only and are not intended to be exclusive.

Table 12 – Reference points

Type of product	Reference point
Semiconductor emitters (LEDs, laser diodes, superluminescent diodes)	Physical location of the emitting chip
Scanned emission (including scanned line lasers)	Scanning vertex (pivot point of the scanning beam)
Line laser	Focal point of the line (vertex of the fan angle)
Output of fibre	Fibre tip
Totally diffused sources	Surface of diffuser
Others	Beam waist

NOTE If the reference point is located inside of the protective housing (i.e. is not accessible) at a distance from the closest point of human access further than the measurement distance specified in Table 11, the measurement must be carried out at the closest point of human access.

9.3.3 Evaluation condition for extended sources

For wavelengths in the retinal hazard range (400 nm to 1 400 nm), the accessible emission and the AEL for classification shall be determined at the most restrictive position:

- when a value of C_6 larger than 1 is considered for determination of the AEL, or
- when a limited angle of acceptance is considered for the determination of the accessible emission for comparison with photochemical retinal limits.

The accessible emission and the AEL (C_6) are determined together (i.e. they are paired values) at different positions within the beam, and the values obtained for the most restrictive position are used to determine the class of the product. This implies that the accessible emission (that is compared to the AEL) and the AEL are determined for the same position within the beam, i.e. the angular subtense of the apparent source α (and therefore C_6) is determined at the position of the aperture stop that is used to determine the accessible emission.

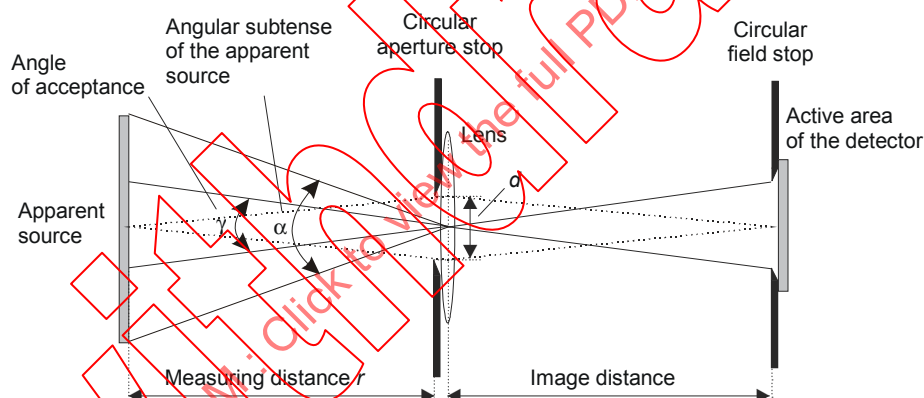
NOTE 1 In the case where the divergence of the laser beam is less than 1,5 mrad, then the angular subtense of the apparent source α is $\alpha_{\min}$ and the determination of the accessible emission may be performed under the conditions specified in 9.3.1.

NOTE 2 If the source is diffuse, for instance a laser beam incident on a transmissive diffuser plate, then the diffuser can be considered as the location of the apparent source and the emission pattern at the diffuser can be used to determine the angular subtense of the apparent source (see 8.3 d)) for the evaluation method of non-uniform patterns).

NOTE 3 In some more complex arrangements with multiple sources or multiple focal points, it may be more appropriate to use a more elaborate technique, such as ray tracing.

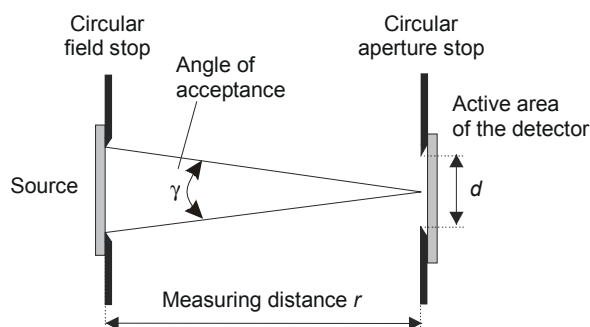
a) Aperture diameters

For condition 1 and condition 3, for the determination of the accessible emission, as well as the angular subtense of the apparent source (both of which are to be determined at the most restrictive position in the beam), the aperture diameters and minimum measuring distances as specified in Table 11 shall be used (see Figures 3 and 4).



IEC 413/07

Figure 3 – Measurement set-up to limit angle of acceptance by imaging the apparent source onto the plane of the field stop



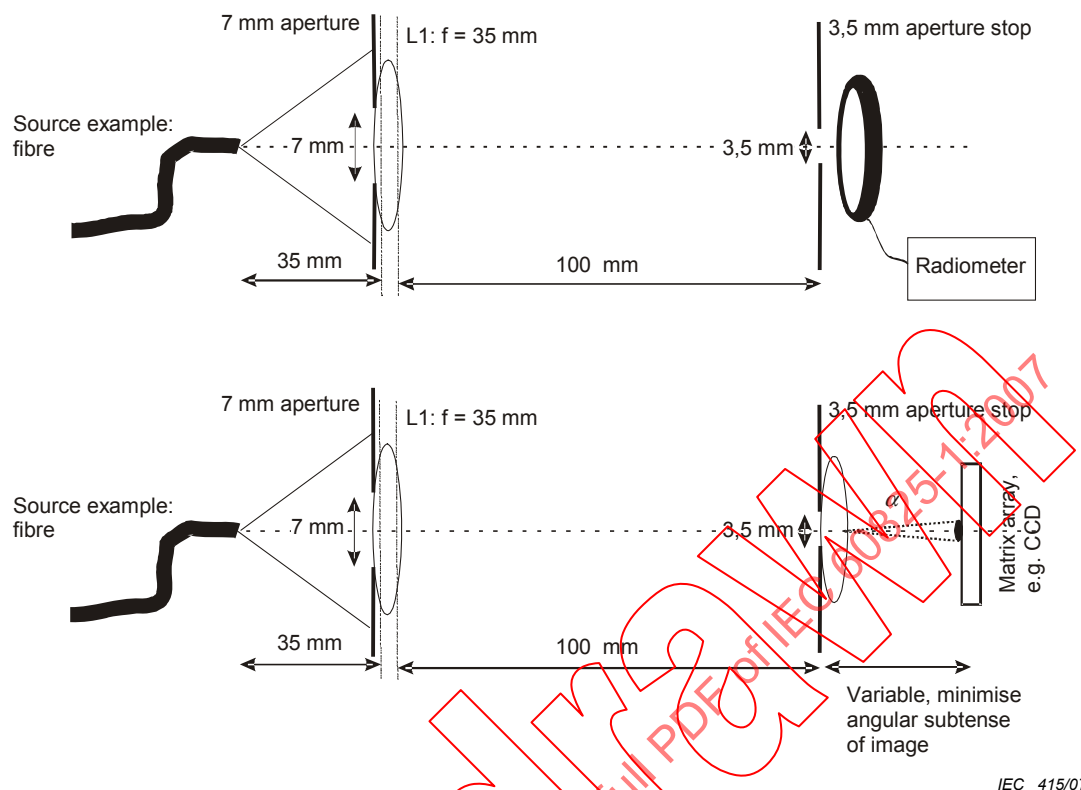
IEC 414/07

NOTE When the apparent source is not accessible, this set-up is not appropriate.

Figure 4 – Measurement set-up to limit angle of acceptance by placing a circular aperture or a mask (serving as field stop) close to the apparent source

For condition 2, for determination of the accessible emission as well as of the angular subtense of the apparent source, a positive lens L1 with a focal length of 35 mm and an aperture with a diameter of 7 mm is to be placed (see Figure 5) at a distance of 35 mm from the reference point as given in Table 12. The aperture stop for the determination of the accessible emission as well as for the determination of the angular subtense of the apparent source is to be placed at a distance of 100 mm from the lens L1 and the diameter of this aperture stop shall be 3,5 mm.

NOTE The lens L1 is to represent a magnifying glass with a magnification of $\times 7$. When diverging sources are placed at the focal point of the lens, the radiation is collimated, thereby affecting both the accessible emission as determined with the aperture stop as well as the angular subtense of the apparent source. Since all distances are fixed, for condition 2 it is not necessary to identify the most restrictive position.



IEC 415/07

Figure 5 – Experimental set-up for the determination of the accessible emission (above) and the angular subtense of the apparent source (below) for condition 2 when an extended source is to be considered (i.e. not using the default, simplified evaluation)

b) Angle of acceptance

The angle of acceptance is determined by the ratio of the diameter of the field stop and the lens to field stop distance (image distance) (Figure 3), or by the ratio of the diameter of the field stop and the source-detector distance (Figure 4). Losses due to the lens have to be taken into account.

For condition 2 and condition 3, the angle of acceptance for the determination of the accessible emission level shall be as stated in 1) and 2) below. For condition 1, the angle of acceptance is determined by dividing the values given in 1) and 2) by a factor 7.

1) Photochemical retinal limits

For measurements of sources to be evaluated against the photochemical limits (400 nm to 600 nm), the limiting angle of acceptance γ_{ph} is given in Table 13.

Table 13 – Limiting angle of acceptance γ_{ph}

Emission duration s	γ_{ph} for condition 1 mrad	γ_{ph} for condition 2 and condition 3 mrad
$10 < t \leq 100$	1,57	11
$100 < t \leq 10^4$	$0,16 \times t^{0,5}$	$1,1 t^{0,5}$
$10^4 < t \leq 3 \times 10^4$	16	110

If the angular subtense of the source α is larger than the specified limiting angle of acceptance γ_{ph} , the angle of acceptance should not be larger than the values specified for γ_{ph} . If the angular subtense of the source α is smaller than the specified limiting angle of acceptance γ_{ph} , the angle of acceptance shall fully encompass the source under consideration but need not, otherwise, be well defined (i.e. the angle of acceptance need not be restricted to γ_{ph}).

NOTE For measurements of single sources where $\alpha < \gamma_{ph}$, it will not be necessary to measure with a specific, well-defined angle of acceptance. To obtain a well-defined angle of acceptance, the angle of acceptance can be defined by either imaging the source onto a field stop or by masking off the source – see Figures 3 and 4 respectively.

2) All other retinal limits

For measurement of radiation to be compared to retinal limits other than the photochemical limits, the angle of acceptance shall fully encompass the source under consideration (i.e. the angle of acceptance shall be at least as large as the angular subtense of the source α). However, if $\alpha > \alpha_{max}$ the limiting angle of acceptance is α_{max} (100 mrad). Within the wavelength range of 400 nm to 1 400 nm, for the evaluation of an apparent source which consists of multiple points, the angle of acceptance has to be varied in the range of $\alpha_{min} \leq \gamma \leq \alpha_{max}$ (see 8.3 d)).

Annex A **(informative)**

Maximum permissible exposure values

A.1 General remarks

Accessible emission limits (AELs) are generally derived from the maximum permissible exposures (MPEs). MPEs have been included in this annex to provide manufacturers with additional information that can assist in evaluating the safety aspects related to the intended use of their product (such as the determination of the NOHD).

NOTE Simplified calculations may significantly underestimate the NOHD. For example, when the laser aperture is inside of a large Raleigh range, when there is an external beam waist, or when the beam profile is such that the power that passes through an aperture is underestimated when a Gaussian beam profile is assumed. In such cases it is usually advantageous to determine the NOHD by measurements.

Maximum permissible exposure values as contained in this document are adopted from exposure limit values published by International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. MPE values are set below known hazard levels and are based on the best available information from experimental studies. The MPE values should be used as guides in the control of exposures and should not be regarded as precisely defined dividing lines between safe and dangerous levels. In any case, exposure to laser radiation should be as low as possible.

Exposures from several wavelengths should be assumed to have an additive effect on a proportional basis of spectral effectiveness according to the MPEs of Tables A.1, A.2 and A.3 provided that the spectral regions are shown as additive by the symbols (o) for ocular and (s) for skin exposure in the matrix of Table 2. Where the wavelengths radiated are not shown as additive, the hazards should be assessed separately.

Wave-length λ nm	Exposure time t s						
	10^{-13} to 10^{-11}	10^{-11} to 10^{-9}	10^{-9} to 10^{-7}	10^{-7} to 10^{-5}	$1,8 \times 10^{-5}$ to 5×10^{-5}	5×10^{-5} to 1×10^{-3}	1×10^{-3} to 10
180 to 302,5	30 J·m ⁻²						
302,5 to 315	Photochemical hazard ^d ($t > T_1$) C ₂ J·m ⁻²						
315 to 400	Thermal hazard ^d ($t \leq T_1$) C ₁ J·m ⁻²						
400 to 450	C ₁ J·m ⁻²						
450 to 500	$1,5 \times 10^{-4}$ J·m ⁻²	$2,7 \times 10^4$ J·m ⁻²	5×10^{-3} J·m ⁻²	5×10^{-3} J·m ⁻²	$18 t^{0,75}$ J·m ⁻²	$100 C_3$ J·m ⁻² and ^c 10 W·m ⁻²	10^4 J·m ⁻²
500 to 700	C ₃ W·m ⁻²						
700 to 1 050	$1,5 \times 10^{-4}$ C ₄ J·m ⁻²	$2,7 \times 10^4 t^{0,75}$ C ₄ J·m ⁻²	5×10^{-3} C ₄ J·m ⁻²	5×10^{-2} C ₇ J·m ⁻²	$18 t^{0,75}$ C ₄ J·m ⁻²	10 W·m ⁻²	
1 050 to 1 400	$1,5 \times 10^{-3}$ C ₇ J·m ⁻²	$2,7 \times 10^5 t^{0,75}$ C ₇ J·m ⁻²	5×10^{-2} C ₇ J·m ⁻²	10^3 J·m ⁻²	$90 t^{0,75}$ C ₇ J·m ⁻²	10 C ₄ C ₇ W·m ⁻²	
1 400 to 1 500	10^{12} W·m ⁻²	$5 600 t^{0,25}$ J·m ⁻²					
1 500 to 1 800	10^{13} W·m ⁻²	10^4 J·m ⁻²					
1 800 to 2 600	10^{12} W·m ⁻²	10^3 J·m ⁻²					
2 600 to 10 ⁶	10^{11} W·m ⁻²	100 J·m ⁻²	$5 600 t^{0,25}$ J·m ⁻²				
1 000 W·m ⁻²							
^a For correction factors and units, see Table 10							
^b The MPEs for exposure durations below 10 ⁻⁹ s and for wavelengths less than 400 nm and greater than 1 400 nm have been derived by calculating the equivalent irradiance from the radiant exposure limits at 10 ⁻⁹ s. The MPEs for exposure durations below 10 ⁻¹³ s are set to be equal to the equivalent irradiance values of the MPEs at 10 ⁻¹³ s.							
^c In the wavelength range between 450 nm and 500 nm, dual limits apply and the exposure must not exceed either limit applicable							
^d For repetitively pulsed UV lasers neither limit should be exceeded							

^b The MPEs for exposure durations below 10^{-9} s and for wavelengths less than 400 nm and greater than 1 400 nm have been derived by calculating the equivalent irradiance from the radiant exposure limits at 10^{-9} s. The MPEs for exposure durations below 10^{-13} s are set to be equal to the equivalent irradiance values of the MPEs at 10^{-13} s.

c In the wavelength range between 450 nm and 500 nm, dual limits apply and the exposure must not exceed either limit applicable.

^d For repetitively pulsed UV lasers neither limit should be exceeded

Table A.2 – Maximum permissible exposure (MPE) at the cornea for exposure to laser radiation from extended sources in the wavelength range from 400 nm to 1 400 nm (retinal hazard region)

Wave-length λ nm	Exposure time t s					
	10^{-13} to 10^{-11}	10^{-11} to 10^{-9}	10^{-9} to $1,8 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-5}$ to 5×10^{-5}	5×10^{-5} to 10	
400 to 700	$1,5 \times 10^{-4} C_6 J \cdot m^{-2}$	$2,7 \times 10^4 t^{0,75} C_6 J \cdot m^{-2}$	$5 \times 10^{-3} C_6 J \cdot m^{-2}$	$18 t^{0,75} C_6 J \cdot m^{-2}$		
700 to 1 050	$1,5 \times 10^{-4} C_4 C_6 J \cdot m^{-2}$	$2,7 \times 10^4 t^{0,75} C_4 C_6 J \cdot m^{-2}$	$5 \times 10^{-3} C_4 C_6 J \cdot m^{-2}$	$18 t^{0,75} C_4 C_6 J \cdot m^{-2}$	$18 t^{0,75} C_4 C_6 C_7 J \cdot m^{-2}$	$100 C_3 J \cdot m^{-2}$ using $\gamma_{ph} = 11 \text{ mrad}$
1 050 to 1 400	$1,5 \times 10^{-3} C_6 C_7 J \cdot m^{-2}$	$2,7 \times 10^5 t^{0,75} C_6 C_7 J \cdot m^{-2}$	$5 \times 10^{-2} C_6 C_7 J \cdot m^{-2}$	$90 t^{0,75} C_6 C_7 J \cdot m^{-2}$	$18 t^{0,75} C_4 C_6 C_7 J \cdot m^{-2}$	$400 \text{ nm to } 600 \text{ nm} - \text{Retinal photochemical hazard}^a$
						$1 C_3 W \cdot m^{-2}$ using $\gamma_{ph} = 1,1 t^{0,5} \text{ mrad}$
						$\gamma_{ph} = 110 \text{ mrad}$
						AND ^b
						400 nm to 700 nm – Retinal thermal hazard
						$18 C_6 T_2^{-0,25} W \cdot m^{-2}$ ($t > T_2$)
						$18 t^{0,75} C_6 J \cdot m^{-2}$ ($t \leq T_2$)
						$18 C_4 C_6 C_7 T_2^{-0,25} W \cdot m^{-2}$ ($t > T_2$)
						$18 t^{0,75} C_4 C_6 C_7 J \cdot m^{-2}$ ($t \leq T_2$)

^a The angle γ_{ph} is the limiting measurement angle of acceptance.

^b In the wavelength range between 400 nm and 600 nm, dual limits apply and the exposure must not exceed either limit applicable. Normally, photochemical hazard limits only apply for exposure durations greater than 10 s; however, for wavelengths between 400 nm and 484 nm and for apparent source sizes between 1,5 mrad and 82 mrad, the dual photochemical hazard limit of $100 C_3 J \cdot m^{-2}$ should be applied for exposures greater than or equal to 1 s.

Table A.3 – Maximum permissible exposure (MPE) of the skin to laser radiation ^{a, b}

Wave-length λ nm	Exposure time t s						
	$<10^{-9}$	10^{-9} to 10^{-7}	10^{-7} to 10^{-3}	10^{-3} to 10	10 to 10^3	10^3 to 3×10^4	
180 to 302,5	$3 \times 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$					
302,5 to 315		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ($t < T_1$)	$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ($t > T_1$)			$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	
315 to 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 to 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 to 1 400	$2 \times 10^{11} C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$200 C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,1 \times 10^4 C_4 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$2\,000 C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
1 400 to 1 500	$10^{12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$5\,600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$1\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ }^c$	
1 500 to 1 800	$10^{13} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$					
1 800 to 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 to 10^6	$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5\,600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				
^a For correction factors and units, see Table 10. ^b There is only limited evidence about effects for exposures of less than 10^{-9} s. The MPEs for these exposure durations have been derived by maintaining the irradiance applying at 10^{-9} s. ^c For exposed skin areas greater than $0,1 \text{ m}^2$, the MPE is reduced to $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Between $0,01 \text{ m}^2$ and $0,1 \text{ m}^2$, the MPE varies inversely proportional to the irradiated skin area.							

A.2 Limiting apertures

An appropriate aperture should be used for all measurements and calculations of exposure values. This is the limiting aperture and is defined in terms of the diameter of a circular area over which the irradiance or radiant exposure is to be averaged. Values for the limiting apertures are shown in Table A.4.

For repetitively pulsed laser exposures within the spectral range between 1 400 nm and 10^5 nm, the 1 mm aperture is used for evaluating the hazard from an individual pulse; whereas the 3,5 mm aperture is applied for evaluating the MPE applicable for exposures greater than 10 s.

NOTE The values of ocular exposures in the wavelength range 400 nm to 1 400 nm are measured over a 7 mm diameter aperture (pupil). The MPE must not be adjusted to take into account smaller pupil diameters.

Table A.4 – Aperture diameters for measuring laser irradiance and radiant exposure

Spectral region nm	Aperture diameter for mm	
	Eye	Skin
180 to 400	1	3,5
≥ 400 to 1 400	7	3,5
$\geq 1\,400$ to 10^5	1 for $t \leq 0,35 \text{ s}$	3,5
	1,5 $t^{3/8}$ for $0,35 \text{ s} < t < 10 \text{ s}$	
	3,5 for $t \geq 10 \text{ s}$	
$\geq 10^5$ to 10^6	11	11

NOTE For multiple pulse exposures, refer to Clause A.3.

A.3 Repetitively pulsed or modulated lasers

The following methods should be used to determine the MPE to be applied to exposures to repetitively pulsed radiation.

The exposure from any group of pulses (or sub-group of pulses in a train) delivered in any given time should not exceed the MPE for that time.

The MPE for ocular exposure for wavelengths from 400 nm to 10⁶ nm is determined by using the most restrictive of requirements a), b) and c). Requirement c) applies only to the retinal thermal limits and not to the retinal photochemical limits.

The MPE for ocular exposure for wavelengths less than 400 nm and the MPE for skin exposure is limited by the most restrictive of requirements a) and b).

- a) The exposure from any single pulse within a pulse train does not exceed the MPE for a single pulse.
- b) The average exposure for a pulse train of exposure duration T does not exceed the MPE given in Tables A.1, A.2 and A.3 for a single pulse of exposure duration T .
- c) 1) For constant pulse energy and pulse duration values

The exposure per pulse does not exceed the MPE for a single pulse multiplied by the correction factor C_5 . C_5 is only applicable to individual pulse duration shorter than 0,25 s.

$$MPE_{s.p. \text{ train}} = MPE_{\text{single}} \times C_5$$

NOTE C_5 is only applicable to pulse durations shorter than 0,25 s.

where

MPE_{single} is the MPE for a single pulse;

$MPE_{s.p. \text{ train}}$ is the MPE for any single pulse in the pulse train;

$$C_5 = N^{-1/4},$$

N is the effective number of pulses in the pulse train within the assessed exposure duration (when pulses occur within T_1 (see Table 3), N is less than the actual number of pulses, see below). The maximum exposure duration that needs to be considered for the assessment, for wavelengths between 400 nm and 1 400 nm, is T_2 (see Table 10) or the applicable time basis, whichever is shorter. For wavelengths greater than 1 400 nm, the maximum duration to be considered is 10 s.

If multiple pulses appear within the period of T_1 (see Table 3) they are counted as a single pulse to determine N , and the radiant exposure of the individual pulses are added to be compared to the MPE of T_1 .

2) For varying pulse widths or varying pulse intervals:

In cases of varying pulse widths or pulse intervals, the total-on-time-pulse (TOTP) method is used. The MPE is determined by the duration of the TOTP, which is the sum of all pulse durations within the exposure duration or T_2 , whichever is smaller. Pulses with durations less than T_i are assigned pulse durations of T_i . If two or more pulses occur within a duration of T_i , these pulse groups are assigned pulse durations of T_i . For comparison with the MPE for the corresponding duration, all individual pulse radiant exposures are added.

A.4 Measurement conditions

A.4.1 General

In order to evaluate the actual exposure, the following measurement conditions should be applied.

A.4.2 Limiting aperture

The values of radiant exposure or irradiance to be compared to the respective MPE are averaged over a circular aperture stop according to the limiting apertures of Table A.4. For ocular exposure in the wavelength range from 400 nm to 1 400 nm, a minimum measurement distance of 100 mm is used.

A.4.3 Angle of acceptance

a) Photochemical retinal limits

For measurements of sources to be evaluated against the photochemical limits (400 nm to 600 nm), the limiting angle of acceptance γ_{ph} is

$$\text{for } 10 \text{ s} < t \leq 100 \text{ s:} \quad \gamma_{ph} = 11 \text{ mrad}$$

$$\text{for } 100 \text{ s} < t \leq 10^4 \text{ s:} \quad \gamma_{ph} = 1,1 t^{0,5} \text{ mrad}$$

$$\text{for } 10^4 \text{ s} < t \leq 3 \times 10^4 \text{ s:} \quad \gamma_{ph} = 110 \text{ mrad}$$

If the angular subtense of the source α is larger than the specified limiting angle of acceptance γ_{ph} , the angle of acceptance should not be larger than the values specified for γ_{ph} . If the angular subtense of the source α is smaller than the specified limiting angle of acceptance γ_{ph} , the angle of acceptance should fully encompass the source under consideration but need not otherwise be well defined (i.e. the angle of acceptance needs not be restricted to γ_{ph}).

NOTE For measurements of single sources where $\alpha < \gamma_{ph}$, it will not be necessary to measure with a specific, well-defined, angle of acceptance. To obtain a well-defined angle of acceptance, the angle of acceptance can be defined by either imaging the source onto a field stop or by masking off the source – see Figures 3 and 4, respectively.

b) All other limits

For measurement of radiation to be compared with limits other than the retinal photochemical hazard limit, the angle of acceptance should fully encompass the source under consideration (i.e. the angle of acceptance should be at least as large as the angular subtense of the source α). However, if $\alpha > \alpha_{max}$, in the wavelength range of 302,5 nm to 4 000 nm, the limiting angle of acceptance should not be larger than α_{max} (0,1 rad) for the thermal hazard limits. Within the wavelength range of 400 nm to 1 400 nm for thermal hazard limits, for the evaluation of an apparent source which consists of multiple points, the angle of acceptance should be in the range of $\alpha_{min} \leq \gamma \leq \alpha_{max}$ (see 8.3 d)).

For the determination of the MPE for sources with non-circular emission patterns, the value of the angular subtense of a rectangular or linear source is determined by the arithmetic mean of the two angular dimensions of the source. Any angular dimension that is greater than $\alpha_{\max}$ or less than $\alpha_{\min}$ should be limited to $\alpha_{\max}$ or $\alpha_{\min}$ respectively, prior to calculating the mean. The retinal photochemical hazard limits do not depend on the angular subtense of the source, and the source is measured with the angle of acceptance as specified above.

A.5 Extended source lasers

The following corrections to the small source MPEs are restricted in most instances to viewing diffuse reflections, and, in some cases, these could apply to laser arrays, line lasers, lasers with beam waist diameters above 0,2 mm and divergence angles above 2 mrad or extended source diffused laser products.

For extended source laser radiation (for example, diffuse reflection viewing) at wavelengths from 400 nm to 1 400 nm, the thermal ocular hazard MPEs are increased by the factor C_6 provided that the angular subtense of the source (measured at the viewer's eye) is greater than $\alpha_{\min}$, where $\alpha_{\min}$ is equal to 1,5 mrad.

The correction factor C_6 is given by:

$$\begin{aligned}
 C_6 &= 1 && \text{for } \alpha \leq \alpha_{\min} \\
 C_6 &= \frac{\alpha}{\alpha_{\min}} && \text{for } \alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max} \\
 C_6 &= \frac{\alpha_{\max}}{\alpha_{\min}} && \text{for } \alpha > \alpha_{\max}
 \end{aligned}$$

Annex B (informative)

Examples of calculations

B.1 Symbols used in the examples of this annex

Symbol	Unit	Definition
a	m	Diameter of the emergent laser beam
AEL	W, J, $W \cdot m^{-2}$ or $J \cdot m^{-2}$	Accessible emission limit
α	rad	The angle subtended by an apparent source (or a diffuse reflection) as viewed at a point in space
α_{min}	rad	Minimum angle subtended by a source for which the extended source criterion applies
$C_1, C_2, \dots, C_7$	1	Correction factors (see Table 10)
PRF	Hz	Pulse repetition frequency
H	$J \cdot m^{-2}$	Radiant exposure
E	$W \cdot m^{-2}$	Irradiance at a specified distance, r , from the apparent source
H_0	$J \cdot m^{-2}$	Emergent beam radiant exposure
E_0	$W \cdot m^{-2}$	Irradiance at zero distance from the apparent source
λ	nm	Wavelength of laser radiation
N	1	Number of pulses contained within an exposure duration
P_0	W	Total radiant power (radiant flux) of a CW laser, or average radiant power of a repetitively pulsed laser
P_p	W	Radiant power within a pulse of a pulsed laser
ϕ	rad	Divergence angle of an emergent laser beam
π	1	The numerical constant 3,142
Q	J	Total radiant energy of a pulsed laser
t	s	Time duration of a single laser pulse
T	s	Total exposure duration of a train of pulses
T_1, T_2	s	Time breakpoints (see Table 10)

B.2 Classification of a laser product – Introduction

The examples presented in this annex illustrate the calculation procedures for classifying a laser product from measured parameters obtained by following the measurement conditions specified in this standard. Flowcharts are provided in this Annex to illustrate the basic steps that may be needed to complete a classification calculation for a laser product, but not all possible laser products have been covered by these flowcharts.

As specified in 8.2 and 8.3:

It is the responsibility of the manufacturer or his agent to provide correct classification of a laser product. The product is classified on the basis of that combination of output power(s) and wavelength(s) of the accessible laser radiation over the full range of capability during operation at any time after manufacture, which results in its allocation to the highest appropriate class. The accessible emission limit (AELs) for Class 1 and 1M, Class 2 and 2M, Class 3R and Class 3B (listed in order of increasing hazard) are given in Tables 4 to 9.

The values of the correction factors used are given in Table 10 as functions of wavelength, emission duration, number of pulses and angular subtense.

If the user modifies the laser product so that the accessible laser radiation is altered, it becomes their responsibility to ensure the product is correctly classified.

The correct classification of a laser product may involve calculating the AEL for more than one of the classes listed in 8.3 to determine the correct classification, as illustrated in Figures B.1 and B.2. Example AELs for Class 1 are presented in Figures B.3 to B.5.

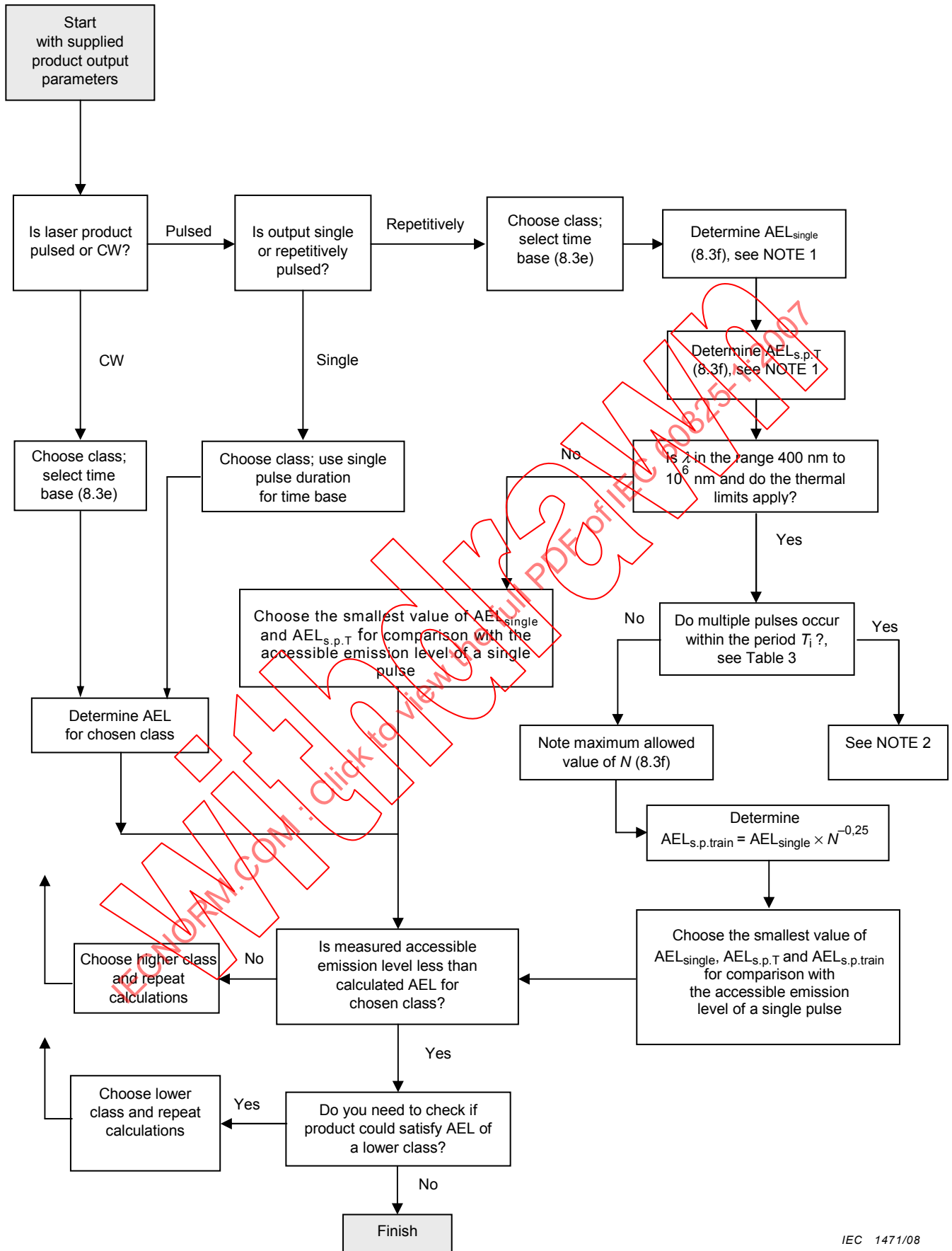


Figure B.1 – Flowchart guide for the classification of laser products from supplied output parameters

NOTE 1

AEL_{single} is determined on the duration of a single pulse.

$AEL_{\text{s.p.T}}$ is calculated from AEL_T determined on the chosen time base, where:

If AEL_T is in J or $J \cdot m^{-2}$ then $AEL_{\text{s.p.T}} = AEL_T / N_T$ (in units of J or $J \cdot m^{-2}$).

If AEL_T is in W or $W \cdot m^{-2}$ then $AEL_{\text{s.p.T}} = AEL_T / PRF$ (in units of J or $J \cdot m^{-2}$).

T = chosen time base in seconds.

N_T = number of pulses in time T .

NOTE 2

If multiple pulses occur within the period T_i change single pulse duration to T_i and calculate new value of AEL_{single} . Change PRF accordingly to determine maximum allowed value of N (8.3 f). Divide the new value of AEL_{single} by the number of original pulses contained in the period T_i before substituting final value of AEL_{single} in equation for $AEL_{\text{s.p.train}}$.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60825-1:2007

Withd 2007

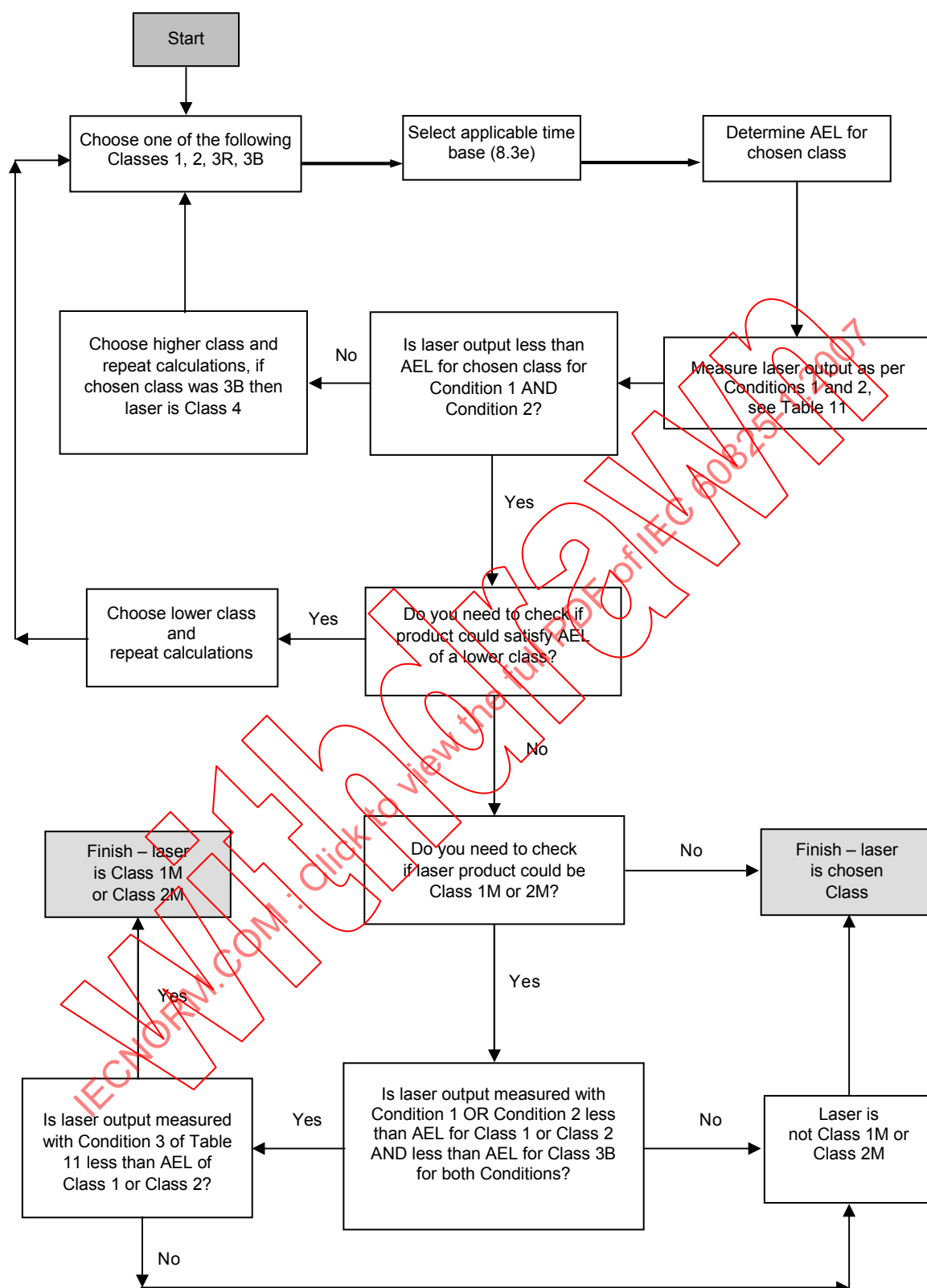


Figure B.2 – Flowchart guide for the classification of Class 1M and Class 2M laser products

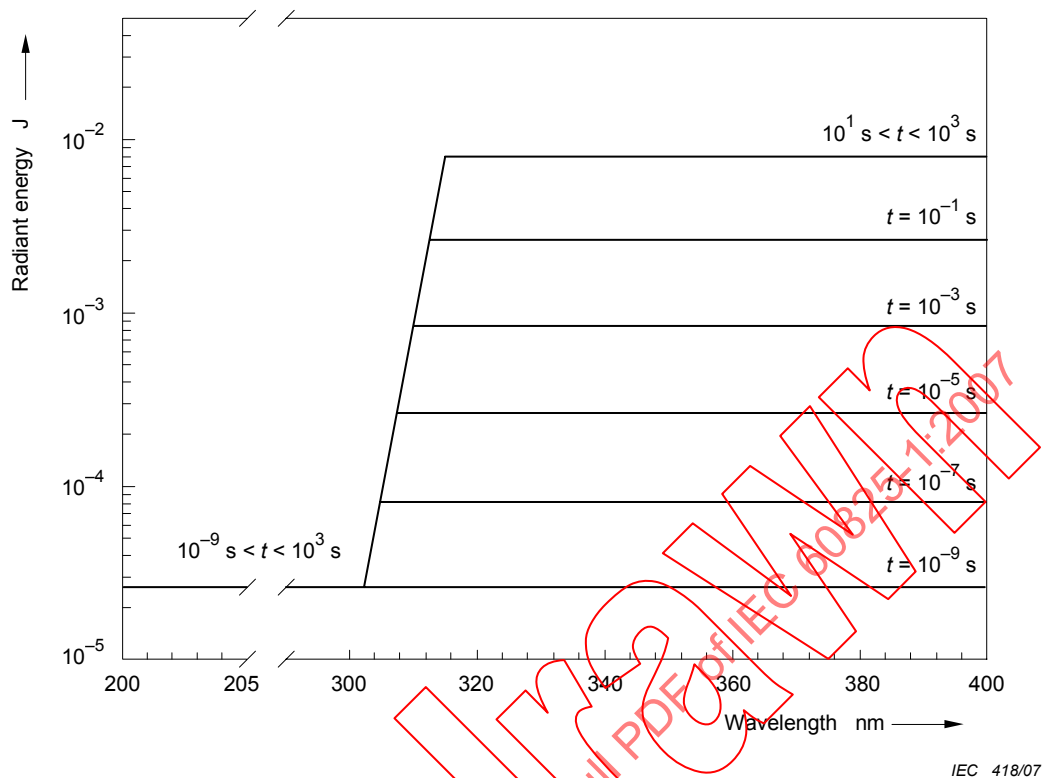


Figure B.3 – AEL for Class 1 ultra-violet laser products for selected emission durations from 10^{-9} s to 10^3 s

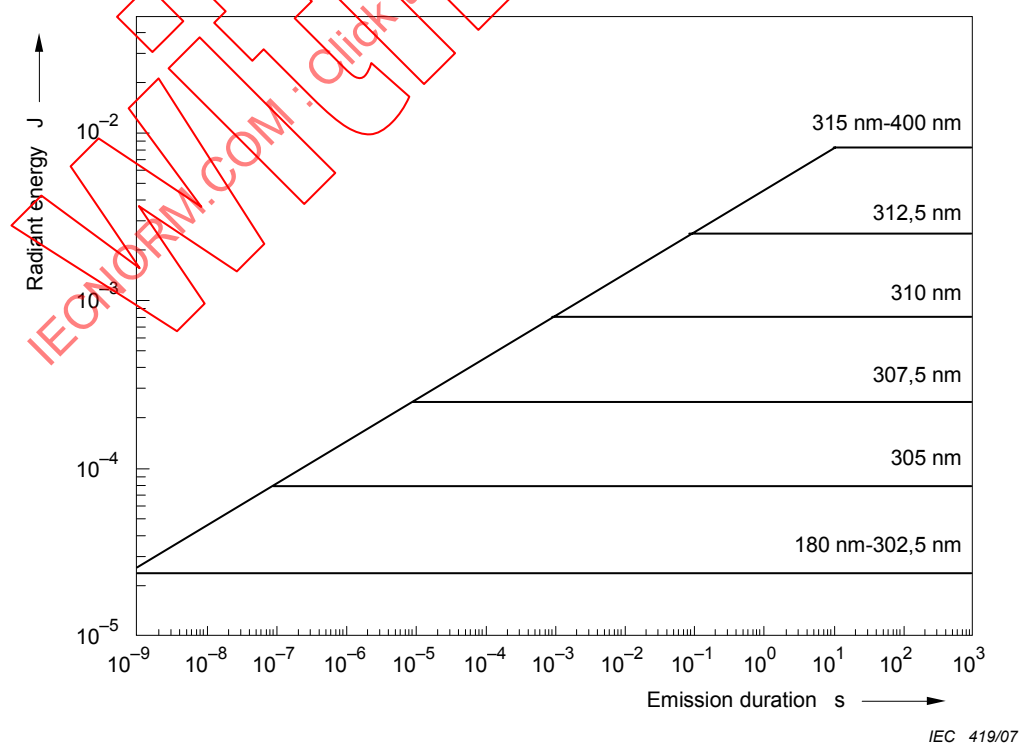


Figure B.4 – AEL for Class 1 ultra-violet laser products for emission durations from 10^{-9} s to 10^3 s at selected wavelengths

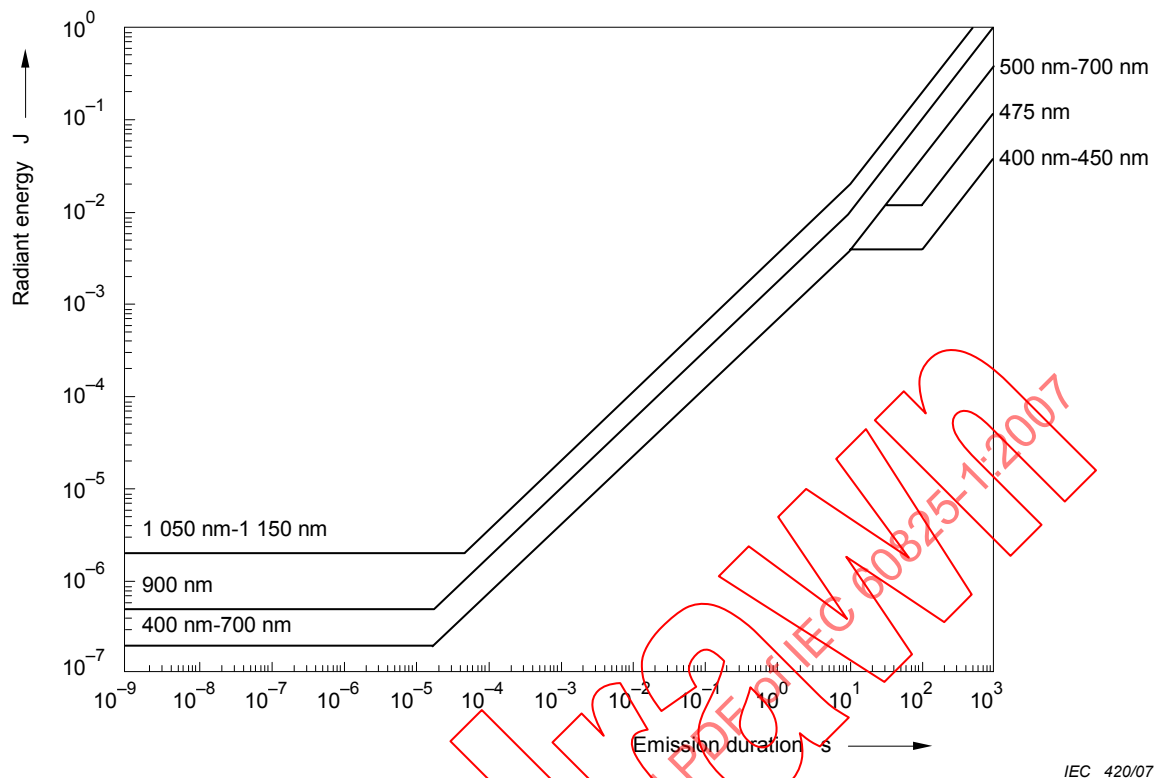


Figure B.5 – AEL for Class 1 visible and selected infra-red laser products (case $C_6 = 1$)

B.3 Examples

Example B.3.1

Classify a CW HeNe laser ($\lambda = 633 \text{ nm}$), with an output power of 50 mW, beam diameter 3 mm and beam divergence 1 mrad.

Solution:

From the beam characteristics it can be inferred that this is a well-collimated point source where $\alpha \leq \alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad}$. Because of the small beam diameter and divergence angle, the full beam power will pass through a 7 mm aperture and hence measurement Conditions 1, 2 and 3 will give the same accessible emission level. Choose a classification class and select an appropriate time base (see 8.3e).

Choose Class 3B and a time base of 100 s. Although the laser output is in the visible wavelength range 400 nm to 700 nm, a time base of 0,25 s is not allowed for Class 3B and intentional viewing is unlikely. For Class 3B, Table 9 gives

$$\text{AEL} = 0,5 \text{ W}$$

Since the laser is only emitting 50 mW, it does not exceed the AEL for Class 3B and could be classified as Class 3B. However, it may not always be obvious that the product would not satisfy the requirements of a lower classification, hence if in doubt check requirements of a lower class.

For Class 3R a time base of 0,25 s may be used for emission in the wavelength range 400 nm to 700 nm, thus from Table 7,

$$\text{AEL} = 5 \times 10^{-3} C_6 \text{ W}$$

From Table 10, $C_6 = 1$ for direct viewing of a well collimated beam, i.e. $\alpha \leq 1,5 \text{ mrad}$, therefore,

$$\text{AEL} = 5 \text{ mW}$$

Since laser output power is 50 mW, it exceeds the AEL for Class 3R but is less than the AEL for Class 3B; therefore, the laser would be classified as Class 3B.

Example B.3.2

A 12 mW CW diode laser ($\lambda = 900 \text{ nm}$) without a collimating lens has a beam divergence of 0,5 rad and gave the following parameters for the measurement conditions specified in Table 11. What is its classification? Assume the angular subtense α of the source at a measurement distance of 100 mm is less than $\alpha_{\min}$.

Condition 1: $< 20 \mu\text{W}$ through a 50 mm aperture stop 2 m from the laser diode chip.

Condition 2: 1,4 mW through a 7 mm aperture stop 70 mm from the laser diode chip.

Condition 3: 0,7 mW through a 7 mm aperture stop 100 mm from the laser diode chip.

Solution:

For such a divergent source, it is obvious that condition 2 will be more restrictive than condition 1.

Choose Class 1 and a 100 s time base (see 8.3e); thus, for a laser with $\alpha \leq 1,5 \text{ mrad}$ and $t > T_2$ where $T_2 = 10 \text{ s}$ for $\alpha \leq 1,5 \text{ mrad}$ (see Table 10), the AEL is obtained from Table 4 as follows:

$$\text{AEL} = 3,9 \times 10^{-4} C_4 C_7 \text{ W}$$

Where, from Table 10, $C_4 = 10^{0,002(\lambda-700)} = 2,51$ and $C_7 = 1$. Therefore,

$$\text{AEL} = 0,98 \text{ mW}$$

Since this is less than the laser diode is emitting into a 7 mm aperture 70 mm from the laser, it would imply that the product exceeds Class 1 classification for condition 2. However, when we compare the condition 3 data with the AEL for Class 1 laser products the product meets the requirements for Class 1.

Since the product satisfies the requirements for Class 1 classification for Conditions 1 and 3 but fails condition 2 for Class 1, without exceeding the AEL for Class 3B, it is classified Class 1M.

If the user fits a collimating lens to this laser diode, the product may need reclassifying.

Example B.3.3

Classify a single pulsed, frequency doubled, neodymium laser with the following output characteristics, assume both wavelengths are emitted at the same time.

Output pulse energy is 100 mJ at $\lambda = 1\,060\text{ nm}$

Output pulse energy is 25 mJ at $\lambda = 530\text{ nm}$

Pulse duration = 25 ns

Exit aperture diameter = 5 mm

Beam divergence at each wavelength < 1 mrad

Solution:

Assuming the laser can only emit one pulse in a time base of 100 s, then the duration of the pulse can be used for the exposure duration. Choosing a Class 3B laser product, Table 9 gives the AELs as:

$$\lambda = 1\,060\text{ nm} \quad \text{AEL}_{1060} = 0,15\text{ J} = 150\text{ mJ}$$

$$\lambda = 530\text{ nm} \quad \text{AEL}_{530} = 0,03\text{ J} = 30\text{ mJ}$$

The effect of these two wavelengths is additive, see 8.3 b) and Table 2 for classification of laser products with radiation of multiple wavelengths.

Hence need to determine if

$$\frac{Q_{1\,060}}{\text{AEL}_{1\,060}} + \frac{Q_{530}}{\text{AEL}_{530}} \leq 1$$

Substituting the appropriate values in mJ gives

$$\frac{100}{150} + \frac{25}{30} = 1,5$$

Since this is greater than 1 the laser product must be of higher classification.

Therefore, laser product is Class 4.

Example B.3.4

Classify a carbon dioxide laser ($\lambda = 10,6\text{ }\mu\text{m}$) used for an open beam security system. Assume an average output power of 0,4 W, a beam diameter of 2 mm and a beam divergence of 1 mrad.

Solution:

Choose Class 3R and a 100 s time base; intentional viewing is not expected.

Table 7 gives the AEL for Class 3R as $5\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Note, Table 11 gives the limiting aperture for a 100 s exposure as 3,5 mm but the laser beam diameter is only 2 mm. In order to calculate the beam irradiance, ($E_0 = P_0/\text{area}$), we should use which ever is the greater of the actual beam diameter or the limiting aperture, thus

$$E_0 = \frac{P_0}{\text{area}} = \frac{4 \times 0,4}{\pi(3,5 \times 10^{-3})^2} = 4,16 \times 10^4 \text{ Wm}^{-2}$$

This exceeds the AEL for Class 3R. Table 9 gives the AEL for Class 3B as 0,5 W; therefore, this laser is classified as Class 3B.

Example B.3.5

Classify a laser emitting $1\mu\text{s}$ pulses with a pulse repetition frequency of 500 Hz, a peak output power of 10 kW at $\lambda = 694\text{ nm}$, beam diameter is 5 mm and beam divergence is 0,5 mrad.

Item f) of 8.3 contains details of the requirements for repetitively pulsed lasers, which are summarised below.

The AEL for wavelengths from 400 nm to 10^6 nm is determined by using the most restrictive of requirements a), b) and c) as appropriate. For other wavelengths, the AEL is determined by using the most restrictive of requirements a) and b). Requirement c) applies only to the thermal limits, not to the photochemical limits.

Choose Class 3B and assume a 100 s time base. Check if multiple pulses can occur within the period T_i as given in Table 3. For this laser wavelength $T_i = 18 \times 10^{-6}\text{ s}$ and the actual time between pulses is $1/\text{PRF} = 2 \times 10^{-3}\text{ s}$, hence multiple pulses do not occur in the period T_i . Following the procedure in 8.3 f):

- a) Single pulse exposure. Table 9 gives for $t = 10^{-6}\text{ s}$,

$$\text{AEL}_{\text{single}} = 0,03\text{ J}$$

- b) Table 9 gives the AEL for $T = 100\text{ s}$ as follows:

$$\text{AEL}_T = 0,5\text{ W}$$

Dividing by the PRF gives the equivalent AEL energy per pulse; therefore,

$$\text{AEL}_{\text{s.p.T}} = \frac{\text{AEL}_T}{\text{PRF}} = \frac{0,5}{500} = 1 \times 10^{-3}\text{ J}$$

- c) $\text{AEL}_{\text{s.p.train}} = \text{AEL}_{\text{single}} \times C_5 = \text{AEL}_{\text{single}} \times N^{0,25}$ but N is limited to the number of pulses that occur within the period $T_2 = 10\text{ s}$ for $\alpha \leq \alpha_{\text{min}}$ (see Table 10).

Therefore:

$$\text{AEL}_{\text{s.p.train}} = 0,03 \times (10 \times 500)^{0,25}\text{ J}$$

$$\text{AEL}_{\text{s.p.train}} = 3,57 \times 10^{-3}\text{ J}$$

The most restrictive of the three values is $\text{AEL}_{\text{s.p.T}} = 1 \times 10^{-3}\text{ J}$

The laser energy per pulse, Q , is calculated from the relationship

$$Q = (\text{peak power}) \times (\text{pulse duration})$$

$$Q = 10^4 \times 10^{-6} = 0,01\text{ J}$$

Since the accessible emission energy per pulse exceeds $\text{AEL}_{\text{s.p.T}}$, the laser product exceeds the AEL for Class 3B and, therefore, must be Class 4.

Annex C (informative)

Description of the classes and potentially associated hazards

C.0 General

This annex contains a description of the classes as well as potentially associated hazards.

The annex is intended as a guide for the manufacturer in their task of describing the hazards associated with the product. This annex also points out limitations of the classification scheme, i.e. situations where the generally associated meaning of the class is not appropriate.

C.1 Introduction

Classification was developed to aid the user in hazard evaluation of the laser and to determine necessary user control measures. Laser classification relates to the potential hazard of the accessible laser radiation in respect to skin or eye damage and does not relate to other potential hazards such as electrical, mechanical or chemical hazards, or hazards from secondary optical radiation. The intent of classification is to recognize the increased risk of injury with increasing powers accessible above the base-line, Class 1 condition and most accurately describes the risk from potential exposures at short distances from the laser. The hazard zone can differ greatly for different lasers within one class. The potential hazard could be greatly reduced by additional user protective measures, including additional engineering controls such as enclosures.

C.2 Description of classes

Class 1

Laser products that are safe during use, including long-term direct intrabeam viewing, even when exposure occurs while using optical viewing instruments (eye loupes or binoculars). Class 1 also includes high power lasers that are fully enclosed so that no potentially hazardous radiation is accessible during use (embedded laser product). Intrabeam viewing of Class 1 laser products which emit visible radiant energy may still produce dazzling visual effects, particularly in low ambient light.

Class 1M

Laser products that are safe, including long-term direct intrabeam viewing for the naked eye (unaided eye). The MPE can be exceeded and eye injury may occur following exposure with one of the two categories of optical viewing instruments (eye loupes or binoculars) under the following conditions:

- a) for diverging beams, if the user places optical components within 100 mm from the source to concentrate (collimate) the beam; or
- b) for a collimated beam with a diameter larger than the measurement diameter specified for condition 3 (see Table 11).

The wavelength region for Class 1M lasers is restricted to the spectral region where most glass optical materials used in optical instruments can significantly transmit, i.e., between 302,5 nm and 4 000 nm. Intrabeam viewing of Class 1M laser products which emit visible radiant energy may still produce dazzling visual effects, particularly in low ambient light.

Class 2

Laser products that emit visible radiation in the wavelength range from 400 nm to 700 nm that are safe for momentary exposures but can be hazardous for deliberate staring into the beam. The time base of 0,25 s is inherent in the definition of the class and presumption is that there is very low risk of injury for momentary exposures that are somewhat longer.

The following factors contribute to precluding injury under reasonably foreseeable conditions:

- unintentional exposures would rarely reflect worst-case conditions, for example, of beam alignment with the pupil for a stabilised head, worst case accommodation;
- the inherent safety margin in the MPE upon which the AEL is based;
- natural aversion behaviour for exposure to bright light.

For Class 2, in contrast to Class 2M, the use of optical instruments does not increase the risk of ocular injury.

However, dazzle, flash-blindness and afterimages may be caused by a beam from a Class 2 laser product, particularly under low ambient light conditions. This may have indirect general safety implications resulting from temporary disturbance of vision or from startle reactions. Such visual disturbances could be of particular concern connected with performing safety-critical operations such as working with machines or at height, with high voltages or driving.

Users are instructed by labelling not to stare into the beam, i.e. to perform active protective reactions by moving the head or closing the eyes and to avoid continued intentional intrabeam viewing.

Class 2M

Laser products that emit visible laser beams and are safe for short time exposure only for the naked (unaided eye). Eye injury may occur following exposure with one of the two categories of optical viewing instruments (eye loupes or binoculars) under the following conditions:

- a) for diverging beams if the user places optical components within 100 mm from the source to concentrate (collimate) the beam; or
- b) for a collimated beam with a diameter larger than the measurement diameter specified for condition 3 (see Table 11).

However, dazzle, flash-blindness and afterimages may be caused by a beam from a Class 2M laser product, particularly under low ambient light conditions. This may have indirect general safety implications resulting from temporary disturbance of vision or from startle reactions. Such visual disturbances could be of particular concern if experienced while performing safety-critical operations such as working with machines or at height, with high voltages or driving.

Users are instructed by labelling not to stare into the beam, i.e., to perform active protective reactions by moving the head or closing the eyes, and to avoid continued intentional intrabeam viewing.

Class 3R

Laser products that emit radiation that can exceed the MPE under direct intrabeam viewing, but the risk of injury in most cases is relatively low because the AEL for Class 3R is only 5 times the AEL of Class 2 (visible laser beams) or the AEL of Class 1 (for non-visible laser beams). The risk of injury increases with exposure duration and exposure is hazardous for deliberate ocular exposure. Because of the lower risk, fewer manufacturing requirements and control measures for the user apply than for Class 3B.

The risk is limited because of

- unintentional exposures would rarely reflect worst case conditions of (e.g.) beam alignment with the pupil, worst case accommodation,
- the inherent safety margin in the MPE,
- natural aversion behaviour for exposure to bright light for the case of visible radiation and by the response to heating of the cornea for far infrared radiation.

Dazzle, flash-blindness and afterimages may be caused by a beam from a Class 3R laser product in the visible wavelength range, particularly under low ambient light conditions. This may have indirect general safety implications resulting from temporary disturbance of vision or from startle reactions. Such visual disturbances could be of particular concern if experienced while performing safety-critical operations such as working with machines or at height, with high voltages or driving.

Class 3R lasers should only be used where direct intrabeam viewing is unlikely.

Class 3B

Laser products that are normally hazardous when intrabeam ocular exposure occurs (i.e. within the NOHD) including accidental short time exposure. Viewing diffuse reflections is normally safe. Class 3B lasers which approach the AEL for Class 3B may produce minor skin injuries or even pose a risk of igniting flammable materials. However, this is only likely if the beam has a small diameter or is focussed.

NOTE There exist some theoretical (but rare) viewing conditions where viewing a diffuse reflection could exceed the MPE. For example for Class 3B lasers having powers approaching the AEL, lengthy viewing of greater than 10 s of true diffuse reflections of visible radiation and viewing at distances less than 13 cm between the diffusing surface and the cornea can exceed the MPE.

Class 4

Laser products for which intrabeam viewing and skin exposure is hazardous and for which the viewing of diffuse reflections may be hazardous. These lasers also often represent a fire hazard.

Note on nomenclature

“M” in Class 1M and Class 2M is derived from magnifying optical viewing instruments. “R” in Class 3R is derived from reduced, or relaxed, requirements: reduced requirements both for the manufacturer (e.g. no key switch, beam stop or attenuator and interlock connector required) and the user. The “B” for Class 3B has historical origins, as in the pre-Amendment A2: 2001 version of the standard, a Class 3A existed, which had a similar meaning to what is now Class 1M and Class 2M.

It should be noted that for the above descriptions, whenever “hazardous” is used or there is a reference to a high risk of injury, this hazard and risk only exists within the area around the laser where the corresponding MPE levels are exceeded. For exposure of the naked eye, this area is bounded by the NOHD, or for well collimated Class 1M and 2M viewed with binoculars or telescopes, the extended NOHD (ENOH). It may well be that a particular (Class 3B or Class 4) laser product has a very short NOHD associated with it, so that for a particular installation or application, for personnel outside the NOHD eye protection is not necessary. Examples of such installations are scanning lasers or line lasers mounted on the ceiling of the manufacturing hall that project a pattern or line onto the workpiece in the work area below. While the power level and scan pattern could be such that the exposure in the work area is below the MPE and therefore safe, maintenance and service routines will need special consideration. For example, exposure at closer distances might be hazardous, for instance, when the user is up on a ladder cleaning an exit window. Another example is that, whilst a scan pattern might be safe, a hazard may arise if the beam reverts to the non-scanning mode. In addition, for Class 4 laser products, there is a NOHD associated with diffuse reflections (although this NOHD is likely to be quite limited in extent). The characterisation of the hazard associated with a particular laser and application is part of a risk assessment.

Classification tests are designed to be rather “worst-case” and restrictive in order to ensure that a “low-class” (e.g. Class 1) product does not present a hazard to the eye or skin even in reasonably foreseeable worst case situations. Consequently, a Class 3B or Class 4 product can still be designed in such a way that it can be considered safe for its intended use and normal operation, since the hazard only becomes accessible in worst case situations. For instance, the product could feature a protective housing (which complies with IEC 60825-4) but fails to be an embedded Class 1 laser product because of the following reasons.

- The housing fails the test according to this Part 1 for an extended period (whereas for machines according to IEC 60825-4 a shorter evaluation time may be used).
- It has no top cover but would be considered safe for an environment where no persons are present above the guard.
- It does not feature an automatic detection of walk-in access. (However, in a controlled environment, this can be replaced by an organisational safety measure of individualised locks that prevent closure of the door when somebody is inside the housing – which does not affect the classification but represents a procedure which achieves the desired level of safety for the user).

In cases where the hazard associated with a Class 3B and Class 4 laser product is limited to within the housing, organisational safety measures may be sufficient. Similarly, for a laser system with no roof, or a situation where burn through of the guard may occur after some longer lasting fault, organisational safety measures may be sufficient.

Other examples exist where the hazards associated with Class 3B and Class 4 lasers arise only in specific situations. For example, consider the situation in which the classification is based on an accessory such as a collimating lens applied to a highly divergent source for low level laser therapy. This product may be classified as Class 3B based on the accessory lens being screwed on, since this lens produces a potentially hazardous collimated beam. However use without the accessory being screwed on, which would result in a divergent beam, could be safe (i.e. any exposure to the eye would be below the MPE). Thus a hazard area would only exist around the laser once the accessory has been screwed on.

C.3 Limitations of the classification scheme

Although the classification tests are in many ways rather restrictive and worst case, there are still limitations which, in rare cases, may lead to hazards beyond the hazards that are associated with the respective classes. Classification is based on three “components”:

- a) the AEL of the different classes;
- b) the measurement requirements in terms of measurement distance, aperture diameter and angle of acceptance to reflect potential exposure conditions. These measurement requirements, for a given laser product, determine the accessible emission that is compared to the AEL to determine the class;
- c) the test conditions under which the AEL and the accessible emission is determined. This would include taking account of reasonably foreseeable single fault conditions. Also operational, maintenance and service need to be distinguished. The use of accessories and different configurations of the product that can be achieved without using tools needs to be considered.

Each of these three components has some implicit assumptions, so that in rare cases, where these assumptions are not met, hazards beyond the usual understanding of the class can arise. For instance, the AEL for Class 1 and 1M for long term exposure is based on the assumption of eye movements of a non-anaesthetised eye. However, if prolonged ocular exposure occurs during medical procedures for an anaesthetised eye, then Class 1 laser emission may lead to potentially hazardous exposures. Also, the measurement requirements are based on assumptions and evaluations of the likelihood of exposure with certain types of optical instruments. For example, a large diameter collimated beam intercepted by a large telescope might be hazardous even for a Class 1 laser product. However, the probability of such an accidental ocular exposure is usually very small due to the small field of view of the telescope. Another situation that might need to be considered is where a product is placed into a condition which is not required to be considered for classification but from which hazardous radiation might, nevertheless, become accessible. For instance, even though it is not provided by the manufacturer of the product as an accessory, a divergent beam from a Class 1M or Class 2M product could be transformed into a collimated beam with a potentially large hazard distance by attaching a collimating lens to the product. However, this would be considered as changing the product, and the person carrying out that change should re-classify the product.

Nevertheless, the manufacturer should be aware of the limitations so that it is possible to include warnings in the user manual for products. Specific examples of such potential limitations are given below (note that these limitations are only potential because it depends on the type of product if the limitations apply or not).

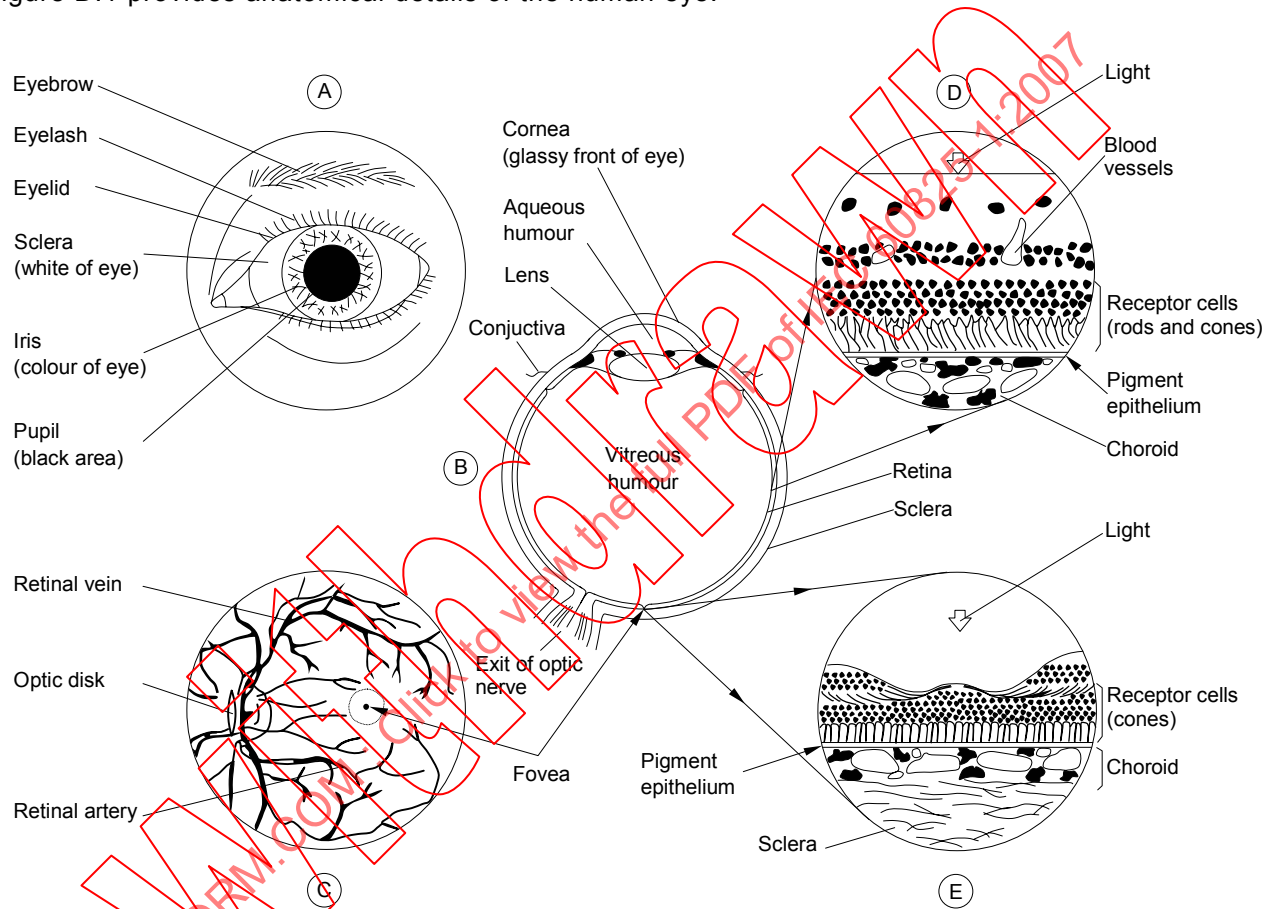
- Large diameter collimated beam Class 1, Class 2 or Class 3R laser products that are viewed with large telescopes.
- Highly divergent beam Class 1, Class 2 or Class 3R laser products that are viewed with magnifiers with large magnification.
- Binoculars or telescopes with magnification of less than $\times 7$. In this case, for condition 1, the magnification of the angular source α that may be applied (see 8.3 c)), or, alternatively, the reduction of the angle of acceptance (see 9.3.2 b)), should be equal to the real magnification factor, i.e. less than $\times 7$.
- Scanning beams when viewed with telescopes.
- Double fault conditions that might be likely. That is, faults where each fault on its own would not result in accessible emission above the AEL, but both faults occurring at the same time could. When these faults are expected to occur with a relatively high probability, then the probability for a double fault might be sufficiently high so that it should be considered during product design.

Annex D (informative)

Biophysical considerations

D.1 Anatomy of the eye

Figure D.1 provides anatomical details of the human eye.



IEC 421/07

Figure D.1 – Anatomy of the eye

In Figure D.1, section (A) is a diagram of the external features of a left eye. The gap between the overlying lids limits the field-of-view (FOV) of the eye to an almond shape. The main features of the front of the eye are labelled.

Section (B) is a diagrammatic horizontal cross-section of a left eye. The eye is divided into two parts, the front or anterior chamber which is bounded by the cornea, the iris and the lens, and the back or posterior eye cup which is bounded by the retina and contains the gel-like vitreous humour.

Section (C) is the inside of an intact eye seen through an ophthalmoscope. This instrument directs a beam of light through the pupil and illuminates the inside of the eye and so allows it to be seen. The picture so viewed is referred to as the fundus. It looks reddish, but the major retinal vessels can be clearly seen. Other prominent features are the whitish optic disc, and the fovea. The fovea is a small depression in the retinal surface which may be more pigmented than the surrounding retina and is the area of most acute vision. The fovea is the centre of the macula; the macula is responsible for detailed vision.

Section (D) is the structure of the retina as seen in the cut surface of Figure D.1(B) but magnified several hundreds times larger than life. The retina consists of a series of layers of nerve cells which overlie the photosensitive rod and cone cells; i.e. light falling on the retinal surface has to pass through the layers of nerve cells before it reaches the photosensitive cells. Underneath the layer of rods and cones is a layer of the pigment epithelium that contains a brownish black pigment melanin; and beneath this is a layer of fine blood vessels, the choriocapillaris. The final absorbing layer is the choroid, which contains both pigmented cells and blood vessels.

Section (E) is the structure of the foveal region magnified several hundreds times. Here only cones are present. The nerve cells are displaced radially away from this area of most acute vision. The macular pigment, which absorbs strongly from 400 nm to 500 nm, is located in the fibre layer of Henle.

D.2 The effects of laser radiation on biological tissue

D.2.1 General

The mechanism by which laser radiation induces damage is similar for all biological systems and may involve interactions of heat, thermoacoustic transients, photochemical processes and non-linear effects. The degree to which any of these mechanisms is responsible for damage may be related to certain physical parameters of the irradiating source, the most important of which are wavelength, pulse duration, image size, irradiance and radiant exposure.

In general terms, in supra-threshold exposures, the predominating mechanism is broadly related to the pulse duration of the exposure. Thus, in order of increasing pulse duration, the predominant effects in the following time domains are:

- in nanosecond and sub-nanosecond exposures, acoustic transients and non-linear effects,
- from 1 ms to several seconds, thermal effects, and,
- in excess of 10 s, photochemical effects.

Laser radiation is distinguished from most other known types of radiation by its beam collimation. This, together with an initial high energy content, results in excessive amounts of energy being transmitted to biological tissues. The primary event in any type of laser radiation damage to a biological system is the absorption of optical radiation by that system. Absorption occurs at an atomic or molecular level and is a wavelength specific process. Thus, it is the wavelength that determines which tissue a particular laser beam is liable to damage.

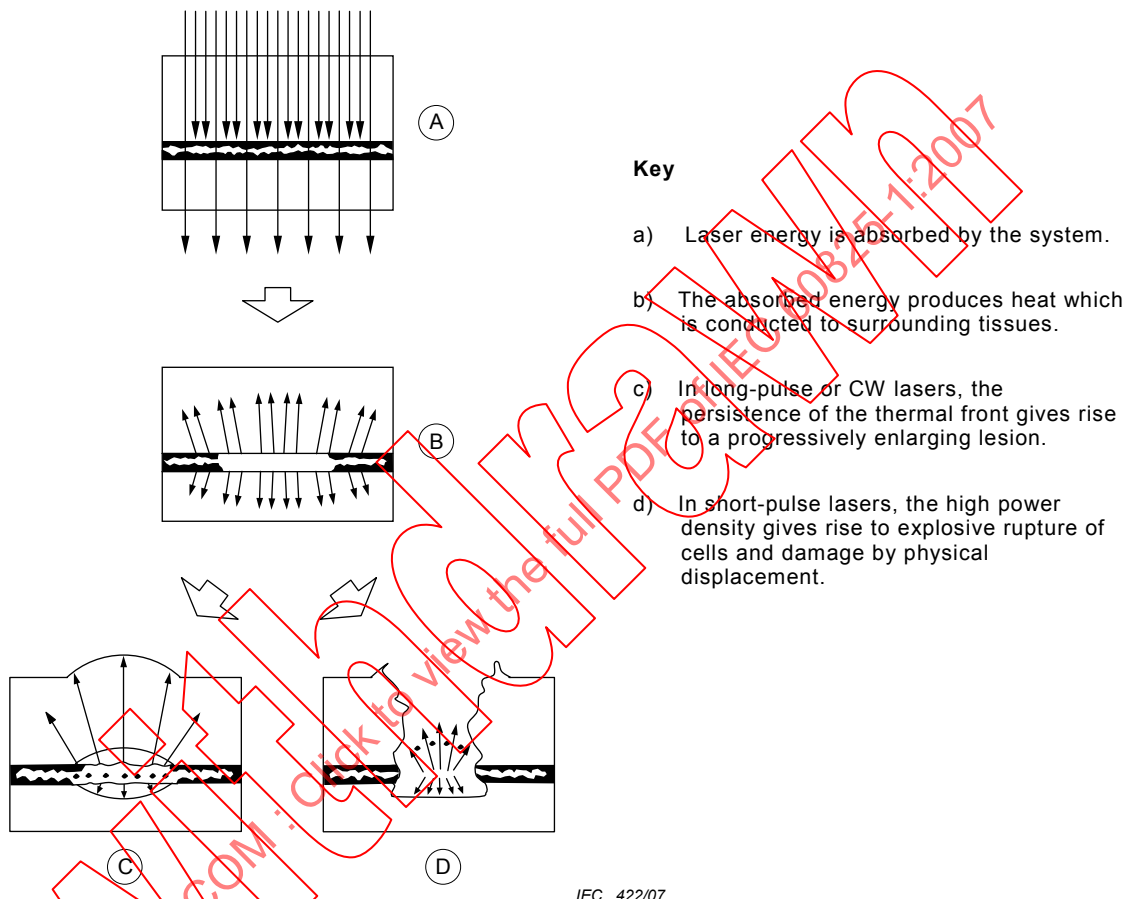


Figure D.2 – Diagram of laser-induced damage in biological systems

Thermal effects. When sufficient radiant energy has been absorbed by a system, its component molecules experience an increased vibration, and this is an increase in heat content. Most laser damage is due to the heating of the absorbing tissue or tissues. This thermal damage is usually confined to a limited area extending to either side of the laser energy absorbing site, and centred on the irradiating beam. Cells within this area show burn characteristics, and tissue damage primarily results from denaturation of protein. As indicated above, the occurrence of secondary damage mechanisms in laser impacts can be related to the time course of the tissue heating reaction which is directly related to the pulse duration (see Figure D.2) and the period of cooling. Thermochemical reactions occur during both the heating and cooling period, giving rise to a spot-size dependence of thermal injury. If a CW or long-pulse laser impulse is directed onto a tissue, then because of conduction, the area of the biological tissue experiencing a raised temperature is progressively increased. This spreading thermal front results in an increasing damage zone as more and more cells are raised above their thermal tolerance. The beam image size is also of great importance, as the degree of

peripheral spread due to conduction is a function of the size as well as the temperature of the initial area of tissue heating. This type of thermal lesion is commonly seen on exposure to CW or long pulsed lasers, but also occurs with short pulses. For irradiated spot sizes of the order of 1 mm to 2 mm or less, the radial heat flow leads to a spot-size dependence of injury.

Photochemical effects. On the other hand, damaging effects can be the direct result of a photochemical process. This process is created by absorption of given light energy. Rather than releasing the energy, the species undergo a chemical reaction unique to their excited state. This photochemical reaction is believed to be responsible for damage at low levels of exposure. By this mechanism, some biological tissues such as the skin, the lens of the eye, and in particular the retina may show irreversible changes induced by prolonged exposure to moderate levels of UV radiation and short-wavelength light. Such photochemically induced changes may result in damage to a system if the duration of irradiation is excessive, or if shorter exposures are repeated over prolonged periods. Some of the photochemical reactions initiated by laser exposure may be abnormal, or exaggerations of normal processes. Photochemical reactions generally follow the Law of Bunsen and Roscoe, for duration of the order of 1 h to 3 h or less (where repair mechanisms cannot cope with the rate of damage); the threshold expressed as a radiant exposure is constant over a wide range of exposure duration. The spot-size dependence, as occurs with thermal effects due to heat diffusion, does not exist.

Non-linear effects. Short-pulsed high peak-power (i.e., Q-switched or mode-locked) lasers may give rise to tissue damage with a different combination of induction mechanisms. Energy is delivered to the biological target in a very short time and hence a high irradiance is produced. The target tissues experience such a rapid rise in temperature that the liquid components of their cells are converted to gas. In most cases, these phase changes are so rapid that they are explosive and the cells rupture. The pressure transients may result from thermal expansion and both may also result in shearing damage to tissues remote from the absorbing layers by bulk physical displacement. At sub-nanosecond exposures, self-focusing of the ocular media further concentrates laser energy from a collimated beam and further lowers the threshold between approximately 10 ps and 1 ns. Furthermore, other non-linear optical mechanisms appear to play a role in retinal injury in the sub-nanosecond region.

All of the above-described damage mechanisms have been shown to operate in the retina, and are reflected in the breakpoints or changes of slope in the safe exposure levels described in this standard.

D.2.2 Hazards to the eye

A brief description of the anatomy of the eye is given in Clause D.1. The eye is specially adapted to receive and transduce optical radiation. The pathologies caused by excessive exposures are summarized in Table D.1. Thermal interaction mechanisms are shown in Figure D.2. Lasers emitting ultra-violet and far infra-red radiation represent a corneal hazard while systems emitting visible and near infra-red wavelengths will be transmitted to the retina.

Visible and near infra-red laser beams are a special hazard to the eye because the very properties necessary for the eye to be an effective transducer of light result in high radiant exposure being presented to highly pigmented tissues. The increase in irradiance from the cornea to the retina is approximately the ratio of the pupil area to that of the retinal image. This increase arises because the light which has entered the pupil is focused to a "point" on the retina. The pupil is a variable aperture but the diameter may be as large as 7 mm when maximally dilated in the young eye. The retinal image corresponding to such a pupil may be between 10 μm and 20 μm in diameter. With intra-ocular scattering and corneal aberrations considered, the increase in irradiance between the cornea and the retina is of the order of 2×10^5 .

Table D.1 – Summary of pathological effects associated with excessive exposure to light

CIE spectral region ^a	Eye	Skin
Ultra-violet C (180 nm to 280 nm)	Photokeratitis	Erythema (sunburn)
Ultra-violet B (280 nm to 315 nm)		Accelerated skin ageing process Increased pigmentation
Ultra-violet A (315 nm to 400 nm)	Photochemical cataract	Pigment darkening Photosensitive reactions
Visible (400 nm to 780 nm)	Photochemical and thermal retinal injury	Skin burn
Infra-red A (780 nm to 1 400 nm)	Cataract, retinal burn	Skin burn
Infra-red B (1,4 μm to 3,0 μm)	Aqueous flare, cataract, corneal burn	
Infra-red C (3,0 μm to 1 mm)	Corneal burn only	
^a The spectral regions defined by the CIE are short-hand notations useful in describing biological effects and may not agree perfectly with spectral breakpoints in the MPE Tables A.1 to A.3.		

If an increase of 2×10^5 is assumed, a $50 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ beam on the cornea becomes $1 \times 10^7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ on the retina. In this standard, a 7 mm pupil is considered as a limiting aperture as this is a worst-case condition and is derived from figures obtained from the young eye where pupillary diameters of this order have been measured. An exception to the assumption of a 7 mm pupil was applied in the derivation of exposure limits to protect against photoreinitis whilst viewing bright visible (400 nm to 700 nm) laser sources for periods in excess of 10 s. In this latter situation, a 3 mm pupil was assumed as a worst-case condition; however, a 7 mm irradiance averaging aperture for measurement was still considered appropriate due to physiological movements of the pupil in space. Hence, AELs for durations greater than 10 s are still derived for a 7 mm aperture.

If an intense beam of laser light is brought to a focus on the retina, only a small fraction of the light (up to 5 %) will be absorbed by the visual pigments in the rods and cones. Most of the light will be absorbed by the pigment called melanin contained in the pigment epithelium. (In the macular region, some energy in the 400 nm to 500 nm range will be absorbed by the yellow macular pigment.) The absorbed energy will cause local heating and will burn both the pigment epithelium and the adjacent light sensitive rods and cones. This burn or lesion may result in a loss of vision. Photochemical injuries, although non-thermal, are also localized in the pigment epithelium.

Depending on the magnitude of the exposure, such a loss of vision may or may not be permanent. A visual decrement will usually be noted subjectively by an exposed individual only when the central or foveal region of the macula is involved. The fovea, the pit in the centre of the macula, is the most important part of the retina as it is responsible for sharpest vision. It is the portion of the retina that is used "to look right at something". This visual angle subtended by the fovea is approximately equal to that subtended by the moon. If this region is damaged, the decrement may appear initially as a blurred white spot obscuring the central area of vision; however, within two or more weeks, it may change to a black spot. Ultimately, the victim may cease to be aware of this blind spot (scotoma) during normal vision. However, it can be revealed immediately on looking at an empty visual scene such as a blank sheet of white paper. Peripheral lesions will only be registered subjectively when gross retinal damage has occurred. Small peripheral lesions will pass unnoticed and may not even be detected during a systematic eye examination.

In the wavelength range from 400 nm to 1 400 nm, the greatest hazard is retinal damage. The cornea, aqueous humour, lens and vitreous humor are transparent for radiation of these wavelengths. In the case of a well-collimated beam, the hazard is virtually independent of the distance between the source of radiation and the eye, because the retinal image is assumed to be a diffraction-limited spot of around 10 μm to 20 μm diameter. In this case, assuming thermal equilibrium, the retinal zone of hazard is determined by the limiting angular subtense α_{min} , which generally corresponds to retinal spot of approximately 25 μm in diameter.

In the case of an extended source, the hazard varies with the viewing distance between the source and the eye, because whilst the instantaneous retinal irradiance only depends on the source's radiance and on the lens characteristics of the eye, thermal diffusion of energy from larger retinal images is less efficient, leading to a retinal spot-size dependence for thermal injury which does not exist for photochemical injury (dominating only in the 400 nm to 600 nm spectral region). In addition, eye movements further spread the absorbed energy for CW laser exposures, leading to different dependencies of risk for differing retinal image sizes.

In the derivation of limits for ocular exposure in the retinal hazard region, correction factors for eye movements were only applied for viewing durations exceeding 10 s. Although physiological eye movements known as saccades do spread the absorbed energy in minimal retinal images (of the order of 25 μm or less) within the 0,1 s to 10 s time regime, the limits provide a desired added safety factor for this viewing condition. At 0,25 s, the mean retinal spot illuminated is approximately 50 μm . By 10 s, the illuminated retinal zone becomes approximately 75 μm and the added safety factor for the minimal image condition becomes 1,7 over a stabilized eye, with the spot-size dependence taken into account. By 100 s, it is rare to achieve an illuminated zone (measured at 50 % points) as small as 135 μm leading to an additional safety factor of 2,3 or more for the minimal image condition.

The data from eye-movement studies and retinal thermal injury studies were combined to derive a break-point in viewing time T_2 at which eye movements compensated for the increased theoretical risk of thermal injury for increased retinal exposure durations if the eye were immobilized. Because the thermal injury threshold expressed as radiant power entering the eye decreases as the exposure duration t raised to the $-0,25$ power (i.e. a reduction of only 44 % per tenfold increase in duration), only moderate increases in the exposed retinal area will compensate for the increased risk for longer viewing times. The increasing retinal area of irradiation resulting from greater eye movements with increased viewing time takes longer to compensate for the reduced impact of thermal diffusion in larger extended sources. Thus, for increasing angular subtense α , the break-point T_2 increases from 10 s for small sources to 100 s for larger sources. Beyond 100 s, there is no further increase in risk of thermal injury for small and intermediate size images. The specification of limits and measuring conditions attempt to follow these variables with some simplification leading to a conservative determination of risk. It is conservatively assumed that retinal thermal injury thresholds vary inversely with retinal image size (stabilized) between approximately 25 μm to 1 mm (corresponding to angular sizes of 1,5 mrad to 59 mrad), whilst beyond 1,7 mm (corresponding to angular sizes greater than 100 mrad), there is no spot-size dependence.

For photochemically induced retinal injury, there is no spot size dependence for a stabilized image. Unlike thermal injury mechanism, the thresholds for photochemical injury are highly wavelength dependent and are exposure dose dependent, i.e. the thresholds decrease inversely with the lengthening of exposure duration. Studies of photochemical retinal injury from welding arcs subtending angles of the order of 1 mrad to 1,5 mrad showed typical lesion sizes of the order of 185 μm to 200 μm (corresponding to visual angles of 11 mrad to 12 mrad), clearly showing the influence of eye movements during fixation; these and other studies of eye movements during fixation led to the derivation of MPEs to protect against photochemical retinal injury. These studies also led to MPE irradiance to be specified as being averaged over 11 mrad for exposure durations between 10 s and 100 s. Hence, sources with an angular subtense α less than 11 mrad were treated equally with "point-type" sources, and the concept of α_{min} was extended to CW-laser viewing. This approach was not strictly correct, as an irradiance measurement of an 11 mrad source is not equivalent to irradiance averaging over a field of view (γ) of 11 mrad unless the source had a rectangular ("top-hat") radiance distribution. Hence, in this edition of the standard, distinction is made between angular subtense of a source and irradiance averaging for photochemical MPE values. For viewing times in excess of approximately 30 s to 60 s, the saccadic eye motion during fixation is generally overtaken by behavioural movements determined by visual task, and it is quite unreasonable to assume that a light source would be imaged solely in the fovea for durations longer than 100 s. For this reason, the angle of acceptance γ_{ph} is increased linearly with the square-root of t . The minimal angular subtense α_{min} correctly remains at the reference angle of 1,5 mrad for all exposure durations used in thermal retinal hazard evaluation. However, for photochemical retinal hazard assessment, the concept is actually different, as the angle γ_{ph} is a linear angle of acceptance for the measurement of irradiance, and this is important to apply only for extended sources greater than approximately 11 mrad.

Viewing distance. In the case of a "point-type", diverging-beam source, the hazard increases with decreasing distance between the beam waist and the eye. The reason is that, with decreasing distance, the collected power increases, while the size of the retinal image can be assumed to remain nearly diffraction-limited for true laser sources down to a distance as close as 100 mm (due to the accommodation capabilities of the eye). The greatest hazard occurs at the shortest accommodation distance. With further reduced distance, the hazard to the unaided eye is also reduced, as there is a rapid growth of the retinal image and a corresponding reduction of the irradiance, even though more power may be collected. To simulate the risk of optically aided viewing of a collimated beam with binoculars or a telescope, the closest distance of approach of 2 m with a 50-mm aperture was assumed based upon the closest distance for clear viewing.

For the purpose of this standard, the shortest accommodation distance of the human eye is set to 100 mm at all wavelengths from 400 nm to 1 400 nm. This was chosen as a compromise, because all but a few young people and very few myopics cannot accommodate their eyes to distances of less than 100 mm. This distance may be used for the measurement of irradiance in the case of intrabeam viewing (see Table 11).

For wavelengths of less than 400 nm or more than 1 400 nm, the greatest hazard is damage to the lens or the cornea. Depending on the wavelength, optical radiation is absorbed preferentially or exclusively by the cornea or the lens (see Table D.1). For diverging-beam sources (extended or point-type) of these wavelengths, short distances between the source and the eye should be avoided.

In the wavelength range from 1 500 nm to 2 600 nm, radiation penetrates into the aqueous humour. The heating effect is therefore dissipated over a greater volume of the eye, and the MPEs are increased for exposures less than 10 s. The greatest increase in the MPEs occurs for very short pulse durations and within the wavelength range of 1 500 nm to 1 800 nm where the absorbing volume is greatest. At times greater than 10 s, heat conduction redistributes the thermal energy so that the impact of the penetration depth is no longer significant.

D.2.3 Skin hazards

In general terms, the skin can tolerate a great deal more exposure to laser beam energy than can the eye. The biological effect of irradiation of skin by lasers operating in the visible (400 nm to 700 nm) and infra-red (greater than 700 nm) spectral regions may vary from a mild erythema to severe blisters. An ashen charring is prevalent in tissues of high surface absorption following exposure to very short-pulsed, high-peak power lasers. This may not be followed by erythema.

The pigmentation, ulceration, and scarring of the skin and damage of underlying organs may occur from extremely high irradiance. Latent or cumulative effects of laser radiation have not been found prevalent. However, some limited research has suggested that under special conditions, small regions of human tissue may be sensitized by repeating local exposures with the result that the exposure level for minimal reaction is changed and the reactions in the tissues are more severe for such low-level exposure.

In the wavelength range 1 500 nm to 2 600 nm, biological threshold studies indicate that the risk of skin injury follows a similar pattern to that of the eye. For exposures up to 10 s, the MPE is increased within this spectral range.

D.3 MPEs and irradiance averaging

In this standard, the maximum permissible exposure (MPE) values recommended by the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) have been adopted. The irradiance-averaging apertures (measurement apertures) recommended by the ICNIRP were adopted, or an additional safety factor applied by IEC TC76. The determination and derivation of the AELs, although generally based upon the MPEs, necessitated a risk analysis and determination of reasonably foreseeable exposure conditions. The choice of measurement aperture played a role in the derivation of AELs and reflects both biophysical and physiological factors. In some cases, considerations of risk assessment and simplification of expression played a role. Table D.2 provides a summary of the factors assumed in the choice of measurement apertures. In general, the recommendations of ICNIRP were followed, or added safety factors applied.

Table D.2 – Explanation of measurement apertures applied to the MPEs

Spectral band λ nm	Exposure duration t	Aperture diameter mm	Comments and rationale for aperture diameter
180 to 400	$t < 3 \times 10^4$ s	1 mm	Scatter in corneal epithelium and in stratum corneum leads to 1 mm; assumption of no movement of exposed tissue for continuous exposure conditions is applied by IEC. However, ICNIRP recommends 3,5 mm for lengthy exposures due to eye movements
400 to 600 photochemical	$t > 10$ s	3 mm in derivation of MPE, but 7 mm used for measurements	Lateral motion of 3-mm diameter pupil in space to produce 7-mm aperture averaging for CW exposures applicable for photochemical injury mechanism
400 to 1 400 thermal	All t	7 mm	Diameter of dilated pupil and lateral motion in CW exposures
$\lambda > 1\,400$	$t < 0,35$ s	1 mm	Thermal diffusion in stratum corneum and epithelial tissues
$\lambda > 1\,400$	$0,35 \text{ s} \leq t < 10 \text{ s}$ $t > 10 \text{ s}$	$1,5 \times t^{3/8}$ mm 3,5 mm	Greater thermal diffusion and movement of target tissue relative to beam after 0,35 s
$10^5 \leq \lambda \leq 10^6$	All t	11 mm	Aperture to be greater than diffraction limit (i.e., approximately 10 $\times$) for accurate measurements

D.4 Reference documents

- 1 HENDERSON, R. and SCHULMEISTER, K.: *Laser Safety*, Institute of Physics Publishing, Bristol, 2003
- 2 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. 71(5): 804-819, 1996.
- 3 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, 2000.
- 4 NESS, J., ZWICK, H.A., STUCK, B.A., 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.
- 5 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.
- 6 SLINEY, D.H. and WOLBARSH, M.L.: *Safety with Lasers and Other Optical Sources*, New York, Plenum Publishing Corp., 1980.
- 7 SLINEY, D., ARON-ROSA, D., DELORI, F., et al: *Adjustment of guidance for exposure of the eye to optical radiation from ocular instruments: statement of a task group of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*, Applied Optics, 44(11), 2162-2176, 2005
- 8 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.

Annex E (informative)

MPEs and AELs expressed as radiance

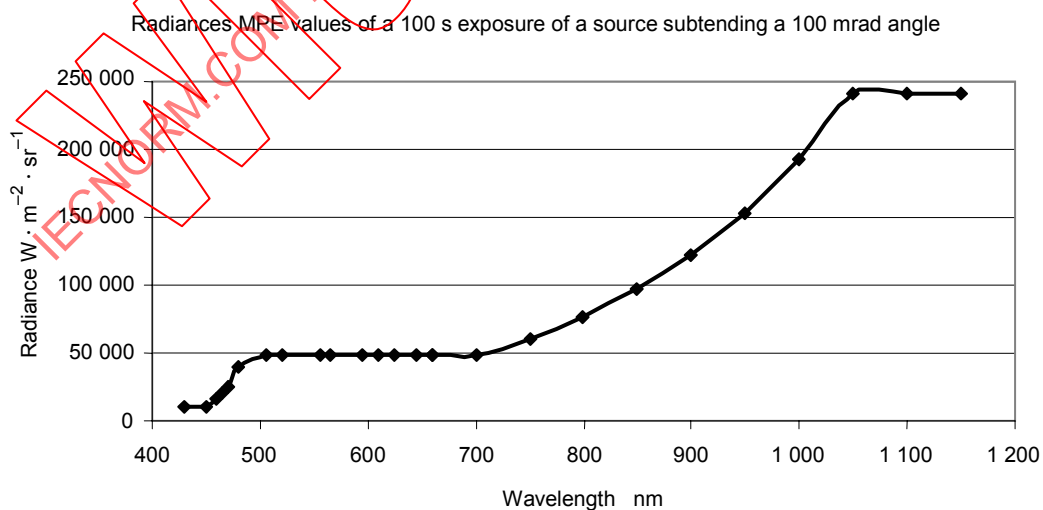
E.1 Background

For large extended sources, it may be easier to analyze potential retinal hazards by using the radiance of the source. This annex is to provide users with a single table and graphs of maximum permitted radiances based on the AELs for Class 1 and Class 1M and corresponding MPE values in the retinal hazard wavelength region of 400 nm to 1 400 nm for viewing conditions where the angular subtense of the apparent source is assumed to be larger than $\alpha_{\max}$. By the law of conservation of radiance, all extended sources that are diffused and emitting below the radiance level specified in the Table E.1 or on the Figure E.1 cannot exceed Class 1 accessible emission limits (AELs) regardless of the optics placed in front of a diffused source.

E.2 Radiance values

The radiance values in Table E.1 are based upon the IEC/ICNIRP MPE levels. As MPEs are generally expressed in terms of radiant exposure ($\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$) or irradiance ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), it was necessary to convert the MPE values to radiance ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$). The radiance values are then plotted as a function of wavelength (See Clause E.3.)

Table E.1 presents radiance permissible exposure values as a function of wavelength for a 100 s exposure duration where α subtends an angle of greater than or equal to 100 mrad. The most restrictive limits, photochemical or thermal, are listed. Retinal photochemical hazard limits are in *italics style*.



IEC 423/07

Figure E.1 – Radiance as a function of wavelength

Table E.1 – Maximum radiance of a diffused source for Class 1

Wavelength nm	Radiance W·m ⁻² ·sr ⁻¹	Radiance W·cm ⁻² ·sr ⁻¹
430	10 000	1,00
450	10 000	1,00
460	15 848	1,58
465	19 952	2,00
470	25 119	2,51
480	39 811	3,98
505	48 316	4,83
520	48 316	4,83
555	48 316	4,83
565	48 316	4,80
595	48 316	4,83
610	48 316	4,83
625	48 316	4,83
645	48 316	4,83
660	48 316	4,83
660	48 316	4,83
700	48 316	4,83
750	60 826	6,08
800	76 576	7,66
850	96 403	9,64
900	121 365	12,13
950	152 789	15,28
1 000	192 350	19,24
1 050	241 580	24,16
1 100	241 580	24,16
1 150	241 580	24,16
Figures in <i>italics</i> indicate retinal photochemical hazard limits.		

E.3 Rationale

The radiance values are calculated using IEC/ICNIRP MPE levels. As MPEs are generally expressed in terms of radiant exposure (J·m⁻²) or irradiance (W·m⁻²), it is necessary to convert the MPE values to radiance (W·m⁻²·sr⁻¹). The radiance values are then plotted as a function of wavelength.

For MPEs expressed as irradiance, the following method to calculate radiance was used. Radiance is defined as:

$$L = \frac{d\Phi}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos\theta} \quad (\text{E.1})$$

where Φ is the radiant power, Ω is a unit of solid angle, and A is the source size. MPEs are frequently expressed in terms of irradiance, which is defined as

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (\text{E.2})$$

Substituting equation E.2 into equation E.1 yields radiance as a function of irradiance:

$$L = \frac{dE}{d\Omega \cdot \cos\theta} \quad (\text{E.3})$$

We need to find the solid angle Ω and viewing angle θ . Substituting the following equation for Ω

$$\Omega = \frac{\pi\alpha^2}{4} \quad (\text{E.4})$$

and assuming the worst-case viewing angle where $\theta = 0^\circ$ (the viewer is looking directly into the beam), Equation E.3 reduces to

$$L = \frac{4E}{\pi\alpha^2} \quad (\text{E.5})$$

For MPEs expressed as radiant exposure a slightly different method was used. Radiant exposure is defined as

$$H = \frac{dQ}{dA} \quad (\text{E.6})$$

where Q is radiant energy expressed in Joules. Dividing by time yields

$$\frac{H}{dt} = \frac{dQ}{dA \cdot dt} \quad (\text{E.7})$$

As radiant power is expressed as

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad (\text{E.8})$$

equation E8 can be substituted into equation E.7, yielding

$$\frac{H}{dt} = \frac{d\Phi}{dA} \quad (\text{E.9})$$

Returning to equation E.1, we substitute equation E.9 to yield

$$L = \frac{dH}{d\Omega \cdot dt \cdot \cos\theta} \quad (\text{E10})$$

Again substituting equation E.4 and assuming the worst-case scenario of $\theta = 0^\circ$, we obtain

$$L = \frac{4H}{\pi\alpha^2 t} \quad (\text{E.11})$$

For the calculations, we assumed a worst-case scenario of a 100 mrad angular subtense for an exposure duration of 100 s. The results are listed in Table E.1 and plotted in Figure E.1.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60825-1:2007

Withd2M

Annex F (informative)

Summary tables

Table F.1 summarizes the physical quantities referred to in this Part 1, and gives the unit (and the symbol for the unit) used for each of them. The definitions of the SI base units are taken from ISO 1000. The units and symbols are taken from IEC 60027-1. Table F.2 summarizes the manufacturer's requirements.

Table F.1 – Summary of the physical quantities used in this Part 1

Quantity	Name of unit	Unit symbol	Definition
Length	metre	m	The metre is the length of the path travelled by light in vacuum during a time interval of $1/299\,792\,458$ of a second
	millimetre	mm	10^{-3} m
	micrometre	μm	10^{-6} m
	nanometre	nm	10^{-9} m
Area	square metre	m ²	1 m ²
Mass	kilogram	kg	The mass equal to the mass of the international prototype of the kilogram
Time	second	s	The duration of 9 192 631 770 periods of the radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state caesium-133 atom
Frequency	hertz	Hz	The frequency of a periodic phenomenon equal to one cycle per second
Plane angle	radian	rad	The plane angle between two radii of a circle which cut off on the circumference an arc equal in length to the radius
	milliradian	mrad	10^{-3} rad
Solid angle	steradian	sr	The solid angle which, having its vertex in the centre of a sphere, cuts off an area of the surface of the sphere equal to that of a square with sides of length equal to the radius of the sphere
Force	newton	N	$1\text{ m}\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$
Energy	joule	J	$1\text{ N}\cdot\text{m}$
Radiant exposure	joule per square metre	$\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$	$1\text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$
Integrated radiance	joule per square metre per steradian	$\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$	$1\text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$
Power	watt	W	$1\text{ J}\cdot\text{s}^{-1}$
	milliwatt	mW	10^{-3} W
Irradiance	watt per square metre	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	$1\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
Radiance	watt per square metre per steradian	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$	$1\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$
NOTE For convenience, multiples and submultiples of units have been included where appropriate.			

Table F.2 – Summary of manufacturer's requirements

Requirements subclause	Classification						
	Class 1	Class 1M	Class 2	Class 2M	Class 3R	Class 3B	Class 4
Description of hazard class Annex C	Safe under reasonably foreseeable conditions	As for Class 1 except may be hazardous if user employs optics	Low power; eye protection normally afforded by aversion responses	As for Class 2 except may be more hazardous if user employs optics	Direct intrabeam viewing may be hazardous	Direct intrabeam viewing normally hazardous	High power; diffuse reflections may be hazardous
Protective housing 4.2	Required for each laser product; limits access necessary for performance of functions of the products						
Safety interlock in protective housing 4.3	Designed to prevent removal of the panel until accessible emission values are below that for Class 3R			Designed to prevent removal of the panel until accessible emission values are below that for Class 3B or 3R for some products			
Remote Interlock 4.4	Not required			Permits easy addition of external interlock in laser installation			
Manual Reset 4.5	Not required			Requires manual reset if power interrupted or remote interlock is actuated			
Key control 4.6	Not required			Laser inoperative when key is removed			
Emission warning device 4.7	Not required			Gives audible or visible warning when laser is switched on or if capacitor bank of pulsed laser is being charged. For Class 3R, only applies if invisible radiation is emitted			
Attenuator 4.8	Not required			Gives means to temporarily block beam			
Location controls 4.9	Not required			Controls so located that there is no danger of exposure to AEL above Classes 1 or 2 when adjustments are made			
Viewing optics 4.10	Not required	Emission from all viewing systems must be below Class 1M AEL					

Table F.2 (continued)

Requirements subclause	Classification						
	Class 1	Class 1M	Class 2	Class 2M	Class 3R	Class 3B	Class 4
Scanning 4.11	Scan failure shall not cause product to exceed its classification						
Class label 5.1 to 5.6	Required wording			Figures 1 and 2 and required wording			
Aperture label 5.7		Not required		Specified wording required			
Service access label 5.9.1	Not required		Required as appropriate to the class of accessible radiation				
Override interlock label 5.9.2	Required under certain conditions as appropriate to the class of laser used						
Wavelength range label 5.10 and 5.11	Required for certain wavelength ranges						
User information 6.1	Operation manuals must contain instructions for safe use. Additional requirements apply for Class 1M and Class 2M						
Purchasing and service information 6.2	Promotion brochures must specify product classification; service manuals must contain safety information						
Medical products 7.2	Not required			For the safety of medical laser products, IEC 60601-2-22 applies			

NOTE This table is intended to provide a convenient summary of requirements. See text of this standard for complete requirements.

Annex G (informative)

Overview of associated parts of IEC 60825

The associated parts of IEC 60825 are intended for use in conjunction with the basic standard IEC 60825-1. Each part covers a defined scope and provides additional normative and informative guidance to enable the manufacturer and user to correctly classify and use the product in a safe manner by taking account of the particular conditions of use and competence/training of the operator/user. The information covered may include rationale, examples, clarification, methods, labelling, and any additional limits and requirements. See Table G.1.

Table G.1 – Overview of additional data in associated parts of IEC 60825

Part No.	Type	Description	Product designer	Product supplier	Product user	Safety critical component supplier	Test methods	Hazard assessment	Related standards
1	Standard	Equipment classification and requirements	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	
2	Standard	Safety of optical fibre communication systems (provides application notes and examples)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	
3	Technical report	Guidance for laser displays and shows	No	No	Yes	No	No	Yes	
4	Standard	Laser guards (also addresses ability of high-power lasers to remove guard material)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	
5	Technical report	Manufacturer's checklist for IEC 60825-1 (suitable for use in a safety report)	Yes	Yes	No	Yes	No	No	
6	Technical specification (withdrawn)								
7	Technical specification (withdrawn)								
8	Technical report	Guidelines for the safe use of medical laser equipment	No	No	Yes	No	No	No	IEC 60601-2-22
9	Technical report	Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation (broadband sources)	No	No	Yes	No	Yes	Yes	
10	Technical report	Laser safety application guidelines and explanatory notes	Yes	Yes	No	No	Yes	No	ISO 13694
12	Standard	Safety of free space optical communication systems used for transmission of information	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	
14	Technical report	A user's guide	No	Yes	Yes	No	No	Yes	

NOTE This table is intended to provide an indication of content – see text of the particular standard for complete requirements. Some parts listed above may be under discussion by working groups and may not be formally published.

Bibliography

IEC 60027-1, *Letter symbols to be used in electrical technology – Part 1: General*

IEC 60065, *Audio, video and similar apparatus – Safety requirements*

IEC 60079 (all parts), *Electrical apparatus for explosive gas atmospheres*

IEC 60079-0:2004, *Electrical apparatus for explosive gas atmospheres – Part 0: General requirements*

IEC 60204-1, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements*

IEC 60825-2, *Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCS)*

IEC TR 60825-3, *Safety of laser products – Part 3: Guidance for laser displays and shows*

IEC 60825-4, *Safety of laser products – Part 4: Laser guards*

IEC/TR 60825-5, *Safety of laser products – Part 5: Manufacturer's checklist for IEC 60825-1*

IEC/TR 60825-8, *Safety of laser products – Part 8: Guidelines for the safe use of laser beams on humans*

IEC/TR 60825-9, *Safety of laser products – Part 9: Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation*

IEC/TR 60825-10, *Safety of laser products – Part 10: Application guidelines and explanatory notes to IEC 60825-1*

IEC 60825-12, *Safety of laser products – Part 12: Safety of free space optical communication systems used for transmission of information*

IEC/TR 60825-13, *Safety of laser products – Part 13: Measurements for classification of laser products*

IEC/TR 60825-14, *Safety of laser products – Part 14: A user's guide*

IEC 60950 (all parts), *Information technology equipment – Safety*

IEC 61040, *Power and energy measuring detectors, instruments and equipment for laser radiation*

IEC 61508 (all parts), *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*

IEC 62115, *Electric toys – Safety*

IEC 62471:2006 (CIE S009:2002), *Photobiological safety of lamps and lamp systems*

ISO 1000, *SI units and recommendations for the use of their multiples and of certain other units*

ISO 11146-1, *Lasers and laser-related equipment – Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios – Part 1: Stigmatic and simple astigmatic beams*

IEC/ISO 11553-1, *Safety of machinery – Laser processing machines – Part 1: General safety requirements*

ISO 12100-1, *Safety of machinery – Basic concepts, general principles for design – Part 1: Basic terminology, methodology*

ISO 12100-2, *Safety of machinery – Basic concepts, general principles for design – Part 2: Technical principles*

ISO 13694, *Optics and optical instruments – Lasers and laser-related equipment – Test methods for laser beam power (energy) density distribution*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60325-1:2007

Withdr2wn

SÉCURITÉ DES APPAREILS À LASER –

Partie 1: Classification des matériels et exigences

FEUILLE D'INTERPRÉTATION 2

Cette feuille d'interprétation a été établie par le comité 76: Sécurité des rayonnements optiques et matériels lasers.

Le texte de cette feuille d'interprétation est issue des documents suivants:

ISH	Rapport de vote
76/437/ISH	76/440/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette feuille d'interprétation.

Paragraphe 8.3 f 3)

Ce paragraphe est clarifié par ce qui suit:

Introduction

Pour des durées d'impulsion plus courtes que 1 ns, l'application du critère donné en 8.3 f 3) a) (le „critère $N^{-0,25}$ “) produit des résultats trop restrictifs par rapport au critère TOTP 8.3 f 3) b).

NOTE Cette feuille d'interprétation s'applique également aux analyses EMP (paragraphe A.3 c)).

Interprétation

Dans le domaine des longueurs d'onde compris entre 400 nm et 1 400 nm, le critère TOTP (8.3 f 3) b)) peut être appliqué aux trains d'impulsions ayant des impulsions de même énergie et durée.

NOTE 1 Pour que les résultats des évaluations selon le „critère $N^{-0,25}$ “ soient équivalents à ceux du critère TOTP, le „critère $N^{-0,25}$ “ aurait dû être adopté de la manière suivante:

Les impulsions dont les durées sont inférieures à T_i ont des durées d'impulsion assignées de T_i . Si deux impulsions ou plus se produisent pendant une durée T_i , il est assigné à ces groupes d'impulsions des durées d'impulsion T_i . Le facteur de réduction C_5 s'applique à la LEA applicable à la durée T_i (c'est-à-dire $C_5 \cdot LEA(T_i)$). Si une impulsion apparaît au cours de T_i , l'énergie de cette impulsion est comparée à la LEA réduite, c'est-à-dire elle est comparée à $C_5 \cdot LEA(T_i)$. Si plusieurs impulsions apparaissent pendant T_i , la somme des énergies de ces impulsions est comparée à la LEA réduite.

NOTE 2 Au point 8.3 f 3) b), au lieu de: “Pour des largeurs d'impulsion ou des durées d'impulsion variables:”, lire: “Pour des largeurs d'impulsion ou des intervalles d'impulsion variables:”, tel que corrigé dans le Corrigendum 1.

Justification

Pour des durées et énergies d'impulsions constantes, il est recommandé que les deux critères (le critère $N^{-0,25}$ le critère TOTP) soient, comme principe général, équivalents pour toutes les durées d'impulsions, car les deux reflètent la même additivité des expositions aux impulsions multiples et les trains d'impulsions constants sont un cas particulier des trains d'impulsions non constants.

Pour des durées d'impulsions plus grandes que T_i , les critères TOTP et $N^{-0,25}$, tels que présentés dans la CEI 60825-1:2007, produisent effectivement des évaluations identiques du point de vue mathématique. Pour les trains d'impulsions dont les impulsions individuelles ont des durées plus courtes que 1 ns, le critère $N^{-0,25}$ donne un résultat différent de celui du critère TOTP parce que dans la CEI 60825-1, le critère $N^{-0,25}$ est appliqué à la LEA d'une impulsion unique (laquelle, pour des durées d'impulsions plus petites que 1 ns, est plus petite que la LEA pour T_i de 18 μ s ou 50 μ s). Comme les deux règles sont prévues pour refléter l'additivité thermique des impulsions, le critère TOTP est plus général. Les critères qui rendraient le critère $N^{-0,25}$ équivalent au critère TOTP sont présentés dans la NOTE 1 ci-dessus.

Cette instruction restera valable jusqu'à la publication d'une nouvelle version de la CEI 60825-1.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	105
1 Domaine d'application et objet.....	107
2 Références normatives.....	109
3 Termes et définitions	109
4 Spécifications techniques	122
4.1 Remarques générales	122
4.2 Capot de protection	122
4.3 Panneaux d'accès et verrouillages de sécurité	122
4.4 Connecteur de verrouillage à distance.....	123
4.5 Réinitialisation manuelle.....	123
4.6 Commande à clé	124
4.7 Avertissement d'émission de rayonnement laser	124
4.8 Arrêt de faisceau ou atténuateur	124
4.9 Commandes	124
4.10 Optiques d'observation.....	124
4.11 Sécurité de balayage.....	125
4.12 Accès «à pied».....	125
4.13 Conditions d'environnement	125
4.14 Protection contre les autres dangers	125
5 Etiquetage.....	126
5.1 Généralités.....	126
5.2 Classe 1 et classe 1M	128
5.3 Classe 2 et classe 2M	129
5.4 Classe 3R	130
5.5 Classe 3B	130
5.6 Classe 4	130
5.7 Plaque indicatrice d'ouverture	130
5.8 Informations sur le rayonnement émis et les normes	130
5.9 Plaques indicatrices pour les panneaux d'accès	131
5.10 Avertissement pour rayonnement laser invisible	132
5.11 Avertissement pour rayonnement laser visible.....	132
6 Autres exigences relatives aux renseignements à fournir.....	132
6.1 Renseignements pour l'utilisateur	132
6.2 Renseignements pour l'achat et l'entretien	134
7 Exigences additionnelles pour appareils à laser spécifiques	134
7.1 Autres parties de la série de normes CEI 60825	134
7.2 Appareils à laser médicaux	135
7.3 Machines à laser	135
7.4 Jouets électriques	135
7.5 Produits électroniques de consommation.....	135
8 Classification.....	135
8.1 Introduction	135
8.2 Responsabilités de la classification	136
8.3 Règles de classification.....	136

9	Détermination du niveau d'émission accessible	140
9.1	Essais	140
9.2	Mesure du rayonnement laser	141
9.3	Géométrie de mesure	151
	Annexe A (informative) Valeurs d'exposition maximale permise	157
	Annexe B (informative) Exemples de calculs	164
	Annexe C (informative) Description des classes et des dangers potentiellement associés	174
	Annexe D (informative) Considérations biophysiques	180
	Annexe E (informative) EMP et LEA exprimées en luminance énergétique	190
	Annexe F (informative) Tableaux récapitulatifs	194
	Annexe G (informative) Vue d'ensemble des parties associées de la CEI 60825	197
	Bibliographie	199
	Figure 1 – Plaque d'avertissement – Symbole de danger	127
	Figure 2 – Plaque indicatrice	128
	Figure 3 – Installation de mesure pour limiter l'angle d'admission par formation de l'image de la source apparente sur le plan du diaphragme de champ	153
	Figure 4 – Installation de mesure pour limiter l'angle d'admission en plaçant une ouverture circulaire ou un masque (servant de diaphragme de champ) près de la source apparente	154
	Figure 5 – Installation expérimentale pour la détermination de l'émission accessible (au-dessus) et du diamètre apparent de la source apparente (en dessous) pour la condition 2 lorsqu'une source étendue doit être prise en compte (c'est-à-dire en n'utilisant pas l'évaluation simplifiée par défaut)	155
	Figure B.1 – Organigramme pour la classification des appareils à laser à partir des paramètres de sortie fournis	166
	Figure B.2 – Organigramme pour la classification des appareils à laser de classe 1M et de classe 2M	168
	Figure B.3 – LEA pour des appareils à laser à ultraviolet de classe 1 pour des durées d'émission choisies de 10^{-9} s à 10^3 s	169
	Figure B.4 – LEA pour des appareils à laser à ultraviolet de classe 1 pour des durées d'émission de 10^{-9} s à 10^3 s à des longueurs d'ondes choisies	169
	Figure B.5 – LEA pour des appareils à laser de classe 1 dans le domaine visible et pour certaines longueurs d'ondes du domaine infrarouge (cas $C_6 = 1$)	170
	Figure D.1 – Anatomie de l'œil	180
	Figure D.2 – Schéma des lésions produites par le laser dans les systèmes biologiques	182
	Figure E.1 – Luminance énergétique en fonction de la longueur d'onde	190

Tableau 1 – Exigences pour les verrouillages de sécurité	123
Tableau 2 – Additivité des effets sur l'œil et sur la peau de rayonnements de domaines spectraux différents	137
Tableau 3 – Temps en dessous desquels les groupes d'impulsions sont additionnés	140
Tableau 4 – Limites d'émission accessible pour les appareils à laser des classes 1 et 1M et $C_6 = 1$	144
Tableau 5 – Limites d'émission accessible pour les appareils à laser de classe 1 dans la gamme de longueurs d'ondes de 400 nm à 1 400 nm (domaine spectral de danger rétinien): sources étendues	145
Tableau 6 – Limites d'émission accessible pour les appareils à laser des classes 2 et 2M	146
Tableau 7 – Limites d'émission accessible pour les appareils à laser de classe 3R et $C_6 = 1$	147
Tableau 8 – Limites d'émission accessible pour les appareils à laser de classe 3R dans la gamme de longueurs d'ondes de 400 nm à 1 400 nm (domaine spectral de danger rétinien): sources étendues	148
Tableau 9 – Limites d'émission accessible pour les appareils à laser de classe 3B	149
Tableau 10 – Facteurs de correction et valeurs de transition utilisés dans les évaluations des LEA et des EMP	150
Tableau 11 – Diamètres d'ouverture de mesure et distances de mesure pour l'évaluation par défaut (simplifiée)	152
Tableau 12 – Points de référence	152
Tableau 13 – Angle d'admission limite γ_{ph}	155
Tableau A.1 – Exposition maximale permise (EMP) pour $C_6 = 1$ au niveau de la cornée pour l'exposition au rayonnement laser	158
Tableau A.2 – Exposition maximale permise (EMP) au niveau de la cornée pour l'exposition au rayonnement laser de sources étendues dans la gamme des longueurs d'ondes de 400 nm à 1 400 nm (domaine spectral de danger rétinien)	159
Tableau A.3 – Exposition maximale permise (EMP) de la peau au rayonnement laser	160
Tableau A.4 – Diamètres des ouvertures pour la mesure des éclairagements et expositions énergétiques du laser	160
Tableau D.1 – Résumé des effets pathologiques associés à une exposition excessive à la lumière	184
Tableau D.2 – Explication des ouvertures de mesure appliquées aux EMP	188
Tableau E.1 – Luminance énergétique maximale d'une source diffuse pour la classe 1	191
Tableau F.1 – Liste des grandeurs physiques utilisées dans la présente Partie 1	194
Tableau F.2 – Résumé des exigences du fabricant	195
Tableau G.1 – Vue d'ensemble des données complémentaires dans les différentes parties associées de la CEI 60825	198

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SÉCURITÉ DES APPAREILS À LASER –

Partie 1: Classification des matériels et exigences

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés «Publication(s) de la CEI»). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60825-1 a été établie par le comité d'études 76 de la CEI: Sécurité des rayonnements optiques et matériels lasers.

Cette deuxième édition de la CEI 60825-1 annule et remplace la première édition parue en 1993, l'Amendement 1 (1997) et l'Amendement 2 (2001). Elle constitue une révision technique. Le guide de l'utilisateur a été retiré de cette partie de la série CEI 60825 et représente maintenant un document séparé (Partie 14). Les diodes électroluminescentes (DEL) ont été retirées du domaine d'application de cette partie de la série CEI 60825, mais elles peuvent toujours être introduites dans les autres parties.

La CEI 60825-1 a le statut d'une publication groupée de sécurité, conformément au Guide CEI 104¹⁾, pour ce qui concerne les aspects du rayonnement laser relatifs à la sécurité des personnes.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
76/338/CDV	76/357/RVC

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60825, présentées sous le titre général *Sécurité des appareils à laser*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

La présente partie de la CEI 60825 est également appelée «Partie 1» dans la présente publication.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

Le contenu du corrigendum d'août 2008 a été pris en considération dans cet exemplaire.

1) Guide CEI 104:1997, *Elaboration des publications de sécurité et utilisation des publications fondamentales de sécurité et publications groupées de sécurité*
Il constitue un guide pour les comités d'études de la CEI et les rédacteurs de spécifications, concernant la manière dont il convient de rédiger les publications de sécurité.
Ce guide ne constitue pas une référence normative et la référence qui y est faite est donnée uniquement à titre d'information.

SÉCURITÉ DES APPAREILS À LASER –

Partie 1: Classification des matériels et exigences

1 Domaine d'application et objet

La CEI 60825-1 s'applique à la sécurité des appareils à laser émettant un rayonnement laser dans la gamme des longueurs d'ondes de 180 nm à 1 mm.

Un appareil à laser peut se composer d'un seul laser avec ou sans dispositif d'alimentation séparé, ou bien il peut comporter un ou plusieurs lasers dans un système complexe optique, électrique ou mécanique. Les appareils à laser sont généralement utilisés pour la démonstration des phénomènes physiques et optiques, le travail des matériaux, la lecture et le stockage des données, la transmission et la visualisation de l'information, etc. De tels systèmes sont utilisés dans l'industrie, le commerce, le spectacle, la recherche, l'enseignement, la médecine et les produits de consommation.

Les appareils à laser qui sont vendus à d'autres fabricants pour être utilisés en tant que composants d'un matériel quelconque destiné à une vente ultérieure ne sont pas soumis à la CEI 60825-1, étant donné que l'appareil final sera lui-même soumis à cette norme. Cependant, si le système à laser dans l'appareil à laser est utilisable lorsqu'il est ôté de ce matériel, les exigences de cette Partie 1 s'appliquent à ce système amovible.

NOTE 1 La mise en fonctionnement d'un matériel ne nécessite pas d'outil.

Tout appareil à laser est exempt de toutes les exigences supplémentaires de la présente Partie 1, si la classification par le fabricant de cet appareil conformément aux Articles 3, 8 et 9 montre que le niveau d'émission ne dépasse pas les LEA (limite d'émission accessible) de la classe 1 dans toutes les conditions de fonctionnement, de maintenance, d'entretien et de défaillance.

NOTE 2 L'exemption ci-dessus consiste à s'assurer que les appareils à laser à sécurité intrinsèque ne sont pas inutilement soumis à la norme.

En complément des dangers associés au rayonnement laser, les matériels laser peuvent éventuellement présenter aussi d'autres dangers tels qu'un danger d'incendie ou un choc électrique.

NOTE 3 Cependant, la classification et les autres exigences de la présente norme sont destinées à traiter uniquement les dangers du rayonnement laser pour les yeux et la peau. Les autres dangers ne sont pas compris dans son domaine d'application.

La présente Partie 1 décrit les exigences minimales. La conformité à cette Partie 1 peut ne pas être suffisante pour obtenir le niveau requis de sécurité de l'appareil. Il faut que les appareils à laser soient conformes aux exigences de performance et d'essais applicables des normes de sécurité de produits applicables.

NOTE 4 D'autres normes peuvent contenir des exigences supplémentaires. Il convient également de tenir compte de l'application prévue et du groupe d'utilisateurs. Par exemple, un appareil à laser de classe 3B ou de classe 4 peut ne pas convenir à une utilisation comme produit de consommation.

Lorsqu'un système à laser constitue une partie d'un matériel qui est soumis à une autre norme CEI de sécurité de produit (par exemple appareils médicaux (CEI 60601-2-22), matériels de traitement de l'information (CEI 60950), matériels audio et vidéo (CEI 60065), matériels pour utilisation en atmosphères dangereuses (CEI 60079), ou jouets électriques (CEI 62115)), la présente Partie 1 sera appliquée, conformément aux dispositions du Guide CEI 104²⁾, pour les dangers associés au rayonnement laser. Si aucune norme de sécurité de produit n'est applicable, la CEI 61010-1 s'applique.

Dans les éditions précédentes, les DEL étaient comprises dans le domaine d'application de la CEI 60825-1, et elles peuvent être encore incluses dans les autres parties de la série CEI 60825. Cependant, avec le développement des normes de sécurité pour les lampes, la sécurité des rayonnements optiques des DEL en général peut être traitée de façon plus appropriée par les normes de sécurité pour les lampes. Le retrait des DEL du domaine d'application de la présente Partie 1 n'empêche pas que les autres normes traitent des DEL, à chaque fois qu'elles se rapportent aux lasers. La CIE S009 peut être appliquée pour déterminer la classe du groupe de risque d'une DEL ou d'un appareil comportant une ou plusieurs DEL.

Les valeurs des EMP (expositions maximales permises) données dans cette Partie 1 ont été établies pour le rayonnement laser et ne s'appliquent pas au rayonnement connexe. Cependant, s'il demeure une inquiétude concernant le danger d'un rayonnement connexe, les valeurs des EMP pour les lasers peuvent être appliquées pour minimiser ce danger potentiel.

Les valeurs des EMP ne sont pas applicables à l'exposition intentionnelle d'une personne au rayonnement laser dans le but d'un traitement médical ou cosmétique/esthétique.

NOTE 5 Les Annexes A à H ont été incluses afin de fournir des lignes directrices générales illustrées de plusieurs cas pratiques. Cependant, les annexes ne sont pas considérées comme définitives ou exhaustives et il convient de toujours faire référence à l'article ou aux articles appropriés de la partie normative du présent document.

La présente partie de la CEI 60825 répond aux objectifs définis ci-dessous:

- introduire un système de classification des lasers et des appareils à laser selon leur degré de danger de rayonnement optique, afin de faciliter l'évaluation des dangers et la détermination des mesures de contrôle des utilisateurs;
- établir des exigences pour que le fabricant fournisse des informations, de telle sorte que des précautions adéquates puissent être adoptées;
- assurer aux personnes, par des étiquetages et des instructions, une mise en garde appropriée contre les dangers associés au rayonnement accessible des appareils à laser;
- diminuer la possibilité d'accident en réduisant au minimum le rayonnement accessible non utile, et procurer un meilleur contrôle des dangers liés au rayonnement laser par des procédures de protection.

2) Guide CEI 104:1997, *Elaboration des publications de sécurité et utilisation des publications fondamentales de sécurité et publications groupées de sécurité*

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60050-845:1987, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 845: Éclairage*

CEI 60601-2-22, *Appareils électromédicaux – Partie 2: Règles particulières de sécurité pour les appareils thérapeutiques et de diagnostic à laser*

CEI 61010-1, *Règles de sécurité pour appareils électriques de mesurage, de régulation et de laboratoire – Partie 1: Prescriptions générales*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les définitions de la CEI 60050-845, ainsi que les suivantes s'appliquent.

NOTE Des divergences par rapport à la CEI 60050-845 sont voulues et signalées. Dans ce cas, il est fait référence à la définition de la Partie 845 de la CEI 60050, avec la mention «modifiée» entre crochets, après la définition.

3.1

panneau d'accès

partie du capot ou de l'enceinte de protection qui permet l'accès au rayonnement laser lorsqu'elle est retirée ou déplacée

3.2

émission accessible

niveau de rayonnement déterminé en un point et avec des diaphragmes (lorsque la LEA est donnée en Watts ou en Joules) ou des ouvertures délimitantes (lorsque la LEA est donnée en $W \cdot m^{-2}$ ou $J \cdot m^{-2}$), tel que décrit à l'Article 9

L'émission accessible est déterminée lorsque l'accès de personnes est pris en compte, tel que spécifié à la Définition 3.37. L'émission accessible est comparée à la limite d'émission accessible (Définition 3.3), afin de déterminer la classe de l'appareil à laser. Dans le corps de la norme, chaque fois que le terme «niveau d'émission» est utilisé, il faut le comprendre comme émission accessible.

NOTE Lorsque le diamètre du faisceau est supérieur au diaphragme, l'émission accessible, lorsqu'elle est donnée en Watts ou en Joules, est inférieure à la puissance ou à l'énergie totale émise par l'appareil à laser. Lorsque le diamètre du faisceau est inférieur au diamètre de l'ouverture délimitante, l'émission accessible, lorsqu'elle est donnée en $W \cdot m^{-2}$ ou en $J \cdot m^{-2}$, c'est-à-dire comme éclairement énergétique ou exposition énergétique moyenné(e) sur l'ouverture délimitante, est inférieure à l'éclairement énergétique ou à l'exposition énergétique réel(le) du faisceau. Voir aussi diaphragme (3.9) et ouverture délimitante (3.52).

3.3

limite d'émission accessible

LEA

émission maximale accessible permise dans une classe particulière

NOTE Chaque fois que le texte se rapporte au «niveau d'émission ne dépassant pas la LEA» ou un libellé similaire, il est implicite que l'émission accessible est déterminée à la suite des critères de mesure spécifiés à l'Article 9.

3.4

moyens de contrôle administratif

mesures de sécurité d'un type non technique, telles que: supervision par clé, entraînement du personnel dans le domaine de la sécurité, notes de mise en garde, procédures de compte à rebours et contrôles par zone de sécurité

3.5

alpha min

$\alpha_{\min}$

voir diamètre apparent et diamètre apparent minimal (voir 3.7 et 3.58)

3.6

angle d'admission

angle plan dans lequel un détecteur répondra à un rayonnement optique, habituellement mesuré en radians

Cet angle d'admission peut être contrôlé par des ouvertures ou des éléments optiques devant le détecteur (voir Figures 3 et 4). L'angle d'admission est parfois désigné également sous le nom de champ visuel.

Symbole: γ

3.7

diamètre apparent de la source apparente

α

angle sous-tendu par une source apparente, comme si elle était vue en un point de l'espace, comme représenté à la Figure 3

NOTE 1 L'emplacement et le diamètre apparent de la source apparente dépendent de la position de visualisation dans le faisceau (voir 3.11).

NOTE 2 Le diamètre apparent d'une source apparente n'est applicable, dans cette Partie 1, que dans la gamme des longueurs d'ondes de 400 nm à 1 400 nm, le domaine spectral de danger rétinien.

NOTE 3 Il convient de ne pas confondre le diamètre apparent de la source avec la divergence du faisceau. Le diamètre apparent de la source ne peut pas être supérieur à la divergence du faisceau, mais il est généralement inférieur à la divergence du faisceau.

3.8

ouverture

tout orifice dans le capot de protection ou dans une autre enceinte d'un appareil à laser, à travers lequel est émis un rayonnement laser permettant ainsi l'accès de personnes à un tel rayonnement

Voir aussi ouverture délimitante (3.52).

3.9

diaphragme

ouverture servant à définir la surface sur laquelle le rayonnement est mesuré

3.10

source apparente

pour un emplacement d'évaluation donné du danger pour la rétine, objet réel ou virtuel qui forme la plus petite image rétinienne possible (en tenant compte de la plage d'accommodation de l'œil humain)

NOTE 1 On suppose que la plage d'accommodation de l'œil varie de 100 mm à l'infini. L'emplacement de la source apparente pour une position de visualisation donnée dans le faisceau est l'emplacement auquel l'œil s'accommode pour produire la condition d'éclairement énergétique rétinien la plus dangereuse.

NOTE 2 Cette définition est utilisée pour déterminer, pour une position d'évaluation donnée, l'emplacement de l'origine apparente du rayonnement laser dans la gamme de longueurs d'ondes de 400 nm à 1 400 nm. Dans la limite de la divergence de fuite, c'est-à-dire dans le cas d'un faisceau bien collimaté, l'emplacement de la source apparente tend vers l'infini.

3.11**faisceau**

rayonnement laser pouvant être caractérisé par des spécifications de direction, de divergence, de diamètre ou de balayage

Le rayonnement diffus d'une réflexion non spéculaire n'est pas considéré comme un faisceau.

3.12**atténuateur de faisceau**

dispositif qui réduit le rayonnement laser à une valeur inférieure ou égale à un niveau déterminé

3.13**diamètre d'un faisceau****largeur du faisceau**

le diamètre d'un faisceau d_u en une position dans l'espace est le diamètre du plus petit cercle qui contient u % de la puissance totale du laser (ou de l'énergie)

Pour les besoins de cette norme, d_{63} est utilisé.

NOTE 1 Dans le cas d'un faisceau gaussien, d_{63} correspond aux points où l'éclairement énergétique (ou l'exposition énergétique) tombe à 1/e de sa valeur centrale maximale.

NOTE 2 La définition du diamètre du moment de second ordre (définie dans l'ISO 11146-1) n'est pas utilisée pour les profils de faisceaux avec des crêtes d'éclairement énergétique élevé centrales et un fond de faible niveau, tels que ceux qui sont produits par des résonateurs instables dans le champ lointain: la puissance qui traverse une ouverture peut être sous-estimée de façon significative en utilisant le moment de second ordre et en calculant la puissance avec l'hypothèse d'un profil de faisceau gaussien.

3.14**divergence du faisceau**

angle en champ lointain du cône défini par les diamètres du faisceau

Si les diamètres du faisceau (voir 3.13) en deux points séparés d'une distance r sont d_{63} et d'_{63} , la divergence de faisceau est donnée par:

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

Unité SI: radian

NOTE La définition de la divergence du moment de second ordre (ISO 11146-1) n'est pas utilisée pour les profils de faisceaux avec des crêtes d'éclairement énergétique élevé centrales et un fond de faible niveau, tels que ceux qui sont produits par des résonateurs instables dans le champ lointain, ou des profils de faisceaux qui présentent des spectres de diffraction provoqués par les ouvertures.

3.15**système optique afocal**

combinaison d'éléments optiques destinés à augmenter le diamètre d'un faisceau laser

3.16**composant du trajet du faisceau**

composant optique qui contribue à définir le trajet du faisceau (par exemple un miroir d'orientation du faisceau ou une lentille de focalisation)

3.17**arrêt de faisceau**

dispositif qui interrompt le trajet d'un faisceau laser

3.18**appareil à laser de classe 1**

tout appareil à laser qui, au cours de son fonctionnement, ne permet pas l'accès de personnes à un rayonnement laser accessible excédant les limites d'émission accessible de la classe 1 pour les longueurs d'ondes et les durées d'émission applicables (voir 8.2 et 8.3 e))

NOTE 1 Voir aussi les limites du système de classification à l'Annexe C.

NOTE 2 Dans la mesure où les essais pour la détermination de la classification de l'appareil sont limités aux essais au cours du fonctionnement, il peut arriver pour les appareils avec laser incorporé qu'en fonction de l'appareil, un rayonnement au-dessus de la LEA de la classe 1 devienne accessible au cours de la maintenance lorsque les verrouillages des panneaux d'accès sont neutralisés.

3.19

appareil à laser de classe 1M

tout appareil à laser dans la gamme des longueurs d'ondes de 302,5 nm à 4 000 nm qui, au cours de son fonctionnement, ne permet pas l'accès de personnes à un rayonnement laser accessible excédant les limites d'émission accessible de la classe 1, pour des longueurs d'ondes et des durées d'émission applicables (voir 8.3 e)), où le niveau du rayonnement est mesuré selon 9.2 g)

NOTE 1 Voir aussi les limites du système de classification à l'Annexe C.

NOTE 2 Etant donné que l'évaluation se fait avec une ouverture de mesure plus petite ou à une distance de la source apparente plus grande que celles utilisées pour les appareils à laser de classe 1, la sortie d'un appareil à laser de classe 1M est donc potentiellement dangereuse lorsqu'elle est observée en utilisant un instrument optique (voir 8.2).

NOTE 3 Dans la mesure où les essais pour la détermination de la classification de l'appareil sont limités aux essais au cours du fonctionnement, il peut arriver pour les appareils avec laser incorporé qu'en fonction de l'appareil, un rayonnement au-dessus de la LEA de la classe 1M devienne accessible au cours de la maintenance lorsque les verrouillages des panneaux d'accès sont neutralisés.

3.20

appareil à laser de classe 2

tout appareil à laser dans la gamme des longueurs d'ondes de 400 nm à 700 nm qui, au cours de son fonctionnement, ne permet pas l'accès de personnes à un rayonnement laser accessible excédant les limites d'émission accessible de la classe 2 pour les longueurs d'ondes et les durées d'émission applicables (voir 8.2 et 8.3 e))

NOTE 1 Voir aussi les limites du système de classification à l'Annexe C.

NOTE 2 Dans la mesure où les essais pour la détermination de la classification de l'appareil sont limités aux essais au cours du fonctionnement, il peut arriver pour les appareils avec laser incorporé qu'en fonction de l'appareil, un rayonnement au-dessus de la LEA de la classe 2 devienne accessible au cours de la maintenance lorsque les verrouillages des panneaux d'accès sont neutralisés.

3.21

appareil à laser de classe 2M

tout appareil à laser dans la gamme des longueurs d'ondes de 400 nm à 700 nm qui, au cours de son fonctionnement, ne permet pas l'accès de personnes à un rayonnement laser accessible excédant les limites d'émission accessible de la classe 2, pour des longueurs d'ondes et des durées d'émission applicables (voir 8.3 e)), où le niveau du rayonnement est mesuré selon 9.2 h)

NOTE 1 Voir aussi les limites du système de classification à l'Annexe C.

NOTE 2 Etant donné que l'évaluation se fait avec une ouverture de mesure plus petite ou à une plus grande distance de la source apparente que celles utilisées pour les appareils à laser de classe 2, la sortie d'un appareil à laser de classe 2M est donc potentiellement dangereuse lorsqu'elle est observée en utilisant un instrument optique (voir 8.2).

NOTE 3 Dans la mesure où les essais pour la détermination de la classification de l'appareil sont limités aux essais au cours du fonctionnement, il peut arriver pour les appareils avec laser incorporé qu'en fonction de l'appareil, un rayonnement au-dessus de la LEA de la classe 2M devienne accessible au cours de la maintenance lorsque les verrouillages des panneaux d'accès sont neutralisés.

3.22

appareils à laser des classes 3R et 3B

tout appareil à laser qui, au cours de son fonctionnement, permet l'accès de personnes à un rayonnement laser excédant les limites d'émission accessible de la classe 1 et de la classe 2, suivant le cas, mais qui, cependant, ne permet pas l'accès de personnes au rayonnement laser excédant les limites d'émission accessible des classes 3R et 3B (respectivement) pour toute durée d'émission et longueur d'onde (voir 8.2)

NOTE 1 Voir aussi les limites du système de classification à l'Annexe C.

NOTE 2 Les appareils à laser des classes 1M et 2M peuvent avoir des sorties au-dessus ou en dessous de la LEA de classe 3R, en fonction de leurs caractéristiques optiques.

3.23**appareil à laser de classe 4**

tout appareil à laser permettant l'accès de personnes à un rayonnement laser excédant les limites d'émission accessible de la classe 3B (voir 8.2)

3.24**rayonnement connexe**

tout rayonnement électromagnétique dans la gamme de longueurs d'ondes de 180 nm à 1 mm, excepté le rayonnement laser émis par un appareil à laser comme résultat du fonctionnement d'un laser, ou physiquement nécessaire à ce fonctionnement

3.25**faisceau collimaté**

faisceau de rayonnement à très faible divergence ou convergence angulaire

3.26**émission continue****CW; en anglais *continuous wave***

dans la présente Partie 1, un laser émettant de façon continue pendant une durée supérieure ou égale à 0,25 s est considéré comme un laser à émission continue

3.27**trajet défini du faisceau**

trajet prévu du faisceau laser dans l'appareil à laser

3.28**appareil à laser de démonstration**

tout appareil à laser conçu, fabriqué, prévu ou diffusé pour les besoins de démonstration, spectacle, publicité, visualisation ou composition artistique

L'expression «appareil à laser de démonstration» ne s'applique pas aux appareils à laser qui ont été conçus pour et destinés à d'autres applications, bien qu'ils puissent être utilisés pour la démonstration de ces applications.

3.29**réflexion diffuse**

changement de la répartition spatiale d'un faisceau de rayonnement lorsqu'il est diffusé dans plusieurs directions par une surface ou un milieu

Un diffuseur parfait détruit toute corrélation entre les directions des rayonnements incidents et émergents.

[VEI 845-04-47, modifiée]

3.30**appareil avec laser incorporé**

dans la présente Partie 1, appareil à laser auquel on a assigné une classe inférieure à celle dont le laser intégré serait justiciable, du fait de dispositifs techniques limitant les émissions accessibles

NOTE Le laser intégré dans l'appareil à laser incorporé est nommé «laser incorporé».

3.31**durée d'émission**

durée d'une impulsion, d'un train ou d'une série d'impulsions ou d'un fonctionnement continu, pendant laquelle l'accès de personnes à un rayonnement laser pourrait survenir en cours d'utilisation, de maintenance ou d'entretien d'un appareil à laser

Pour une impulsion unique, il s'agit de la durée entre le point de puissance de mi-crête du front montant et le point correspondant du front descendant. Pour ce qui concerne un train d'impulsions (ou des sous-sections d'un train d'impulsions), c'est la durée entre le premier point de puissance de mi-crête de l'impulsion montante et le dernier point de puissance de mi-crête de l'impulsion descendante.

3.32

rayonnement laser erratique

rayonnement laser qui dévie d'un trajet défini du faisceau

Un tel rayonnement inclut les réflexions imprévues par des composants du trajet du faisceau et les rayonnements déviés par des composants désalignés ou endommagés.

3.33

durée d'exposition

durée d'une impulsion, d'une série ou d'un train d'impulsions ou d'une émission continue du rayonnement laser reçu par le corps humain

Pour ce qui concerne un train d'impulsions, c'est la durée entre le premier point de puissance de mi-crête de l'impulsion montante et le dernier point de puissance de mi-crête de l'impulsion descendante.

3.34

vision d'une source étendue

condition de vision par laquelle la source apparente à une distance de 100 mm ou plus est vue par l'observateur sous un angle supérieur au diamètre apparent minimal ($\alpha_{\min}$)

Deux conditions de source étendue sont considérées dans cette norme quant aux dangers de lésions thermiques de la rétine: source moyenne et grande source. Elles sont utilisées pour distinguer les sources avec des diamètres apparents de la source apparente, α , entre $\alpha_{\min}$ et $\alpha_{\max}$ (sources moyennes), et supérieurs à $\alpha_{\max}$ (grandes sources). (Voir également 3.80).

Citons comme exemple la vision de sources laser diffuses, de réflexions diffuses et de réseaux de diodes laser.

3.35

système à sécurité positive

système conçu de façon que le défaut d'un composant n'accroît pas le danger

En cas de défaut, le système est rendu inopérant ou sans danger.

3.36

verrouillage à sécurité positive

verrouillage qui, en cas de défaut, ne rend pas inopérante l'action prévue, par exemple un verrouillage qui est mis dans la position arrêt aussitôt qu'un capot monté sur charnière commence à s'ouvrir, ou avant qu'un capot amovible ne soit enlevé, et qui est positivement maintenu dans la position arrêt jusqu'à ce que le capot monté sur charnière ou que le capot amovible soit verrouillé en position fermée

3.37

accès de personnes

- a) capacité du corps humain à intercepter le rayonnement laser émis par l'appareil à laser, c'est-à-dire le rayonnement qui peut être intercepté à l'extérieur du capot de protection, ou
- b) capacité d'une sonde cylindrique de 100 mm de diamètre et 100 mm de longueur à intercepter des niveaux de rayonnement de classe 3B et en dessous, ou
- c) capacité d'une main ou d'un bras à intercepter des niveaux de rayonnement au-dessus de la LEA de classe 3B,

- d) de même, pour les niveaux de rayonnement à l'intérieur d'une enceinte de protection qui sont équivalents à la classe 3B ou à la classe 4, capacité pour une partie du corps humain à intercepter un rayonnement laser dangereux pouvant être directement réfléchi par toute surface plate introduite dans tout orifice de l'enceinte de l'appareil

NOTE Pour les appareils à laser qui prévoient un accès à pied, il est nécessaire de prendre en compte le rayonnement à l'intérieur et à l'extérieur du capot de protection pour la détermination de l'accès de personnes. L'accès de personnes à l'intérieur du capot de protection peut être empêché par des moyens de contrôle techniques tels que des systèmes de détection automatiques.

3.38

luminance intégrée

intégrale de la luminance pendant une durée d'exposition déterminée, exprimée en énergie rayonnante par unité de surface d'une surface émissive et par unité d'angle solide de l'émission

(exprimée couramment en $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$)

3.39

vision dans le faisceau

toutes les conditions d'observation dans lesquelles l'œil est exposé au faisceau laser, soit directement, soit par réflexion spéculaire, par opposition à l'observation, par exemple, de réflexions diffuses

3.40

éclairage énergétique

quotient du flux énergétique $d\Phi$ reçu par un élément de la surface contenant le point, par la surface dA de cet élément

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

Symbole: E

Unité SI: watt par mètre carré ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

3.41

laser

tout dispositif que l'on peut réaliser pour produire ou amplifier un rayonnement électromagnétique compris dans la gamme de longueurs d'ondes de 180 nm à 1 mm, essentiellement par le phénomène d'émission stimulée contrôlée

[VEI 845-04-39, modifiée]

3.42

zone laser contrôlée

zone où la présence et l'activité des personnes qui s'y trouvent sont soumises à un contrôle et à une surveillance en vue de la protection contre les dangers du rayonnement

3.43

alimentation laser

tout dispositif conçu pour être utilisé en liaison avec un laser afin de fournir de l'énergie pour l'excitation d'électrons, d'ions ou de molécules

Des sources d'énergie d'utilisation générale telles qu'un réseau d'alimentation électrique ou des batteries ne sont pas considérées comme constituant des alimentations laser.

3.44

zone de risque laser

voir zone nominale de risque oculaire (3.61)

3.45

appareil à laser

tout appareil ou toute combinaison de composants qui constitue, incorpore ou est destiné(e) à incorporer un laser ou un système à laser

3.46

rayonnement laser

tout rayonnement électromagnétique émis par un appareil à laser compris dans la gamme de longueurs d'ondes de 180 nm à 1 mm, produit par l'émission stimulée

3.47

responsable de sécurité laser

personne possédant les connaissances nécessaires pour évaluer et contrôler les dangers présentés par les lasers et qui est responsable de la supervision du contrôle de ces dangers

3.48

système à laser

laser associé à une alimentation laser appropriée avec ou sans composants supplémentaires incorporés

3.49

diode électroluminescente

DEL

tout dispositif semi-conducteur à jonction p-n qui peut produire un rayonnement électromagnétique par recombinaison directe dans le semi-conducteur, dans la gamme de longueurs d'ondes de 180 nm à 1 mm

(Le rayonnement optique est produit principalement par le processus d'émission spontanée, bien qu'il puisse y avoir une certaine émission stimulée.)

3.50

angle d'admission limite pour évaluer les dangers photochimiques pour la rétine

pour l'évaluation du danger photochimique pour la rétine, un angle d'admission de mesure limite, γ_{ph} , est spécifié. L'angle γ_{ph} est lié aux mouvements de l'œil et ne dépend pas du diamètre apparent de la source. Si le diamètre apparent de la source est supérieur à l'angle d'admission limite spécifié γ_{ph} , l'angle d'admission γ est limité à γ_{ph} et la source est balayée pour déterminer les «points chauds». Si l'angle d'admission de mesure γ n'est pas limité au niveau spécifié, le danger peut être surestimé

NOTE Si le diamètre apparent de la source apparente est inférieur à l'angle d'admission limite spécifié, l'angle d'admission de mesure réel n'affecte pas la mesure et il n'est pas nécessaire qu'il soit limité, c'est-à-dire qu'un montage de radiomètre à angle d'admission «ouvert» régulier peut être utilisé.

Symbole: γ_{ph}

3.51

angle d'admission limite pour évaluer les dangers thermiques

diamètre apparent maximal à utiliser pour l'évaluation du danger thermique pour la rétine

La valeur de l'angle d'admission γ peut varier entre α_{min} et α_{max} (voir 8.3 d); 9.3.2 b) 2)).

Symbole: γ_{th}

3.52

ouverture délimitante

surface circulaire sur laquelle la moyenne d'un éclairement ou d'une exposition énergétique est établie

3.53**maintenance**

exécution des réglages et procédures spécifiés dans les instructions à l'usage de l'utilisateur fournies par le fabricant avec l'appareil à laser, qui doivent être exécutés par l'utilisateur pour assurer le fonctionnement normal de l'appareil

Cela ne comprend pas l'utilisation normale ni l'entretien.

3.54**diamètre apparent maximal** **$\alpha_{\max}$**

valeur du diamètre apparent de la source apparente au-dessus de laquelle les EMP et les LEA sont indépendantes de la dimension de la source

NOTE $\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$

3.55**émission maximale**

valeur maximale de la puissance rayonnante et, éventuellement, valeur maximale de l'énergie rayonnante par impulsion du rayonnement laser total accessible émis dans une direction quelconque par un appareil à laser dans le domaine total de ses possibilités opérationnelles à n'importe quel moment après sa réalisation

NOTE L'émission maximale est l'émission accessible maximale qui est utilisée pour déterminer la classe de l'appareil à laser. Etant donné que la détermination de l'émission accessible comprend, en plus d'autres conditions, la prise en compte des conditions de premier défaut (voir 9.2), l'émission maximale peut dépasser l'émission la plus élevée au cours d'un fonctionnement normal.

3.56**exposition maximale permise****EMP**

niveau du rayonnement laser auquel des personnes peuvent être exposées dans les conditions normales sans subir des effets nuisibles

Les niveaux d'EMP représentent le niveau maximal auquel l'œil ou la peau peut être exposé(e) sans subir un dommage consécutif immédiatement ou après une longue durée; ces niveaux sont en rapport avec la longueur d'onde du rayonnement laser, la durée d'impulsion ou la durée d'exposition, le tissu exposé et, en ce qui concerne le rayonnement laser visible et le proche infrarouge dans le domaine 400 nm à 1 400 nm, avec la dimension de l'image rétinienne. Les niveaux d'exposition maximale permise sont spécifiés à l'Annexe A (dans l'état actuel des connaissances).

3.57**appareil à laser médical**

tout appareil à laser conçu, fabriqué, prévu ou diffusé dans le but d'irradier une partie quelconque du corps humain à des fins de diagnostic *in vivo*, chirurgicales ou thérapeutiques

3.58**diamètre apparent minimal** **$\alpha_{\min}$**

valeur du diamètre apparent de la source apparente au-dessus de laquelle une source est considérée comme une source étendue

Les EMP et les LEA sont indépendantes de la dimension de la source pour les diamètres apparents inférieurs à $\alpha_{\min}$.

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

3.59**blocage de mode**

mécanisme ou phénomène régulier, à l'intérieur du résonateur laser, qui produit un train d'impulsions très courtes (par exemple en dessous de la nanoseconde)

Bien que cela puisse être une caractéristique provoquée intentionnellement, il peut également se produire spontanément en tant qu'«auto-blocage de mode». Les puissances de crête qui en résultent peuvent être beaucoup plus grandes que la puissance moyenne.

3.60

position la plus restrictive

position dans le faisceau où le rapport de l'émission accessible sur la LEA est maximal

NOTE L'émission accessible et la LEA peuvent dépendre de la position de l'évaluation par rapport au faisceau.

3.61

zone nominale de risque oculaire

ZNRO

zone à l'intérieur de laquelle l'éclairement ou l'exposition énergétique dépasse l'exposition maximale permise (EMP) appropriée sur la cornée, y compris la possibilité de dépointage accidentel du faisceau laser

Si la ZNRO comprend la possibilité de vision assistée par utilisation d'aides optiques, elle est désignée par «ZNRO étendue».

3.62

distance nominale de risque oculaire

DNRO

distance à partir de l'ouverture de sortie, pour laquelle l'éclairement ou l'exposition énergétique est égal(e) à l'exposition maximale permise (EMP) appropriée au niveau de la cornée

Si la DNRO comprend la possibilité de vision assistée par utilisation d'aides optiques, elle est désignée par «DNRO étendue (DNRO)».

3.63

fonctionnement

fonctionnement de l'appareil à laser dans le domaine complet des fonctions auxquelles il est destiné

Il ne comprend pas la maintenance ni l'entretien.

3.64

limite du danger photochimique

EMP ou LEA qui a été extrapolée pour protéger les personnes contre des effets photochimiques nocifs

Dans la gamme de longueurs d'ondes ultraviolettes, la limite du danger photochimique protège contre les effets nocifs sur la cornée et le cristallin, tandis que la limite du danger photochimique pour la rétine, telle que définie dans la gamme de longueurs d'ondes de 400 nm à 600 nm, protège contre la photorétinite, une lésion rétinienne photochimique provoquée par une exposition aux rayonnements.

3.65

enceinte de protection

moyen physique pour empêcher l'exposition de personnes au rayonnement laser, à moins qu'un tel accès ne soit nécessaire pour les fonctions prévues de l'installation

3.66

capot de protection

parties d'un appareil à laser (y compris un appareil dans lequel un laser incorporé est compris) conçues pour empêcher l'accès de personnes au rayonnement laser dépassant les LEA requises (généralement installé par un fabricant)

3.67**durée d'impulsion**

intervalle de temps entre la montée et la descente d'une impulsion, mesuré à mi-hauteur en puissance

3.68**laser impulsionnel****laser à impulsions**

laser délivrant son énergie sous forme d'une seule impulsion ou d'un train d'impulsions

Dans la présente Partie 1, la durée d'une impulsion est inférieure à 0,25 s.

3.69**luminance énergétique**

grandeur définie par la formule

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

où

$d\Phi$ est le flux énergétique transmis par un faisceau élémentaire passant par le point donné et se propageant dans l'angle solide $d\Omega$ contenant la direction donnée;

dA est l'aire d'une section de ce faisceau au point donné;

θ est l'angle entre la perpendiculaire à cette section et la direction du faisceau

Symbole: L

Unité SI: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$

[VEI 845-01-34, modifiée]

NOTE Cette définition est une version simplifiée du VEI 845-01-34, suffisante pour les besoins de la présente Partie 1. En cas de doute, il convient de suivre la définition du VEI.

3.70**énergie rayonnante**

intégrale par rapport au temps du flux énergétique pendant une durée donnée Δt

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

[VEI 845-01-27]

Symbole: Q

Unité SI: joule (J)

3.71**exposition énergétique**

en un point d'une surface, énergie rayonnante reçue par un élément d'une surface, divisée par l'aire de cet élément

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

Symbole: H

Unité SI: joule par mètre carré ($\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$)

3.72

puissance rayonnante flux énergétique

puissance émise, transmise ou reçue sous forme de rayonnement

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

[VEI 845-01-24]

Symbole: Φ , P

Unité SI: watt (W)

3.73

facteur de réflexion

rapport du flux énergétique réfléchi au flux incident dans les conditions données

[VEI 845-04-58, modifiée]

Symbole: ρ

Unité SI: 1

3.74

connecteur de verrouillage à distance

connecteur qui permet la connexion des commandes extérieures séparées des autres composants de l'appareil à laser (voir 4.4)

3.75

verrouillage de sécurité

dispositif automatique associé à chaque partie du capot de protection d'un appareil à laser dans le but d'empêcher l'accès de personnes à un rayonnement laser de classe 3R, de classe 3B ou de classe 4 quand cette partie du capot est enlevée, ouverte ou déplacée (voir 4.3)

3.76

rayonnement laser à balayage

rayonnement laser ayant une direction, une origine ou un diagramme de rayonnement variables dans le temps par rapport à un système fixe de référence

3.77

entretien

exécution des procédures ou réglages figurant dans le manuel d'entretien du fabricant, pouvant influencer sur un aspect quelconque des caractéristiques de l'appareil

Cela ne comprend pas la maintenance ni le fonctionnement.

3.78

panneau pour entretien

panneau d'accès qui est conçu pour être enlevé ou déplacé en vue de l'entretien

3.79

condition de premier défaut

tout premier défaut pouvant survenir dans un appareil et les conséquences directes qui en résultent

3.80

petite source

source d'un diamètre apparent α inférieur ou égal au diamètre apparent minimal $\alpha_{\min}$

3.81**réflexion spéculaire**

réflexion à partir d'une surface pouvant être considérée comme un faisceau (voir 3.11), y compris les réflexions à partir de surfaces réfléchissantes

NOTE Cette définition est destinée à reconnaître que certaines surfaces réfléchissantes, telles que les réflecteurs paraboliques, peuvent augmenter le danger provenant d'un faisceau incident, ou au moins le laisser inchangé.

3.82**limite du danger thermique**

EMP ou LEA ayant été extrapolée pour protéger les personnes contre des effets thermiques nocifs, par opposition aux lésions photochimiques

3.83**base de temps**

durée d'émission à considérer pour la classification des appareils à laser (voir 8.3 e))

3.84**outil**

tournevis, clé hexagonale ou tout autre objet pouvant être utilisé pour agir sur une vis ou des moyens de fixation similaires

3.85**facteur de transmission**

rapport du flux énergétique transmis au flux incident dans les conditions données

[VEI 845-04-59, modifiée]

Symbole: τ

Unité SI: 1

3.86**densité optique par transmission**

logarithme décimal de l'inverse du facteur de transmission τ

[VEI 845-04-66]

$$D = -\log_{10} \tau$$

Symbole: D

3.87**rayonnement visible (lumière)**

tout rayonnement optique susceptible de produire directement une sensation visuelle

[VEI 845-01-03]

NOTE Dans la présente Partie 1, cela signifie: rayonnement électromagnétique pour lequel les longueurs d'ondes des composantes monochromatiques sont comprises entre 400 nm et 700 nm.

3.88**pièce à traiter**

objet destiné à être traité par rayonnement laser

4 Spécifications techniques

4.1 Remarques générales

Il est nécessaire d'incorporer dans les appareils à laser certains dispositifs de sécurité en fonction de la classe de risque à laquelle ils ont été affectés par le fabricant. Les exigences relatives à ces dispositifs sont exposées de 4.2 à 4.12. Le fabricant doit s'assurer que le personnel responsable de la classification des appareils à laser et des systèmes à laser a reçu une formation de niveau approprié pour lui permettre de comprendre complètement les implications du système de classification.

• Modification

Si la modification d'un appareil à laser précédemment classifié affecte un aspect de la performance ou des fonctions prévues de l'appareil entrant dans le domaine d'application de cette norme, la personne ou l'organisme effectuant une telle modification assume la responsabilité d'assurer une nouvelle classification et un nouvel étiquetage de l'appareil à laser.

4.2 Capot de protection

4.2.1 Généralités

Tout appareil à laser doit avoir un capot de protection qui, lorsqu'il est en place, empêche l'accès de personnes à un rayonnement laser (y compris un rayonnement laser erratique) excédant la LEA de la classe 1, sauf où l'accès de personnes est nécessaire pour remplir la ou les fonctions de l'appareil.

Lorsque la classification d'un appareil à laser est basée sur la prévention de l'accès de personnes à un niveau d'énergie équivalent à la classe 4 (par exemple pour les machines à laser), il faut que le capot de protection résiste à des expositions dans des conditions de premier défaut raisonnablement prévisibles (voir 9.1), sans intervention humaine. Si le capot de protection a des dimensions permettant l'entrée de personnes, voir 4.12.

La maintenance des appareils à laser de classes 1, 1M, 2, 2M, ou 3R ne doit pas permettre l'accès de personnes à des niveaux de rayonnement laser de classe 3B ou de classe 4. La maintenance des appareils à laser de classe 3B ne doit pas permettre l'accès de personnes à des niveaux de rayonnement laser de classe 4.

4.2.2 Entretien

Toute partie du capot ou de l'enceinte d'un appareil à laser (y compris les appareils avec laser incorporé) qui peut être enlevée ou déplacée pour l'entretien, et qui pourrait permettre l'accès à un rayonnement laser excédant les LEA assignées et qui n'est pas pourvue de sécurité (voir 4.3), doit être fixée de telle façon que le démontage ou le déplacement de cette partie nécessite l'utilisation d'un ou de plusieurs outils.

4.2.3 Système à laser démontable

Si un système à laser peut être séparé de son capot ou de son enceinte de protection et mis en service sans modification, le système à laser doit satisfaire aux exigences de fabrication des Articles 4 et 5 qui conviennent à sa classe.

4.3 Panneaux d'accès et verrouillages de sécurité

4.3.1 Un verrouillage de sécurité doit être prévu pour les panneaux d'accès des capots de protection lorsque les deux conditions suivantes sont remplies:

- a) le panneau d'accès est conçu pour être retiré ou déplacé au cours de la maintenance ou du fonctionnement, et
- b) le retrait du panneau permet l'accès aux niveaux de rayonnement laser indiqués par un «X» dans le Tableau 1 ci-dessous.

Le Tableau 1 ci-dessous indique (X) l'applicabilité d'un verrouillage de sécurité.

Tableau 1 – Exigences pour les verrouillages de sécurité

Classe de l'appareil	Emission accessible au cours ou après le retrait du panneau d'accès				
	1, 1M	2, 2M	3R	3B	4
1, 1M	–	–	X	X	X
2, 2M	–	–	X	X	X
3R	–	–	–	X	X
3B	–	–	–	X	X
4	–	–	–	X	X

Le retrait du panneau ne doit pas entraîner d'émission, par cette ouverture, qui soit supérieure à la LEA de la classe 1M ou de la classe 2M, selon la longueur d'onde applicable.

Lorsqu'un verrouillage de sécurité est nécessaire, il doit empêcher l'accès à des niveaux d'émission accessible au-dessus de la LEA applicable au Tableau 1 lorsque le panneau est retiré. La neutralisation involontaire du verrouillage de sécurité ne doit pas permettre l'émission à des valeurs supérieures à la LEA applicable au Tableau 1. Ces verrouillages doivent être conformes aux exigences dans la norme CEI de sécurité de produit applicable (voir l'Article 1).

NOTE Les exigences du paragraphe 9.1 s'appliquent également aux verrouillages, c'est-à-dire qu'il est nécessaire que les verrouillages soient à sécurité positive ou redondants.

4.3.2 Si un mécanisme de neutralisation volontaire est prévu, le fabricant doit également prévoir des instructions adéquates concernant les méthodes assurant la sécurité du travail. Il ne doit pas être possible de laisser en place la neutralisation quand le panneau d'accès est remis dans sa position normale. Le verrouillage doit être clairement associé à une plaque indicatrice conforme aux exigences de 5.9.2. L'utilisation de la neutralisation doit provoquer un avertissement visuel ou auditif tant que le laser est excité ou que les batteries de condensateurs ne sont pas complètement déchargées, que le panneau d'accès soit ou non enlevé ou déplacé. Les avertissements visuels doivent être clairement perceptibles au travers des protecteurs oculaires spécialement conçus ou spécifiés pour la ou les longueurs d'ondes du rayonnement laser accessible.

4.4 Connecteur de verrouillage à distance

Chaque système à laser de classe 3B et de classe 4 doit être équipé d'un connecteur de verrouillage à distance. Lorsque les bornes du connecteur ne sont pas raccordées électriquement, le rayonnement accessible ne doit pas dépasser la LEA de classe 1M ou de classe 2M, suivant l'applicabilité.

4.5 Réinitialisation manuelle

Chaque système à laser de classe 4 doit être équipé d'un dispositif manuel de réinitialisation permettant de reprendre l'émission du rayonnement laser accessible de classe 4 après une interruption d'émission due à l'utilisation du connecteur de verrouillage à distance ou une interruption de plus de 5 s du réseau d'alimentation électrique.

NOTE Les fabricants peuvent inclure un deuxième connecteur de verrouillage qui ne nécessite pas d'action active pour débiter l'émission, mais il n'est pas nécessaire qu'un appareil ait deux connecteurs.

4.6 Commande à clé

Chaque système à laser de classe 3B et de classe 4 doit être équipé d'un organe de commande principal actionné par clé. La clé doit pouvoir être retirée et le rayonnement laser ne doit pas être accessible lorsque la clé est retirée.

NOTE Dans la présente Partie 1, le terme «clé» peut désigner tout autre dispositif de commande, tel que cartes magnétiques, combinaisons chiffrées, mots de passe d'ordinateurs, etc.

4.7 Avertissement d'émission de rayonnement laser

4.7.1 Chaque système à laser de classe 3R dans la gamme des longueurs d'ondes inférieures à 400 nm et supérieures à 700 nm, et chaque système à laser de classe 3B et de classe 4 doit satisfaire aux exigences suivantes.

4.7.2 Un dispositif d'avertissement doit donner un signal auditif ou visuel quand le système à laser est mis en marche ou si n'importe quelle batterie de condensateurs des lasers à impulsions est en cours de charge ou n'a pas été déchargée de façon certaine. Le dispositif d'avertissement doit être à sécurité positive ou redondant. Tout dispositif d'avertissement visible doit être clairement visible à travers un protecteur oculaire conçu spécifiquement pour la ou les longueurs d'ondes du rayonnement laser émis. Le ou les dispositifs d'avertissement visibles doivent être situés de façon que leurs observations ne nécessitent pas l'exposition au rayonnement laser excédant les LEA des classes 1M et 2M.

4.7.3 Chaque contrôle de fonctionnement et ouverture du laser qui peuvent être séparés par une distance de 2 m ou plus du dispositif d'avertissement d'émission doivent eux-mêmes comporter un tel dispositif d'avertissement. Le dispositif d'avertissement doit être clairement visible ou audible par une personne à proximité d'un contrôle de fonctionnement ou d'une ouverture du laser.

4.7.4 Si le rayonnement laser est susceptible d'être distribué à travers plus d'une ouverture, un dispositif d'avertissement visible doit clairement indiquer l'ouverture ou les ouvertures à travers la ou lesquelles peut sortir le rayonnement laser, conformément à 4.7.2.

4.8 Arrêt de faisceau ou atténuateur

Chaque système à laser de classe 3B et de classe 4 doit être équipé d'un ou de plusieurs moyens d'atténuation, fixés à demeure (par exemple arrêt de faisceau, atténuateur, interrupteur). L'arrêt ou l'atténuateur de faisceau doit être capable de prévenir l'accès de personnes au rayonnement laser excédant les LEA des classes 1M ou 2M, suivant l'applicabilité.

4.9 Commandes

Tout appareil à laser doit avoir des commandes situées de façon que son réglage et son fonctionnement ne nécessitent pas une exposition au rayonnement laser équivalente aux classes 3R, 3B ou 4.

4.10 Optiques d'observation

Toutes les optiques d'observation, regards ou écrans de visualisation incorporés à un appareil à laser doivent assurer une atténuation suffisante pour empêcher l'accès de personnes au rayonnement laser dépassant les LEA de la classe 1M, et, pour tout obturateur ou atténuateur variable incorporé dans les optiques d'observation, regards ou écrans de visualisation, des mesures doivent être prises pour:

- a) empêcher l'accès de personnes au rayonnement laser dépassant les LEA pour la classe 1M tant que l'obturateur est ouvert ou que l'atténuation est modifiée;
- b) empêcher l'ouverture de l'obturateur ou la manœuvre de l'atténuateur, lorsque l'exposition à un rayonnement laser dépassant les LEA de la classe 1M est possible.

4.11 Sécurité de balayage

Les appareils à laser destinés à émettre un rayonnement à balayage et classifiés sur cette base ne doivent pas, en cas de défaillance de balayage ou d'une modification, soit de la vitesse de balayage, soit de l'amplitude du balayage, permettre l'accès de personnes au rayonnement laser dépassant les LEA de la classe appropriée, à moins que l'exposition de personnes ne soit pas raisonnablement prévisible au cours de l'intervalle de temps entre la défaillance et lorsque la sécurité de balayage réduit l'émission à des niveaux inférieurs à la LEA de la classe de l'appareil (voir aussi 9.1).

4.12 Accès «à pied»

Si un capot de protection est équipé d'un panneau d'accès qui prévoit un accès «à pied», alors:

- a) des moyens doivent être fournis de façon à ce que toute personne à l'intérieur de l'enceinte puisse prévenir le danger de mise en marche d'un laser équivalent à la classe 3B ou à la classe 4;
- b) un dispositif d'avertissement doit être placé de manière à alerter toute personne susceptible d'être à l'intérieur de l'enceinte, de la présence de l'émission d'un rayonnement laser équivalent à la classe 3R dans la gamme des longueurs d'ondes inférieures à 400 nm et supérieures à 700 nm, ou d'un rayonnement laser équivalent à la classe 3B ou à la classe 4;
- c) lorsque l'accès «à pied» au cours du fonctionnement est prévu ou raisonnablement prévisible, l'émission de rayonnement laser équivalent à la classe 3B ou à la classe 4, pendant que quelqu'un se trouve à l'intérieur de l'enceinte d'un appareil de classe 1, de classe 2 ou de classe 3R, doit être empêchée par des moyens techniques.

NOTE Les méthodes pour empêcher l'accès de personnes au rayonnement lorsque des personnes se trouvent à l'intérieur du capot de protection peuvent comprendre des tapis de sol sensibles à la pression, des détecteurs à infrarouge, etc.

4.13 Conditions d'environnement

L'appareil à laser doit satisfaire aux exigences de sécurité définies dans cette norme dans toutes les conditions prévisibles et appropriées à son fonctionnement pour son utilisation normale. Les paramètres qui doivent être pris en compte sont:

- les conditions climatiques (par exemple température, humidité relative);
- les vibrations et les chocs.

Si rien n'est prévu dans la norme de sécurité de produit, les paragraphes appropriés de la CEI 61010-1 doivent s'appliquer.

NOTE Les exigences relatives à la susceptibilité électromagnétique sont à l'étude.

4.14 Protection contre les autres dangers

4.14.1 Dangers non liés au rayonnement optique

Les exigences de la norme de sécurité de produit applicable doivent être satisfaites en fonctionnement normal et en condition de premier défaut pour les risques suivants:

- risques électriques;
- température excessive;
- risque de propagation d'incendie à partir de l'appareil;
- sons et ultrasons;
- substances dangereuses;
- explosion.

Si aucune disposition n'a été prévue dans la norme de sécurité de produit, les paragraphes appropriés de la CEI 61010-1 doivent s'appliquer.

NOTE De nombreux pays ont leurs réglementations sur le contrôle des substances toxiques ou nocives. Contacter l'organisme national compétent pour ces exigences.

4.14.2 Rayonnement connexe

Le capot de protection des appareils à laser doit normalement assurer une protection contre les dangers des rayonnements connexes (par exemple rayonnement ultraviolet, visible, infrarouge). Cependant, s'il demeure une inquiétude concernant le danger d'un rayonnement connexe accessible, les valeurs des EMP pour les lasers peuvent être appliquées pour minimiser ce danger.

5 Etiquetage

5.1 Généralités

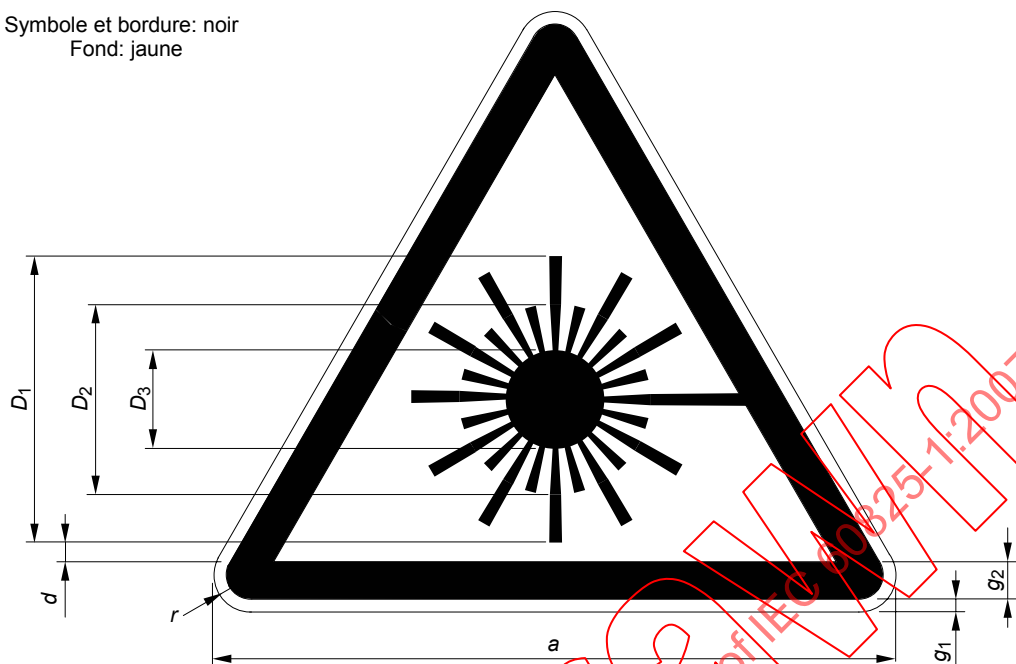
Tout appareil à laser doit être muni de plaque(s) indicatrice(s) conformément aux exigences contenues dans les articles suivants. Les plaques indicatrices doivent être fixées de façon durable, permanente, lisibles et clairement visibles au cours du fonctionnement, de la maintenance ou de l'entretien, suivant le cas. Elles doivent être placées de façon que leur lecture ne nécessite pas l'exposition de personnes au rayonnement laser dépassant les LEA de la classe 1. La bordure, le texte et les symboles doivent être en noir sur fond jaune sauf pour la classe 1, où cette combinaison de couleurs n'a pas à être utilisée.

Le libellé des plaques indicatrices présentées à l'Article 5 est recommandé mais non obligatoire. D'autres libellés ayant la même signification peuvent être substitués.

Si la taille ou la conception de l'appareil rend l'étiquetage impossible, la plaque indicatrice doit être reproduite dans le guide de l'utilisateur ou placée sur l'emballage.

NOTE L'impression ou la gravure directes des plaques indicatrices équivalentes sur l'appareil à laser ou sur des panneaux est acceptable.

Symbole et bordure: noir
Fond: jaune



IEC 411/07

Dimensions en millimètres

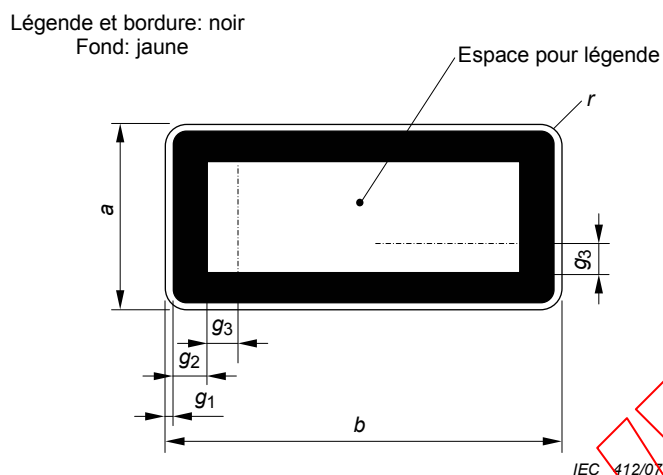
<i>a</i>	<i>g</i> ₁	<i>g</i> ₂	<i>r</i>	<i>D</i> ₁	<i>D</i> ₂	<i>D</i> ₃	<i>d</i>
25	0,5	1,5	1,25	10,5	7	3,5	0,5
50	1	3	2,5	21	14	7	1
100	2	6	5	42	28	14	2
150	3	9	7,5	63	42	21	3
200	4	12	10	84	56	28	4
400	8	24	20	168	112	56	8
600	12	36	30	252	168	84	12

Les dimensions *D*₁, *D*₂, *D*₃, *g*₁ et *d* sont des valeurs recommandées.

NOTE 1 L'aire minimale *A* de la plaque est liée à la plus grande distance *L* à laquelle la plaque peut être comprise, par la formule: $A = L^2/2\,000$, où *A* et *L* sont exprimées, respectivement, en mètres carrés et en mètres. Cette formule convient pour des distances *L* inférieures à 50 m environ.

NOTE 2 Ces dimensions sont des valeurs recommandées. Pourvu que les valeurs soient proportionnelles, il est admis que le symbole et la bordure soient de n'importe quelle dimension lisible compatible avec les dimensions de l'appareil à laser.

Figure 1 – Plaque d'avertissement – Symbole de danger



Dimensions en millimètres

$a \times b$	g_1	g_2	g_3	r	Hauteur minimale des lettres
26 × 52	1	4	4	2	Les lettres doivent être d'une taille qui les rend lisibles
52 × 105	1,6	5	5	3,2	
84 × 148	2	6	7,5	4	
100 × 250	2,5	8	12,5	5	
140 × 200	2,5	10	10	5	
140 × 250	2,5	10	12,5	5	
140 × 400	3	10	20	6	
200 × 250	3	12	12,5	6	
200 × 400	3	12	20	6	
250 × 400	4	15	25	8	
La dimension g_1 est recommandée.					

NOTE 1 L'aire minimale A de la plaque est liée à la plus grande distance L à laquelle la plaque peut être comprise, par la formule: $A = L^2 / 2\,000$, où A et L sont exprimées, respectivement, en mètres carrés et en mètres. Cette formule convient pour des distances L inférieures à 50 m environ.

NOTE 2 Ces dimensions sont des valeurs recommandées. Il est admis que la plaque soit de n'importe quelle dimension nécessaire pour contenir les lettres et l'entourage exigés. Il faut que la largeur minimale de chaque entourage (dimensions g_2 et g_3) soit de 0,06 fois la longueur du plus petit côté de la plaque.

Figure 2 – Plaque indicatrice

5.2 Classe 1 et classe 1M

À l'exception de ce qui est admis à l'Article 1, sur chaque appareil à laser de classe 1, une plaque indicatrice explicative (Figure 2) doit être apposée, portant les mots:

APPAREIL À LASER DE CLASSE 1

Sur chaque appareil à laser de classe 1M, une plaque indicatrice explicative (Figure 2) doit être apposée, portant les mots:

RAYONNEMENT LASER
NE PAS OBSERVER DIRECTEMENT À L'AIDE D'INSTRUMENTS D'OPTIQUE
APPAREIL À LASER DE CLASSE 1M

À la place des plaques indicatrices ci-dessus, à l'initiative du fabricant, les mêmes mentions peuvent être incluses dans les renseignements destinés à l'utilisateur.

Le type d'instrument d'optique qui pourrait avoir comme conséquence une augmentation du danger peut être ajouté entre parenthèses après le mot «instruments» sur la plaque indicatrice pour un appareil de classe 1M. Les mots supplémentaires pourraient être, en particulier, «(JUMELLES OU TÉLÉSCOPES)» pour un appareil à laser avec un faisceau collimaté, de grand diamètre, classé 1M, parce qu'il échappe à la condition 1 (voir Article 9), ou «(LOUPES)» pour un appareil à laser, classé 1M, parce qu'il échappe à la condition 2 (voir Article 9) (faisceau fortement divergent).

En variante, le libellé de la deuxième ligne de la plaque indicatrice pour la classe 1M pourrait être le suivant: «NE PAS EXPOSER LES UTILISATEURS DE JUMELLES OU DE TÉLÉSCOPES».

Si l'émission accessible dépasse les LEA de la classe 3B, comme déterminé avec une ouverture de 3,5 mm de diamètre placée au point le plus proche de l'accès de personnes, un avertissement supplémentaire doit être donné sur la plaque indicatrice des appareils et dans les informations destinées à l'utilisateur:

L'EXPOSITION DE LA PEAU PRÈS DE L'OUVERTURE
PEUT PROVOQUER DES BRÛLURES

NOTE Ne s'applique que si la condition 2 est utilisée pour déterminer la LEA.

5.3 Classe 2 et classe 2M

Sur tout appareil à laser de classe 2 doivent être fixées une plaque d'avertissement (Figure 1) et une plaque indicatrice (Figure 2) portant les mots:

RAYONNEMENT LASER
NE PAS REGARDER DANS LE FAISCEAU
APPAREIL À LASER DE CLASSE 2

Sur tout appareil à laser de classe 2M doivent être fixées une plaque d'avertissement (Figure 1) et une plaque indicatrice (Figure 2) portant les mots:

RAYONNEMENT LASER
NE PAS REGARDER DANS LE FAISCEAU NI OBSERVER
DIRECTEMENT À L'AIDE D'INSTRUMENTS D'OPTIQUE
APPAREIL À LASER DE CLASSE 2M

Le type d'instrument d'optique qui pourrait avoir comme conséquence une augmentation du danger peut être ajouté entre parenthèses après le mot «instruments». Les mots supplémentaires pourraient être, en particulier, «(JUMELLES OU TÉLÉSCOPES)» pour un appareil à laser avec un faisceau collimaté, de grand diamètre, classé 2M, parce qu'il échappe à la condition 1 (voir Article 9), ou «(LOUPES)» pour un appareil à laser, classé 2M, parce qu'il échappe à la condition 2 (voir Article 9) (faisceau fortement divergent).

En variante, le libellé de la deuxième ligne de la plaque indicatrice pour la classe 2M pourrait être le suivant: «NE PAS EXPOSER LES UTILISATEURS DE JUMELLES OU DE TÉLÉSCOPES».

Si l'émission accessible dépasse les LEA de la classe 3B, comme déterminé avec une ouverture de 3,5 mm de diamètre placée au point le plus proche de l'accès de personnes, un avertissement supplémentaire doit être donné sur la plaque indicatrice des appareils et dans les informations destinées à l'utilisateur:

L'EXPOSITION DE LA PEAU PRÈS DE L'OUVERTURE
PEUT PROVOQUER DES BRÛLURES

NOTE Ne s'applique que si la condition 2 est utilisée pour déterminer la LEA.

5.4 Classe 3R

Sur tout appareil à laser de classe 3R doivent être fixées une plaque d'avertissement (Figure 1) et une plaque indicatrice (Figure 2) portant les mots:

RAYONNEMENT LASER
EXPOSITION DIRECTE DANGEREUSE POUR LES YEUX
APPAREIL À LASER DE CLASSE 3R

NOTE Les plaques utilisant l'expression EXPOSITION AU FAISCEAU DANGEREUSE à la deuxième ligne seraient également acceptables.

5.5 Classe 3B

Sur tout appareil à laser de classe 3B doivent être fixées une plaque d'avertissement (Figure 1) et une plaque indicatrice (Figure 2) portant les mots:

RAYONNEMENT LASER
EXPOSITION AU FAISCEAU DANGEREUSE
APPAREIL À LASER DE CLASSE 3B

5.6 Classe 4

Sur tout appareil à laser de classe 4 doivent être fixées une plaque d'avertissement (Figure 1) et une plaque indicatrice (Figure 2) portant les mots:

RAYONNEMENT LASER
EXPOSITION DANGEREUSE DE L'ŒIL OU DE LA PEAU
AU RAYONNEMENT DIRECT OU DIFFUS
APPAREIL À LASER DE CLASSE 4

5.7 Plaque indicatrice d'ouverture

Sur tout appareil à laser des classes 3R, 3B et 4 doit être fixée une plaque tout près de chaque ouverture à travers laquelle est émis un rayonnement laser dépassant les LEA de la classe 1 ou de la classe 2. La ou les plaques doivent porter les mots:

OUVERTURE LASER
ou
OUVERTURE POUR RAYONNEMENT LASER
ou

EXPOSITION DANGEREUSE –
UN RAYONNEMENT LASER EST ÉMIS PAR CETTE OUVERTURE

5.8 Informations sur le rayonnement émis et les normes

Le nom et la date de publication de la norme à laquelle l'appareil répond doivent figurer sur la plaque indicatrice ou à tout autre emplacement proche sur l'appareil. La plaque indicatrice (Figure 2) de chaque appareil à laser (à l'exception de ceux de classe 1) doit mentionner la puissance maximale du rayonnement laser émis (voir définition 3.55), la durée de l'impulsion (s'il y a lieu) et la ou les longueurs d'ondes émises. Pour les classes 1 et 1M, les informations des plaques indicatrices sur l'appareil peuvent être remplacées par des informations données dans les renseignements destinés à l'utilisateur.

5.9 Plaques indicatrices pour les panneaux d'accès

5.9.1 Plaques indicatrices pour les panneaux

Toute connexion, tout panneau d'un capot de protection et tout panneau d'accès d'une enceinte de protection qui, une fois enlevé ou déplacé, permet l'accès de personnes au rayonnement laser dépassant les LEA de classe 1, doit comporter des plaques portant les mots (pour le cas d'un laser incorporé de classe 1M, le libellé peut être remplacé par une mention incluse dans les renseignements destinés à l'utilisateur):

a)

**ATTENTION – RAYONNEMENT LASER DE CLASSE 1M – EN CAS D'OUVERTURE
NE PAS OBSERVER DIRECTEMENT À L'AIDE D'INSTRUMENTS D'OPTIQUE**

si le rayonnement accessible ne dépasse pas les LEA de la classe 1M où le niveau de rayonnement est mesuré selon 9.2 g) et 9.3;

b)

**ATTENTION – RAYONNEMENT LASER DE CLASSE 2 – EN CAS D'OUVERTURE
NE PAS REGARDER DANS LE FAISCEAU**

si le rayonnement accessible ne dépasse pas les LEA de la classe 2 où le niveau de rayonnement est mesuré selon 9.2 h) et 9.3;

c)

**ATTENTION – RAYONNEMENT LASER DE CLASSE 2M – EN CAS D'OUVERTURE
NE PAS REGARDER DANS LE FAISCEAU NI OBSERVER
DIRECTEMENT À L'AIDE D'INSTRUMENTS D'OPTIQUE**

si le rayonnement accessible ne dépasse pas les LEA de la classe 2M où le niveau de rayonnement est mesuré selon 9.2 h) et 9.3;

d)

**ATTENTION – RAYONNEMENT LASER DE CLASSE 3R – EN CAS D'OUVERTURE
EXPOSITION DIRECTE DANGEREUSE DES YEUX**

si le rayonnement accessible ne dépasse pas les LEA de la classe 3R;

NOTE Les plaques utilisant l'expression EXPOSITION AU FAISCEAU DANGEREUSE à la deuxième ligne seraient également acceptables.

e)

**ATTENTION – RAYONNEMENT LASER DE CLASSE 3B – EN CAS D'OUVERTURE
EXPOSITION AU FAISCEAU DANGEREUSE**

si le rayonnement accessible ne dépasse pas les LEA de la classe 3B;

f)

**ATTENTION – RAYONNEMENT LASER DE CLASSE 4 – EN CAS D'OUVERTURE
EXPOSITION DANGEREUSE AU RAYONNEMENT DIRECT OU DIFFUS
DES YEUX OU DE LA PEAU**

si le rayonnement accessible dépasse les limites de la classe 3B.

Ces informations peuvent être données sur plusieurs plaques indicatrices adjacentes, sur l'appareil.

5.9.2 Plaques indicatrices pour panneaux à verrouillage de sécurité

Des plaques convenables doivent être clairement associées à chaque verrouillage de sécurité, qui peut être rapidement neutralisé et qui pourrait alors permettre l'accès de personnes au rayonnement laser dépassant les LEA de la classe 1. De telles plaques doivent être visibles avant et pendant l'opération de neutralisation de la sécurité et être toutes proches de l'ouverture créée par le retrait du capot de protection. Cette plaque indicatrice doit porter les mots spécifiés dans les points a) à f) de 5.9.1, si applicable, en introduisant une ligne additionnelle, placée après la première ligne, comportant les mots suivants:

ET LORSQUE LA SÉCURITÉ EST NEUTRALISÉE

5.10 Avertissement pour rayonnement laser invisible

Dans de nombreux cas, l'inscription requise pour des plaques de l'Article 5 comporte l'expression «RAYONNEMENT LASER». Si les longueurs d'ondes du rayonnement laser sont en dehors du domaine compris entre 400 nm et 700 nm, l'expression doit être modifiée pour devenir: «RAYONNEMENT LASER INVISIBLE», ou si les longueurs d'ondes du rayonnement laser sont à la fois en dedans et en dehors du domaine compris entre 400 nm et 700 nm, l'expression devient «RAYONNEMENT LASER VISIBLE ET INVISIBLE».

Si un appareil est classé en tenant compte d'un niveau de rayonnement laser visible et émet également en dépassant les LEA de la classe 1 aux longueurs d'ondes invisibles, la plaque indicatrice doit comporter les mots «RAYONNEMENT LASER VISIBLE ET INVISIBLE» au lieu de «RAYONNEMENT LASER».

5.11 Avertissement pour rayonnement laser visible

L'expression «RAYONNEMENT LASER» figurant sur les plaques de l'Article 5 peut être changée en «LUMIÈRE LASER», si l'émission de l'appareil à laser est située dans la gamme de longueurs d'ondes (visibles) de 400 nm à 700 nm.

6 Autres exigences relatives aux renseignements à fournir

6.1 Renseignements pour l'utilisateur

Les fabricants d'appareils à laser doivent fournir (ou faire en sorte que soi(en)t fourni(es)) les instructions pour l'utilisateur ou un manuel de fonctionnement contenant toutes les informations de sécurité appropriées. Il relève toujours de la responsabilité du fabricant de fournir les informations de sécurité indiquées ci-dessous et de décider quelles informations supplémentaires sont appropriées et doivent par conséquent être fournies.

NOTE Les informations appropriées ou non appropriées dépendent de l'appareil spécifique, y compris de son application prévue, et peuvent même être soumises à la législation nationale.

Les informations suivantes doivent être fournies:

- a) Les instructions adéquates pour le montage correct, la maintenance et l'utilisation sans danger, comprenant clairement des avertissements concernant les précautions à prendre pour éviter l'éventualité de l'exposition aux rayonnements laser dangereux et une description des limites de la classification, si approprié (voir l'Annexe C qui donne une description des classes et des limitations possibles).

- b) Un avertissement additionnel les appareils à laser des classes 1M et 2M. Pour des faisceaux divergents, cet avertissement doit mentionner que l'observation de la sortie du laser avec certains instruments d'optique (par exemple loupes d'horloger, loupes à main et microscopes) à une distance inférieure à 100 mm peut présenter un danger pour les yeux. Pour des faisceaux collimatés, cet avertissement doit mentionner que l'observation de la sortie du laser avec certains instruments d'optique, conçus pour l'observation à distance (par exemple télescopes et jumelles) peut présenter un risque pour les yeux.
- c) Pour les niveaux de rayonnement laser supérieurs aux LEA de la classe 1, une description du ou des diagrammes de rayonnement émis du capot de protection au cours des procédures de performance de fonctionnement et de maintenance. Lorsque cela est applicable, cela doit comprendre une indication en unités appropriées de:
- la longueur d'onde,
 - la divergence du faisceau,
 - la durée et fréquence de répétition des impulsions (ou description des séquences d'impulsions irrégulières),
 - l'émission maximale de puissance ou d'énergie.

Les valeurs doivent, le cas échéant, inclure des incertitudes de mesure cumulées et toute augmentation prévisible des grandeurs mesurées à un moment quelconque après la fabrication. Il n'est pas nécessaire de spécifier les durées d'impulsions résultant d'un blocage de mode à caractère accidentel; toutefois, les conditions associées à l'appareil, reconnues comme étant la cause d'un blocage de mode à caractère accidentel, doivent être spécifiées. Pour les impulsions ultra-courtes, la largeur de bande du rayonnement (c'est-à-dire la gamme de longueurs d'ondes de l'émission) doit être spécifiée.

- d) Pour les appareils avec laser incorporé et les autres appareils à laser intégrés dans un appareil, des renseignements pour décrire le laser qui est intégré (voir le point c)). Les renseignements doivent aussi inclure les instructions de sécurité appropriées pour l'utilisateur afin de l'avertir du danger d'une exposition accidentelle au rayonnement laser. Cela est particulièrement important pour les appareils avec laser incorporé des classes 1, 1M, 2 ou 2M, mais dans lesquels une vision dans le faisceau à des niveaux d'émission accessible dépassant les LEA de ces classes est possible au cours de la maintenance. Dans ce cas, le fabricant doit inclure une mise en garde indiquant que la vision dans le faisceau du laser doit être empêchée.
- e) Si approprié et si applicable, l'EMP et la DNRO applicables pour les appareils à laser de classe 3B et de classe 4. Etant donné que la DNRO dépend fortement du système de transmission du faisceau et des éléments optiques placés dans le faisceau, lorsque cela est considéré comme applicable, il est recommandé que les différentes valeurs de la DNRO soient données pour les différentes fixations ou les différents systèmes de transmission du faisceau. S'il y a une divergence variable du faisceau, la DNRO pourrait être donnée pour certaines valeurs choisies de divergence. Lorsqu'une valeur d'EMP ou de DNRO est indiquée, la durée d'exposition supposée pour la détermination de ces valeurs doit également être indiquée. Pour les lasers à faisceau collimaté de la classe 1M et de la classe 2M, la DNRO étendue (DNRO) doit être indiquée, si approprié et si applicable.

NOTE Des informations spécifiques sur la DNRO ne sont généralement pas requises pour les faisceaux collimatés devant être utilisés à l'intérieur. Dans ce cas, il suffit généralement de donner uniquement une indication de l'étendue de la plage, lorsque l'EMP peut être dépassée.

- f) Le cas échéant, des informations relatives au choix de la protection oculaire. Cela doit comprendre la densité optique requise ainsi que les niveaux d'éclairement énergétique ou d'exposition énergétique qui pourraient être reçus par la surface de l'équipement de protection oculaire, de telle sorte que des niveaux de résistance puissent être déterminés.

NOTE De nombreux pays ont des réglementations et des normes pour les équipements de protection individuelle. Contacter l'organisme national compétent pour ces exigences.

- g) Des reproductions lisibles (couleur facultative) de toutes les indications et avertissements devant être fixés sur l'appareil à laser ou fournis avec l'appareil à laser. L'emplacement correspondant de chaque plaque d'inscription fixée sur l'appareil doit être indiqué ou, si ces dernières sont livrées avec l'appareil, il doit être signalé que de telles plaques ne pouvaient pas être fixées sur l'appareil, mais ont été fournies avec l'appareil; il doit être précisé sous quelle forme et de quelle manière elles ont été fournies.
- h) Une indication claire dans la notice de toutes les positions des ouvertures laser à travers lesquelles le rayonnement laser dépassant les LEA de classe 1 est émis.
- i) Une liste des commandes, réglages et procédures relatifs au fonctionnement et à la maintenance, comportant l'avertissement «Attention – L'utilisation des commandes ou réglages ou l'exécution des procédures autres que celles spécifiées dans les présentes exigences peuvent être la cause d'une exposition à un rayonnement dangereux» (ou en variante, des avertissements appropriés équivalents).
- j) Pour les appareils à laser qui n'incorporent pas l'alimentation en énergie nécessaire à l'émission laser, une indication des exigences de compatibilité de l'alimentation laser qui assureront la sécurité.

6.2 Renseignements pour l'achat et l'entretien

Les fabricants d'appareils à laser doivent fournir ou faire en sorte que soient fournis les éléments suivants.

- a) Dans tous les catalogues, les feuilles de spécifications et les brochures descriptives, la classification de chaque appareil à laser et tout avertissement doivent être mentionnés, y compris ceux spécifiés en 6.1 b), si approprié.
- b) Aux services d'entretien et aux distributeurs, et à tout autre sur demande, des instructions adéquates relatives aux réglages et aux procédures d'entretien pour chaque modèle d'appareil à laser, comprenant:
 - des avertissements clairs et des précautions à prendre pour éviter la possibilité d'une exposition au rayonnement laser au-dessus de la classe 1 et à tous les autres dangers;
 - un plan de maintenance nécessaire pour conserver l'appareil en conformité avec les exigences;
 - une liste des moyens et procédures qui pourraient être utilisés par des personnes autres que le fabricant ou ses agents pour augmenter les niveaux d'émission accessible de rayonnement;
 - une description claire de l'emplacement des parties amovibles du capot de protection qui pourraient permettre l'accès au rayonnement laser dépassant les limites d'émission accessible des Tableaux 4 à 9;
 - des procédures de protection pour le personnel d'entretien; et
 - des reproductions lisibles (couleur facultative) des plaques d'inscription et des avertissements requis.

7 Exigences additionnelles pour appareils à laser spécifiques

7.1 Autres parties de la série de normes CEI 60825

Pour des applications spécifiques, une partie ou l'autre de la série CEI 60825 peuvent être applicables (voir également la Bibliographie):

- la CEI 60825-2, *Sécurité des systèmes de télécommunication par fibres optiques (STFO)*, (donne des notes et des exemples d'applications)

- la CEI 60825-4, *Protecteurs pour lasers* (donne des informations relatives à la conception et à la construction pour les barrières laser et les matériaux, en particulier lorsque des lasers de forte puissance sont utilisés)
- la CEI 60825-12, *Sécurité des systèmes de communications optiques en espace libre utilisés pour la transmission d'informations*.

D'autres informations peuvent être trouvées dans les documents suivants:

- CEI TR 60825-3, *Guide pour les manifestations et spectacles utilisant des lasers*
- CEI TR 60825-5, *Liste de contrôle du fabricant relative à la CEI 60825-1* (convient pour être utilisée dans un rapport de sécurité)
- CEI TR 60825-8, *Lignes directrices pour la sécurité d'utilisation des appareils à laser médicaux*
- CEI TR 60825-9, *Exposition maximale admissible au rayonnement lumineux incohérent* (sources à large bande)
- CEI TR 60825-10, *Guide d'application et notes explicatives concernant la CEI 60825-1*
- CEI TR 60825-13, *Mesures pour la classification des appareils à laser*
- CEI TR 60825-14, *Guide de l'utilisateur*
- CEI 62471 (CIE S009), *Sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant les lampes*

7.2 Appareils à laser médicaux

Tout appareil à laser médical doit être conforme à toutes les exigences applicables pour les appareils à laser de sa classe. De plus, tout appareil à laser médical de classe 3B ou de classe 4 est soumis à la CEI 60601-2-22.

7.3 Machines à laser

Les machines à laser doivent satisfaire aux exigences applicables pour les appareils à laser de leur classe. De plus, les machines à laser peuvent être soumises à l'ISO/CEI 11553-1.

7.4 Jouets électriques

Les jouets électriques qui sont des appareils à laser doivent être conformes aux exigences applicables pour les appareils à laser de leur classe. De plus, ces appareils sont soumis à la CEI 62115.

7.5 Produits électroniques de consommation

Les produits électroniques de consommation qui sont des appareils à laser doivent être conformes aux exigences applicables pour les appareils à laser de leur classe. De plus, ces produits peuvent être soumis à l'une des normes suivantes: CEI 60950 (Matériels de traitement de l'information), CEI 60065 (Appareils audio et vidéo).

8 Classification

8.1 Introduction

En raison de la gamme étendue des longueurs d'ondes possibles, du contenu énergétique et des caractéristiques des impulsions d'un faisceau laser, les dangers potentiels apparaissant lors de son utilisation varient considérablement. Il est impossible de considérer les lasers comme un seul groupe auquel peuvent s'appliquer des limites communes de sécurité. L'Annexe C décrit de façon plus approfondie les dangers associés aux classes et aux limitations possibles (par exemple ceux pouvant survenir à la suite d'une vision assistée optiquement).

8.2 Responsabilités de la classification

Le fabricant ou son agent est responsable de la classification correcte d'un appareil à laser (se reporter toutefois à 4.1).

L'appareil doit être classé sur la base d'une combinaison de la ou des puissances de sortie et de la ou des longueurs d'ondes du rayonnement laser accessible émis dans tout le domaine des possibilités de cet appareil en cours de fonctionnement, à un moment quelconque après sa fabrication, ce qui permet de lui affecter la classe la plus élevée appropriée.

On ne peut affecter une classe particulière à un appareil à laser que lorsqu'il a satisfait à toutes les exigences de cette Partie 1 pour cette classe, par exemple les moyens de contrôle techniques, l'étiquetage et les informations destinées à l'utilisateur.

8.3 Règles de classification

Afin d'établir des règles de classification, le classement suivant en classes (dans l'ordre croissant du danger) doit être utilisé: classe 1, classe 1M, classe 2, classe 2M, classe 3R, classe 3B, classe 4.

NOTE Pour la classification d'un appareil à laser en classe 1M ou 2M, l'utilisation d'une ouverture spécifiée comme condition 3 limite la quantité de rayonnement qui est collecté à partir d'un grand diamètre ou de faisceaux fortement divergents. Par exemple, les appareils de classe 1M et de classe 2M peuvent avoir une énergie ou une puissance totale mesurée supérieure à la classe 2 ou à la classe 3R, lorsqu'ils sont mesurés dans les conditions applicables. Pour ces appareils à laser, une classification en 1M ou en 2M est appropriée.

Les limites d'émission accessible (LEA) des classes 1 et 1M, 2 et 2M, 3R et 3B, sont données aux Tableaux 4 à 9. Les valeurs des facteurs de correction utilisées sont données au Tableau 10 en fonction de la longueur d'onde, de la durée d'émission, du nombre d'impulsions et du diamètre apparent.

a) Rayonnement à une seule longueur d'onde

Un appareil à laser à une seule longueur d'onde, avec une étendue spectrale de la raie d'émission assez étroite pour que les LEA ne changent pas, est assigné à une classe lorsque le rayonnement laser accessible, mesuré dans des conditions appropriées à la classe, dépasse les LEA de toutes les classes inférieures, mais ne dépasse pas celles de la classe assignée.

b) Rayonnement de longueurs d'ondes multiples

- 1) Un appareil à laser, émettant deux ou plusieurs longueurs d'ondes dans des régions spectrales considérées comme additives dans le Tableau 2, est assigné à une classe lorsque la somme des rapports du rayonnement laser accessible (mesuré dans des conditions appropriées à la classe) aux LEA de ces longueurs d'ondes dépasse l'unité pour toutes les classes inférieures, mais ne dépasse pas l'unité pour la classe assignée.
- 2) Un appareil à laser, émettant deux ou plusieurs longueurs d'ondes non considérées comme additives dans le Tableau 2, est assigné à une classe lorsque le rayonnement laser accessible, mesuré dans des conditions appropriées à la classe, dépasse les LEA de toutes les classes inférieures pour au moins une longueur d'onde, mais ne dépasse pas les LEA de la classe assignée pour toute longueur d'onde.

**Tableau 2 – Additivité des effets sur l'œil et sur la peau
de rayonnements de domaines spectraux différents**

Domaine spectral ^a	UV-C et UV-B 180 nm à 315 nm	UV-A 315 nm à 400 nm	Visible et IR-A 400 nm à 1 400 nm	IR-B et IR-C 1 400 nm à 10 ⁶ nm
UV-C et UV-B 180 nm à 315 nm	o p			
UV-A 315 nm à 400 nm		o p	p	o p
Visible et IR-A 400 nm à 1 400 nm		p	o ^b p	p
IR-B et IR-C 1 400 nm à 10 ⁶ nm		o p	p	o p
o Œil p Peau				
^a Pour les définitions des domaines spectraux, voir le Tableau D.1.				
^b Dans le cas où les LEA et les EMP oculaires sont évaluées pour des bases de temps ou des durées d'exposition de 1 s ou plus, les effets photochimiques additifs (400 nm à 600 nm) et les effets thermiques additifs (400 nm à 1 400 nm) doivent alors être évalués indépendamment et la valeur la plus restrictive doit être utilisée.				

c) Rayonnement depuis des sources étendues

Le risque oculaire des sources laser dans la gamme des longueurs d'ondes de 400 nm à 1 400 nm dépend du diamètre apparent de la source apparente α .

NOTE 1 Une source est considérée comme une source étendue si le diamètre apparent de la source est plus grand que $\alpha_{\min}$, où $\alpha_{\min} = 1,5$ mrad. La plupart des sources laser ont un diamètre apparent α inférieur à $\alpha_{\min}$, et apparaissent comme une «source ponctuelle» apparente (petite source) lorsqu'elles sont visualisées à partir de l'intérieur du faisceau (vision dans le faisceau). Sachant qu'un faisceau laser circulaire ne peut pas être collimaté à une divergence inférieure à 1,5 mrad, s'il s'agit d'une source étendue, alors tout laser pour lequel une divergence de faisceau inférieure ou égale à 1,5 mrad est spécifiée ne peut pas être traité comme une source étendue.

NOTE 2 Pour ce qui concerne l'évaluation du danger thermique pour la rétine (400 nm à 1 400 nm), les LEA relatives aux sources étendues varient directement avec le diamètre apparent de la source. Pour ce qui concerne l'évaluation du danger photochimique pour la rétine (400 nm à 600 nm), pour des expositions supérieures à 1 s, les LEA ne varient pas directement avec le diamètre apparent de la source. En fonction de la durée de l'émission (voir 9.3.3b) 1), un angle d'admission limite γ_{ph} de 11 mrad ou plus est utilisé pour la mesure, et la relation de l'angle d'admission limite γ_{ph} avec le diamètre apparent α de la source apparente peut avoir une incidence sur la valeur mesurée.

NOTE 3 Pour la condition de défaut où $C_6 = 1$, un Tableau 4 simplifié est fourni pour les LEA des classes 1 et 1M.

Pour des sources dont le diamètre apparent est inférieur ou égal à $\alpha_{\min}$, la LEA et l'EMP sont indépendantes du diamètre apparent de la source apparente α .

Pour effectuer une classification des appareils à laser à la position la plus restrictive, où la condition 1 s'applique (voir 9.3.3), le grossissement de 7 du diamètre apparent α de la source apparente peut être appliqué pour déterminer C_6 , c'est-à-dire $C_6 = 7 \times \alpha / \alpha_{\min}$. L'expression $(7 \times \alpha)$ doit être limitée à $\alpha_{\max}$ avant le calcul de C_6 . La valeur $7 \times \alpha$ de α doit être utilisée pour la détermination de T_2 du Tableau 10.

NOTE Pour les cas où $\alpha < 1,5$ mrad mais $7 \times \alpha > 1,5$ mrad, les limites pour $\alpha > 1,5$ mrad des Tableaux 5 et 8 s'appliquent.

d) Profil d'éclairement énergétique d'image rétinienne non uniforme, sources non circulaires et multiples

Afin de comparer avec les limites thermiques pour la rétine, si:

la gamme de longueurs d'ondes se situe entre 400 nm et 1 400 nm; et

la LEA dépend de C_6

alors si:

l'image rétinienne n'a pas de profil d'éclairement énergétique uniforme * ; ou

le profil d'image rétinienne se compose de plusieurs points,

* Pour un profil d'éclairement énergétique rétinien gaussien (tel que produit par un faisceau TEM₀₀), le diamètre apparent peut être déterminé avec le critère de diamètre d_{63} et une analyse des aires partielles n'est pas nécessaire

alors les mesures ou les évaluations doivent être réalisées pour chacun des scénarios suivants:

- pour chaque source ponctuelle; et
- pour divers ensembles de sources ponctuelles; et
- pour les aires partielles.

Cela est nécessaire pour s'assurer que la LEA n'est pas dépassée pour chaque angle possible α sous-tendu dans chaque scénario. Pour l'évaluation des ensembles de sources ponctuelles ou pour les aires partielles, l'angle d'admission γ doit varier entre $\alpha_{\min}$ et $\alpha_{\max}$, c'est-à-dire $\alpha_{\min} < \gamma < \alpha_{\max}$, afin de déterminer l'émission accessible partielle associée au scénario respectif. Afin de comparer ces niveaux d'émission accessible partielle avec la LEA respective, la valeur de α est fixée comme étant égale à γ .

La classification doit être basée sur le cas où le rapport entre:

- l'émission accessible partielle à l'intérieur d'une aire partielle sur le diamètre apparent α de cette aire; et
- la LEA correspondante

est maximal.

Le diamètre apparent d'une source rectangulaire ou linéaire est déterminé par la valeur de la moyenne arithmétique des deux dimensions angulaires de la source. Toute dimension angulaire supérieure à $\alpha_{\max}$ ou inférieure à $\alpha_{\min}$ doit être limitée à $\alpha_{\max}$ ou $\alpha_{\min}$ respectivement, avant de calculer la moyenne.

Les limites photochimiques (400 nm à 600 nm) ne dépendent pas du diamètre apparent de la source, et la source est analysée avec l'angle d'admission limite spécifié en 9.3.3 b). Pour les sources qui sont supérieures à l'angle d'admission limite, l'émission accessible doit être déterminée pour la source apparente partielle qui produit la valeur d'émission maximale.

e) Bases de temps

Les bases de temps suivantes sont utilisées dans la présente norme aux fins de classification:

- 1) 0,25 s pour les rayonnements laser des classes 2, 2M et 3R, dans la gamme des longueurs d'ondes de 400 nm à 700 nm;
- 2) 100 s pour tous les rayonnements laser de longueurs d'ondes supérieures à 400 nm, à l'exception des cas mentionnés en 1) et 3);
- 3) 30 000 s pour les rayonnements laser dont les longueurs d'ondes sont inférieures ou égales à 400 nm et pour les rayonnements laser dont les longueurs d'ondes sont supérieures à 400 nm, lorsque la conception ou la fonction de l'appareil à laser implique une vision intentionnelle sur une longue période.

Il faut que chaque durée d'émission possible, dans les limites de la base de temps, soit considérée en déterminant la classification d'un appareil. Cela signifie que le niveau d'émission d'une impulsion unique doit être comparé à la LEA applicable à la durée de l'impulsion, etc. Il n'est pas suffisant de faire simplement la moyenne des niveaux d'émission pendant la durée de la base de temps de classification, ou d'effectuer simplement l'évaluation pour la valeur de la base de temps sans prendre en compte les durées d'émission plus courtes.

NOTE Pour un appareil à laser à émission de longueurs d'ondes multiples, avec des émissions dans la partie visible et dans la partie non visible du spectre, où l'émission est évaluée comme additive (voir Tableau 2), et où la partie visible en elle-même serait de classe 2 ou 2M ou 3R et la partie non visible en elle-même serait de classe 1 ou 1M, la base de temps pour l'évaluation de l'émission supplémentaire peut être de 0,25 s, même pour la partie non visible.

f) Lasers modulés ou à impulsions répétitives

Les méthodes suivantes doivent être utilisées pour déterminer la classe de l'appareil à laser à appliquer aux émissions en impulsions répétitives ou modulées.

Pour toutes les exigences de longueurs d'ondes, les points 1) et 2) doivent être évalués. De plus, pour les longueurs d'ondes de 400 nm à 10⁶ nm, l'exigence 3) doit également être évaluée afin de comparer avec les limites thermiques. Il n'est pas nécessaire d'évaluer l'exigence 3) afin de comparer avec les limites photochimiques.

La classe (voir les Tableaux 4 à 9) est déterminée en appliquant la plus restrictive des exigences 1), 2) et, si applicable, 3).

- 1) L'exposition à l'une quelconque des impulsions faisant partie du train ne doit pas dépasser la LEA pour une impulsion unique.
- 2) La puissance moyenne pour un train d'impulsions de durée d'émission T LEA_T ne doit pas dépasser la puissance correspondant à la LEA pour une impulsion unique de durée T .

NOTE Afin de la comparer avec LEA_{unique} ou $LEA_{i.u.train}$, il convient de diviser LEA_T par N et de la désigner par $LEA_{i.u.T}$.

- 3) a) Pour une énergie d'impulsion et une durée d'impulsion constantes:

L'énergie par impulsion ne doit pas dépasser la LEA pour une impulsion unique multipliée par le facteur de correction C_5 .

$$LEA_{i.u.train} = LEA_{unique} \times C_5$$

où

$LEA_{i.u.train}$

est la LEA pour une impulsion unique comprise dans le train d'impulsions;

LEA_{unique}

est la LEA pour une impulsion unique (Tableaux 4 à 9);

N

est le nombre effectif d'impulsions dans le train d'impulsions dans la durée d'émission évaluée (lorsque les impulsions apparaissent en l'espace de T_i (voir Tableau 3), N est inférieur au nombre réel d'impulsions, voir ci-dessous). La durée d'émission maximale qu'il est nécessaire de prendre en compte pour l'évaluation, pour des longueurs d'ondes comprises entre 400 nm et 1 400 nm, est T_2 (voir Tableau 10), ou la base de temps applicable, en prenant celle des deux valeurs qui est la plus faible. Pour les longueurs d'ondes supérieures à 1 400 nm, la durée maximale à prendre en compte est de 10 s.

$$C_5 = N^{-0,25}$$

C_5

s'applique uniquement pour les durées d'impulsion individuelles inférieures à 0,25 s.

Si plusieurs impulsions apparaissent au cours de la période T_i (voir Tableau 3), elles sont comptées comme une impulsion unique pour déterminer N et les énergies des impulsions individuelles sont ajoutées pour être comparées à la LEA de T_i .

L'énergie de n'importe quel groupe d'impulsions (ou du sous-groupe d'impulsions dans un train) libérée pendant un temps quelconque donné ne doit pas dépasser la LEA pendant ce temps.

Tableau 3 – Temps en dessous desquels les groupes d'impulsions sont additionnés

Longueur d'onde nm	T_i s
$400 \leq \lambda < 1\,050$	18×10^{-6}
$1\,050 \leq \lambda < 1\,400$	50×10^{-6}
$1\,400 \leq \lambda < 1\,500$	10^{-3}
$1\,500 \leq \lambda < 1\,800$	10
$1\,800 \leq \lambda < 2\,600$	10^{-3}
$2\,600 \leq \lambda \leq 10^6$	10^{-7}

- b) Pour des largeurs d'impulsion ou des intervalles d'impulsion variables:

La méthode du temps total d'impulsions (TOTP; en anglais, *total-on-time-pulse*) doit être utilisée. La LEA est déterminée par la durée du temps total d'impulsions, qui est la somme de toutes les durées des impulsions pendant la durée d'émission ou pendant T_2 , en prenant celle des deux valeurs qui est la moins élevée. Les impulsions dont les durées sont inférieures à T_i ont des durées d'impulsion assignées de T_i . Si deux impulsions ou plus se produisent pendant une durée T_i , il est assigné à ces groupes d'impulsions des durées d'impulsion T_i . Afin de comparer avec la LEA de durée correspondante, toutes les énergies des impulsions individuelles sont ajoutées.

9 Détermination du niveau d'émission accessible

9.1 Essais

Les essais doivent tenir compte de toutes les erreurs et de toutes les incertitudes statistiques du processus de mesure (voir la CEI 61040), ainsi que des variations positives de l'émission et de la dégradation de la sécurité de rayonnement dans le temps. Des exigences spécifiques pour des utilisateurs particuliers peuvent imposer des essais complémentaires.

Les essais exécutés au cours du fonctionnement doivent être utilisés pour déterminer la classification de l'appareil. Les essais exécutés au cours du fonctionnement, de la maintenance et de l'entretien doivent aussi être utilisés de manière appropriée pour déterminer les exigences relatives aux verrouillages de sécurité, à l'étiquetage et aux renseignements destinés à l'utilisateur. Les essais ci-dessus doivent être réalisés dans chacune des conditions de premier défaut raisonnablement prévisibles. Cependant, si l'émission est réduite à un niveau inférieur à la LEA par réduction automatique dans une durée pendant laquelle il n'est pas raisonnablement prévisible de prévoir un accès de personnes, il n'est alors pas nécessaire de prendre en considération de tels défauts.

NOTE 1 La réduction automatique inclut la limitation physique de l'émission, comme la défaillance d'un composant ou d'un système en un état sûr. Elle ne comprend pas la réduction manuelle ni l'interruption de l'émission.

NOTE 2 Par exemple, une sécurité de balayage peut ne pas réagir assez vite pour empêcher les émissions au-dessus de la LEA au cours de la condition de défaut; cependant, cela peut être acceptable pour les appareils pour lesquels l'exposition de personnes est peu probable.

NOTE 3 Les modes acceptables d'analyse de la probabilité et des risques concernant les défaillances sont l'AMDE (analyse des modes de défaillance et de leurs effets), etc. (voir par exemple la CEI 61508). L'analyse de probabilité peut être utilisée pour faciliter la détermination des «conditions de premier défaut raisonnablement prévisibles».

NOTE 4 La classification est déterminée au cours du fonctionnement, et les restrictions de maintenance sont ensuite dépendantes de la classification de l'appareil.

Lors de l'évaluation de l'adéquation des capots de protection pour la prévention de l'accès de personnes à un niveau d'énergie équivalent à la classe 4, il faut que les événements de premier défaut pour tous les changements raisonnablement prévisibles de direction du faisceau soient pris en compte. L'analyse doit indiquer si l'événement de premier défaut entraînera ou non une énergie suffisante pour dégrader ou détruire le capot de protection. Par exemple, lorsqu'au cours du fonctionnement ou d'une condition de premier défaut, l'introduction de la robotique ou d'autres mécanismes de manipulation de faisceau, ou l'utilisation de l'optique ou de pièces de travail, entraînerait une direction de l'énergie sur la surface du capot de protection, l'un des éléments suivants doit se produire:

- le premier défaut doit être éliminé par des moyens techniques; ou
- le matériau du capot doit résister à l'énergie sans dégradation de ses propriétés de protection suffisantes pour permettre une exposition dangereuse à l'énergie laser; ou
- le défaut doit être détecté et l'émission du rayonnement laser à travers le capot de protection doit être empêchée avant que la dégradation ne puisse se produire.

Les temps d'évaluation du capot de protection inférieurs à 30 000 s, comme spécifié dans la CEI 60825-4, ne sont pas appliqués pour la classification de l'appareil.

NOTE 1 Cela vient du fait qu'il faut prendre en compte la classification sans intervention humaine (voir 4.2.1) et par conséquent le contrôle du capot de protection par l'utilisateur n'est pas pris en compte.

NOTE 2 Les évaluations du capot de protection qui prennent en compte le contrôle ou l'intervention de l'homme peuvent être utilisées pour établir des niveaux de sécurité, ou pour la détection de la dégradation potentielle du capot, qui provient d'événements de défaut raisonnablement imprévisibles ou d'événements de défaut multiples, indépendants de la classification de l'appareil.

Des essais ou procédures équivalents peuvent être acceptés.

Les amplificateurs optiques doivent être classés en utilisant la puissance ou l'énergie de sortie totale accessible maximale, pouvant inclure la puissance ou l'énergie d'entrée assignée maximale.

NOTE Dans les cas où il n'y a aucune limite claire de puissance ou d'énergie de sortie, il convient d'utiliser la puissance ou l'énergie maximale ajoutée par l'amplificateur, plus la puissance ou l'énergie nécessaire du signal d'entrée pour satisfaire à cette condition.

9.2 Mesure du rayonnement laser

La mesure des niveaux de rayonnement laser peut être nécessaire pour classer un appareil à laser conformément à 9.1. Les mesures ne sont pas nécessaires quand les caractéristiques physiques ou les limitations de la source laser placent clairement l'appareil à laser ou l'installation laser dans une classe particulière. Les mesures doivent être effectuées dans les conditions et selon les procédures suivantes.

- a) Suivant les conditions et les procédures qui portent au maximum les niveaux d'émission accessible, comprenant la mise en route, l'émission en fonctionnement stable et l'arrêt de l'appareil à laser.
- b) Avec toutes les commandes et réglages énumérés dans les instructions d'emploi, de maintenance et d'entretien, ajustés conjointement pour donner le niveau de rayonnement maximal accessible. Des mesures sont également requises avec l'utilisation d'accessoires, qui peuvent augmenter le danger de rayonnement (par exemple optique de collimation), et qui sont fournis ou proposés par le fabricant pour être utilisés avec l'appareil.

NOTE Cela inclut toute configuration de l'appareil qu'il est possible d'obtenir sans utiliser d'outils et sans rendre inopérant un verrouillage, y compris des configurations et des réglages pour lesquels les instructions de fonctionnement et de maintenance comportent des avertissements. Par exemple, lorsque des éléments optiques tels que des filtres, des diffuseurs ou des lentilles dans le trajet optique du faisceau laser peuvent être retirés sans outils, il faut que l'appareil soit soumis aux essais dans la configuration qui entraîne le niveau de danger le plus élevé. L'instruction donnée par le fabricant de ne pas retirer les éléments optiques ne peut pas justifier la classification dans une classe inférieure. La classification est basée sur la conception technique de l'appareil et ne peut pas être fondée sur le comportement approprié de l'utilisateur.

- c) Pour un appareil à laser autre qu'un système laser, comportant le laser couplé au type d'alimentation laser spécifié comme étant compatible par le fabricant d'appareil à laser et qui génère l'émission maximale de rayonnement accessible, à partir de l'appareil.
- d) Aux points de l'espace où l'accès de personnes est possible au cours du fonctionnement pour mesurer les niveaux d'émission accessible (par exemple, si le fonctionnement peut exiger le démontage de certaines parties du capot de protection et l'annulation des verrouillages de sécurité, des mesures doivent être effectuées aux points accessibles dans cette configuration de l'appareil).
- e) Avec le détecteur de l'instrument de mesure positionné et orienté par rapport à l'appareil à laser de façon telle qu'il en résulte une détection maximale de rayonnement par l'instrument.
- f) Des dispositions appropriées doivent être prises pour éviter ou éliminer la contribution à la mesure d'un rayonnement collatéral.
- g) Classes 1 et 1M

La classe 1 est applicable à la gamme de longueurs d'ondes de 180 nm à 1 mm. La classe 1M est applicable à la gamme de longueurs d'ondes de 302,5 nm à 4 000 nm. Pour la détermination de l'émission accessible dans la condition 1, la condition 2 et la condition 3, voir le Tableau 11.

Pour les longueurs d'ondes inférieures à 302,5 nm et supérieures à 4 000 nm, si l'émission accessible est inférieure aux LEA de la classe 1 pour la condition 3, l'appareil à laser est alors assigné à la classe 1.

Pour les longueurs d'ondes comprises entre 302,5 nm et 4 000 nm:

Si le niveau de rayonnement est:

- inférieur aux LEA de la classe 1 pour la condition 1, la condition 2 et la condition 3, l'appareil à laser est alors assigné à la classe 1.

Si l'émission accessible est:

- supérieure aux LEA de la classe 1 pour la condition 1 ou la condition 2, et
- inférieure aux LEA de la classe 3B pour la condition 1 et la condition 2, et
- inférieure aux LEA de la classe 1 pour la condition 3,

l'appareil à laser est alors assigné à la classe 1M.

NOTE 1 L'émission accessible d'un appareil de la classe 1M dépasse généralement les LEA de la classe 1 pour la condition 1 ou la condition 2. Cependant, elle peut aussi être de classe 1M lorsqu'elle dépasse ces LEA pour les conditions 1 et 2.

NOTE 2 La raison de la vérification des LEA de la classe 3B est de limiter la puissance maximale passant par un instrument d'optique.

Si l'émission accessible dépasse la valeur donnée au Tableau 9 pour les LEA de la classe 3B, comme déterminé avec une ouverture de 3,5 mm de diamètre placée au point le plus proche de l'accès de personnes, un avertissement supplémentaire concernant un danger potentiel pour la peau doit être donné (voir 5.2).

NOTE 3 Il est possible qu'un appareil à laser de classe 1M avec un faisceau fortement divergent puisse produire des niveaux d'éclairement énergétique suffisamment élevés près de la source ou en contact avec la source (par exemple une extrémité de fibre), de telle sorte que des lésions de la peau sont possibles.

- h) Classes 2 et 2M

Les classes 2 et 2M sont applicables à la gamme de longueurs d'ondes de 400 nm à 700 nm. Pour la détermination de l'émission accessible dans la condition 1, la condition 2 et la condition 3, voir le Tableau 11.

Si l'émission accessible dépasse les limites requises pour la classe 1 et pour la classe 1M (voir le point g)) et est:

- inférieure aux LEA de la classe 2 pour la condition 1, la condition 2 et la condition 3, l'appareil à laser est alors assigné à la classe 2.

Si l'émission accessible dépasse les limites requises pour la classe 1 et pour la classe 1M (voir le point g)) et est:

- supérieure aux LEA de la classe 2 pour la condition 1 ou la condition 2, et
- inférieure aux LEA de la classe 3B pour la condition 1 et la condition 2, et
- inférieure aux LEA de la classe 2 pour la condition 3,

l'appareil à laser est alors assigné à la classe 2M.

NOTE 1 La raison de la vérification des LEA de la classe 3B est de limiter la puissance maximale passant par un instrument d'optique et d'empêcher des niveaux élevés d'éclairement énergétique près de sources divergentes ou en contact avec des sources divergentes, ce qui peut conduire à des lésions de la peau.

NOTE 2 L'émission accessible d'un appareil de la classe 2M dépasse généralement les LEA de la classe 2 pour la condition 1 ou la condition 2. Cependant, elle peut aussi être de classe 2M lorsqu'elle dépasse les LEA de la classe 2 pour les conditions 1 et 2.

Si l'émission accessible dépasse les LEA de la classe 3B, comme déterminé avec une ouverture de 3,5 mm de diamètre placée au point le plus proche de l'accès de personnes, un avertissement supplémentaire concernant un danger potentiel pour la peau doit être donné (voir 5.3).

NOTE 3 Il est possible qu'un appareil à laser de classe 2M avec un faisceau fortement divergent puisse produire des niveaux d'éclairement énergétique suffisamment élevés près de la source ou en contact avec la source (par exemple une extrémité de fibre), de telle sorte que des lésions de la peau sont possibles.

i) Classes 3R, 3B

Si le niveau de rayonnement, tel que déterminé conformément à 9.3, pour la condition 1, la condition 2 et la condition 3, est inférieur ou égal aux LEA de la classe 3R ou de la classe 3B, l'appareil à laser est assigné à la classe 3R ou à la classe 3B, respectivement. Voir aussi la note sous le premier alinéa du Paragraphe 8.3.

j) Classe 4

Si le niveau de rayonnement, tel que déterminé conformément à 9.3, pour la condition 1, la condition 2 ou la condition 3, dépasse les LEA de la classe 3B, l'appareil doit être assigné à la classe 4.

Tableau 4 – Limites d'émission accessible pour les appareils à laser des classes 1 et 1M et $C_6 = 1$ a, b

Durée d'émission t s											
Longueur d'onde λ nm	10^{-13} à 10^{-11}	10^{-11} à 10^{-9}	10^{-9} à 10^{-7}	10^{-7} à $1,8 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-5}$ à 5×10^{-5}	5×10^{-5} à 1×10^{-3}	1×10^{-3} à $0,35$	$0,35$ à 10	10 à 10^2	10^2 à 10^3	10^3 à 3×10^4
180 à 302,5	30 J·m ⁻²										
302,5 à 315	Danger photochimique $7,9 \times 10^{-7} C_2 J$ ($t > T_1$)										
315 à 400	Danger thermique ($t \leq T_1$) $7,9 \times 10^{-7} C_1 J$										
400 à 450	$7,9 \times 10^{-7} C_1 J$										
450 à 500	$5,8 \times 10^{-9} J$	$1,0 t^{0,75} J$	$2 \times 10^{-7} J$	$7 \times 10^{-4} t^{0,75} J$	$7,9 \times 10^{-3} J$						
500 à 700	$3,9 \times 10^{-3} J$										
700 à 1 050	$5,8 \times 10^{-9} C_4 J$	$1,0 t^{0,75} C_4 J$	$2 \times 10^{-7} C_4 J$	$7 \times 10^{-4} t^{0,75} C_4 J$	$3,9 \times 10^{-3} J$						
1 050 à 1 400	$5,8 \times 10^{-8} C_7 J$	$10,4 t^{0,75} C_7 J$	$2 \times 10^{-6} C_7 J$	$3,5 \times 10^{-3} t^{0,75} C_7 J$	$3,9 \times 10^{-3} C_3 J$ et c						
1 400 à 1 500	$8 \times 10^5 W$		$8 \times 10^{-4} J$	$10^{-2} t J$	$3,9 \times 10^{-4} W$						
1 500 à 1 800	$8 \times 10^6 W$		$8 \times 10^{-3} J$	$1,8 \times 10^{-2} t^{0,75} J$	$3,9 \times 10^{-4} C_4 C_7 W$						
1 800 à 2 600	$8 \times 10^5 W$		$8 \times 10^{-4} J$	$10^{-2} t J$	$1,0 \times 10^{-2} W$						
2 600 à 4 000	$8 \times 10^4 W$		$8 \times 10^{-5} J$	$4,4 \times 10^{-3} t^{0,25} J$	$1,0 \times 10^{-2} W$						
4 000 à 10 ⁶	$10^{11} W \cdot m^{-2}$		100 J·m ⁻²	$5 600 t^{0,25} J \cdot m^{-2}$	$1 000 W \cdot m^{-2}$						

NOTE Les appareils à laser qui satisfont aux exigences de classification en classe 1 en satisfaisant aux conditions de mesure 1 et 2 peuvent être dangereux lorsqu'ils sont utilisés avec des optiques d'observation ayant un grossissement supérieur à $\times 7$ ou des diamètres d'objectifs supérieurs à ceux spécifiés au Tableau 11.

a Pour les facteurs de correction et les unités, voir le Tableau 10.

b Les LEA pour des durées d'émission inférieures à 10^{-13} s sont réglées pour être égales aux valeurs équivalentes de puissance ou d'éclairement énergétique de la LEA à 10^{-13} s.

c Dans la gamme des longueurs d'ondes entre 400 nm et 600 nm, des limites conjuguées s'appliquent et l'émission d'un appareil ne doit pas dépasser l'une ou l'autre limite applicable à la classe assignée.

Tableau 5 – Limites d'émission accessible pour les appareils à laser des classes 1 et 1M dans la gamme de longueurs d'ondes de 400 nm à 1 400 nm (domaine spectral de danger rétinien): sources étendues^{a, b, c, d, e}

Longueur d'onde λ nm	Durée d'émission t s					
	10 ⁻¹³ à 10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹ à 10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ à 10 ⁻⁷	1,8 × 10 ⁻⁵ à 5 × 10 ⁻⁵	5 × 10 ⁻⁵ à 10	10 à 10 ⁴
400 à 700	5,8 × 10 ⁻⁹ C ₄ C ₆ J	1,0 t ^{0,75} C ₆ J	2 × 10 ⁻⁷ C ₄ C ₆ J	2 × 10 ⁻⁴ t ^{0,75} C ₆ J	7 × 10 ⁻⁴ t ^{0,75} C ₆ J	400 nm à 600 nm – Danger photochimique pour la rétine ^d 3,9 × 10 ⁻³ C ₃ J en utilisant $\gamma_{ph} = 11$ mrad 3,9 × 10 ⁻⁵ C ₃ W en utilisant $\gamma_{ph} = 1,1$ t ^{0,5} mrad ET ^c 400 nm à 700 nm – Danger thermique pour la rétine $(t \leq T_2)$ 7 × 10 ⁻⁴ t ^{0,75} C ₆ J $(t > T_2)$ 7 × 10 ⁻⁴ C ₄ C ₆ C ₇ J $(t \leq T_2)$ 7 × 10 ⁻⁴ t ^{0,75} C ₆ J $(t > T_2)$ 7 × 10 ⁻⁴ C ₄ C ₆ C ₇ J
700 à 1 050	5,8 × 10 ⁻⁹ C ₄ C ₆ J	1,0 t ^{0,75} C ₄ C ₆ J	2 × 10 ⁻⁷ C ₄ C ₆ J	7 × 10 ⁻⁴ t ^{0,75} C ₄ C ₆ J	3,5 × 10 ⁻³ t ^{0,75} C ₆ C ₇ J	3,9 × 10 ⁻⁵ C ₃ W en utilisant $\gamma_{ph} = 110$ mrad
1 050 à 1 400	5,8 × 10 ⁻⁸ C ₆ C ₇ J	10,4 t ^{0,75} C ₆ C ₇ J	2 × 10 ⁻⁶ C ₆ C ₇ J	3,5 × 10 ⁻³ t ^{0,75} C ₆ C ₇ J	7 × 10 ⁻⁴ C ₄ C ₆ C ₇ J	3,9 × 10 ⁻⁵ C ₃ W en utilisant $\gamma_{ph} = 110$ mrad

NOTE Les appareils à laser qui satisfont aux exigences de classification en classe 1 en satisfaisant aux conditions de mesure 1 et 2 peuvent être dangereux lorsqu'ils sont utilisés avec des optiques d'observation ayant un grossissement supérieur à ×7 ou des diamètres d'objectifs supérieurs à ceux spécifiés au Tableau 11.

^a Pour les facteurs de correction et les unités, voir le Tableau 10.
^b Les LEA pour une durée d'émission inférieure à 10⁻¹³ s sont réglées pour être égales aux valeurs équivalentes de puissance ou d'éclairement énergétique de la LEA à 10⁻¹³ s.
^c Dans la gamme des longueurs d'ondes entre 400 nm et 600 nm, des limites conjuguées s'appliquent et l'émission d'un appareil ne doit pas dépasser l'une ou l'autre limite applicable à la classe assignée.
^d L'angle γ_{ph} est l'angle d'admission de mesure limite.
^e Si des temps d'exposition entre 1 s et 10 s sont utilisés, pour des longueurs d'ondes entre 400 nm et 484 nm et pour des dimensions de source apparente comprises entre 1,5 mrad et 82 mrad, la limite du danger photochimique conjuguée de 3,9 × 10⁻³ C₃ J est étendue à 1 s.

**Tableau 6 – Limites d'émission accessible pour les appareils à laser
des classes 2 et 2M**

Longueur d'onde λ nm	Durée d'émission t s	LEA pour la classe 2
400 à 700	$t < 0,25$ $t \geq 0,25$	Même LEA que pour la classe 1 $C_6 \times 10^{-3} \text{ W}^a$
NOTE Les appareils à laser qui satisfont aux exigences de classification en classe 2 en satisfaisant aux conditions de mesure 1 et 2 peuvent être dangereux lorsqu'ils sont utilisés avec des optiques d'observation ayant un grossissement supérieur à $\times 7$ ou des diamètres d'ouverture supérieurs à ceux spécifiés au Tableau 11.		
^a Pour les facteurs de correction et les unités, voir le Tableau 10.		

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60825-1:2007

Without 2M

Tableau 8 – Limites d'émission accessible pour les appareils à laser de classe 3R dans la gamme de longueurs d'ondes de 400 nm à 1 400 nm (domaine spectral de danger rétinien): sources étendues^{a, b}

Longueur d'onde λ nm	Durée d'émission t s									
	10 ⁻¹³ à 10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹ à 10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ à 10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ à 10 ⁻⁵	1,8 × 10 ⁻⁵ à 5 × 10 ⁻⁵	5 × 10 ⁻⁵ à 1 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻³ à 0,35	0,35 à 10	10 à 10 ³	10 ³ à 3 × 10 ⁴
400 à 700	2,9 × 10 ⁻⁸ C ₆ J	5,0 t 0,75 C ₆ J	1 × 10 ⁻⁶ C ₆ J	5,0 × 10 ⁻³ C ₆ W (t ≥ 0,25 s)						
				(t < 0,25 s)						
				3,5 × 10 ⁻³ t 0,75 C ₆ J						
700 à 1 050	2,9 × 10 ⁻⁸ C ₄ C ₆ J	5,0 t 0,75 C ₄ C ₆ J	1 × 10 ⁻⁶ C ₄ C ₆ J	3,5 × 10 ⁻³ t 0,75 C ₄ C ₆ J						
				(t ≤ T ₂)						
				3,5 × 10 ⁻³ C ₄ C ₆ C ₇ T ₂ -0,25 W (t > T ₂)						
1 050 à 1 400	2,9 × 10 ⁻⁷ C ₆ C ₇ J	52 t 0,75 C ₆ C ₇ J	1 × 10 ⁻⁵ C ₆ C ₇ J	1,8 × 10 ⁻² t 0,75 C ₆ C ₇ J						
				5,0 × 10 ⁻² W						

^a Pour les facteurs de correction et les unités, voir le Tableau 10.

^b Les LEA pour des durées d'émission inférieures à 10⁻¹³ s sont réglées pour être égales aux valeurs équivalentes de puissance ou d'éclairement énergétique de la LEA à 10⁻¹³ s.

Tableau 9 – Limites d'émission accessible pour les appareils à laser de classe 3B

Longueur d'onde λ nm	Durée d'émission t s		
	$<10^{-9}$	10^{-9} à 0,25	0,25 à 3×10^4
180 à 302,5	$3,8 \times 10^5$ W	$3,8 \times 10^{-4}$ J	$1,5 \times 10^{-3}$ W
302,5 à 315	$1,25 \times 10^4$ C_2 W	$1,25 \times 10^{-5}$ C_2 J	5×10^{-5} C_2 W
315 à 400	$1,25 \times 10^8$ W	0,125 J	0,5 W
400 à 700	3×10^7 W	0,03 J pour $t < 0,06$ s 0,5 W pour $t \geq 0,06$ s	0,5 W
700 à 1 050	3×10^7 C_4 W	0,03 C_4 J pour $t < 0,06$ C_4 s 0,5 W pour $t \geq 0,06$ C_4 s	0,5 W
1 050 à 1 400	$1,5 \times 10^8$ W	0,15 J	0,5 W
1 400 à 10^6	$1,25 \times 10^8$ W	0,125 J	0,5 W
Pour les facteurs de correction et les unités, voir le Tableau 10.			

Les facteurs de correction C_1 à C_7 et les valeurs de transition T_1 et T_2 utilisés dans les Tableaux 4 à 9 sont définis par les expressions suivantes (voir Tableau 10).

Tableau 10 – Facteurs de correction et valeurs de transition utilisés dans les évaluations des LEA et des EMP

Paramètre	Domaine spectral nm
$C_1 = 5,6 \times 10^3 t^{0,25}$	180 à 400
$T_1 = 10^{0,8(\lambda - 295)} \times 10^{-15} \text{ s}$	302,5 à 315
$C_2 = 30$	180 à 302,5
$C_2 = 10^{0,2(\lambda - 295)}$	302,5 à 315
$T_2 = 10 \times 10^{[(\alpha - \alpha_{\min})/98,5]} \text{ s}$	400 à 1 400
$T_2 = 10 \text{ s pour } \alpha < 1,5 \text{ mrad}$	400 à 1 400
$T_2 = 100 \text{ s pour } \alpha > 100 \text{ mrad}$	400 à 1 400
$C_3 = 1,0$	400 à 450
$C_3 = 10^{0,02(\lambda - 450)}$	450 à 600
$C_4 = 10^{0,002(\lambda - 700)}$	700 à 1 050
$C_4 = 5$	1 050 à 1 400
$C_5 = N^{-1/4} \text{ a}$	400 à 10^6
$C_6 = 1$	180 à 400 et 1 400 à 10^6
$C_6 = 1 \text{ pour } \alpha \leq \alpha_{\min}^b$	400 à 1 400
$C_6 = \alpha/\alpha_{\min} \text{ pour } \alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max}^b$	400 à 1 400
$C_6 = \alpha_{\max}/\alpha_{\min} = 66,7 \text{ pour } \alpha > \alpha_{\max}^{b,c}$	400 à 1 400
$C_7 = 1$	700 à 1 150
$C_7 = 10^{0,018(\lambda - 1 150)}$	1 150 à 1 200
$C_7 = 8$	1 200 à 1 400
$\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad}$ $\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$ N est le nombre d'impulsions contenues dans la durée applicable (voir 8.3 f) et l'Article A.3).	
NOTE 1 Il n'y a qu'un nombre restreint de témoignages concernant les effets des expositions d'une durée inférieure à 10^{-9} s pour des longueurs d'ondes inférieures à 400 nm et supérieures à 1 400 nm. Les LEA pour ces durées d'émission et longueurs d'ondes ont été extrapolées en calculant la puissance rayonnante ou l'éclairement énergétique équivalent(e) à partir de la puissance rayonnante ou de l'exposition énergétique s'appliquant à 10^{-9} s pour des longueurs d'ondes inférieures à 400 nm et supérieures à 1 400 nm. NOTE 2 Voir le Tableau 11 pour les diaphragmes et le Tableau A.4 pour les ouvertures délimitantes. NOTE 3 Dans les formules des Tableaux 4 à 9 et dans ces notes, il faut que la longueur d'onde soit exprimée en nanomètres, la durée d'émission t en secondes et α en milliradians. NOTE 4 Pour les durées d'émission qui représentent les extrémités des intervalles de temps (par exemple 10 s) donnés dans les Tableaux 4 à 9, la limite inférieure s'applique. Lorsque le symbole «<» est utilisé, cela signifie inférieur ou égal à.	
^a C_5 n'est applicable qu'aux impulsions de durées inférieures à 0,25 s. ^b C_6 n'est applicable qu'aux lasers à impulsions et aux lasers à émission continue pour les limites thermiques pour la rétine. ^c L'angle d'admission limite maximal γ_{th} doit être égal à $\alpha_{\max}$ (se reporter toutefois à 8.4 d))	

9.3 Géométrie de mesure

9.3.1 Généralités

Trois conditions de mesure sont spécifiées pour la détermination de l'émission accessible. Les conditions 1 et 2 s'appliquent pour des longueurs d'ondes pour lesquelles la vision assistée optiquement peut augmenter le danger. La condition 1 est destinée à s'appliquer aux faisceaux collimatés pour lesquels les télescopes et les jumelles peuvent augmenter le danger, et la condition 2 est destinée à s'appliquer aux sources avec une sortie fortement divergente pour lesquelles l'utilisation des microscopes, des loupes à main et des loupes d'horloger peut augmenter le danger. La condition 3 s'applique à l'œil nu. Pour la mesure de la puissance et de l'énergie du rayonnement laser à balayage, la condition 3 doit être utilisée.

La plus restrictive des conditions de mesure applicables doit être appliquée. Si la condition la plus restrictive n'est pas évidente, chaque condition applicable doit être évaluée.

Les deux modèles d'évaluation suivants sont spécifiés.

- a) Une méthode simplifiée (par défaut), où l'essai pour la classification est effectué à une distance fixe par rapport au point de référence, qui peut généralement être facilement identifiée. Pour cette évaluation simplifiée, il n'est pas nécessaire de déterminer le diamètre apparent de la source apparente, étant donné que C_6 (voir Tableau 10) est égal à l'unité.
- b) Pour un rayonnement avec des longueurs d'ondes dans le domaine spectral de danger rétinien de 400 nm à 1 400 nm, lorsque la LEA est augmentée par un paramètre C_6 avec des valeurs supérieures à 1 pour les sources étendues, il est nécessaire d'évaluer la classe de l'appareil (c'est-à-dire de comparer la valeur d'émission accessible avec la LEA correspondante) à la position la plus restrictive dans le faisceau. Cette deuxième méthode est plus complexe que l'évaluation par défaut de a) ci-dessus mais, pour les sources étendues, elle peut permettre des valeurs d'émission accessible plus élevées.

NOTE La position la plus restrictive ne se situe pas, dans de nombreux cas, à une distance de 100 mm du point de référence utilisé pour l'évaluation principale, mais plus loin. La détermination du diamètre apparent de la source apparente à une distance de 100 mm du point de référence entraînerait, dans ces cas, une LEA qui dépasse la LEA déterminée à la position la plus restrictive.

Si l'évaluation simplifiée (par défaut) entraîne la classification désirée, il n'est pas nécessaire d'effectuer l'évaluation complète pour les sources étendues (voir 9.3.2), même si la source réelle peut être étendue et le facteur réel C_6 peut être supérieur à 1 et la position la plus restrictive est différente de la position donnée au Tableau 11.

NOTE Si la source est une diode laser nue ou si elle émet un faisceau laser bien collimaté, l'évaluation simplifiée (par défaut) est généralement appropriée, c'est-à-dire qu'elle produit des résultats équivalents à ceux de la méthode de la source étendue décrite en 9.3.3.

9.3.2 Évaluation par défaut (simplifiée)

Les distances de mesure simplifiées par défaut du Tableau 11 sont applicables:

- pour les sources avec des longueurs d'ondes inférieures à 400 nm et supérieures à 1 400 nm, ou
- si le facteur C_6 est égal à 1, ou
- pour la limite photochimique pour la rétine, pour des valeurs de bases de temps supérieures à 100 s, lorsque l'angle d'admission de mesure n'est pas restreint (c'est-à-dire qu'il doit être au moins aussi grand que le diamètre apparent de la source apparente),
- pour les autres limites qui ne sont ni des limites photochimiques ni des limites thermiques (c'est-à-dire qui ne dépendent pas de C_6) pour la rétine (telles que les LEA de la classe 3B).

Les distances spécifiées au Tableau 11 sont définies comme les distances par rapport aux points de référence énumérés au Tableau 12.

Tableau 11 – Diamètres d'ouverture de mesure et distances de mesure pour l'évaluation par défaut (simplifiée)

	Condition 1 <i>appliquée au faisceau collimaté où un télescope ou des jumelles, par exemple, peuvent augmenter le danger</i>		Condition 2 <i>appliquée au faisceau divergent où des loupes ou des microscopes, par exemple, peuvent augmenter le danger</i>		Condition 3 <i>appliquée pour déterminer l'irradiation applicable à l'œil nu et aux faisceaux à balayage</i>	
Longueur d'onde nm	Diaphragme mm	Distance mm	Diaphragme mm	Distance mm	Diaphragme/ ouverture délimitante mm	Distance mm
< 302,5	–	–	–	–	1	0
≥ 302,5 à 400	25	2 000	7	70	1	100
≥ 400 à 1 400	50	2 000	7	70	7	100
≥ 1 400 à 4 000	7 × condition 3	2 000	7	70	1 pour $t \leq 0,35$ s $1,5 t^{3/8}$ pour $0,35$ s < $t < 10$ s 3,5 pour $t \geq 10$ s (t en s)	100
≥ 4 000 à 10^5	–	–	–	–	1 pour $t \leq 0,35$ s $1,5 t^{3/8}$ pour $0,35$ s < $t < 10$ s 3,5 pour $t \geq 10$ s (t en s)	0
≥ 10^5 à 10^6	–	–	–	–	11	0

NOTE Les descriptions figurant sous les titres «Condition» sont des cas typiques donnés uniquement à titre d'information et ne sont pas destinées à être exclusives.

Tableau 12 – Points de référence

Type d'appareil	Point de référence
Emetteurs à semiconducteurs (DEL, diodes laser, diodes superluminescentes)	Emplacement physique de la puce émettrice
Emission à balayage (y compris les lasers linéaires à balayage)	Sommet du balayage (point pivot du faisceau à balayage)
Laser linéaire	Point de focalisation de la ligne (sommet de l'angle d'étalement)
Sortie de la fibre	Extrémité de la fibre
Sources totalement diffuses	Surface du diffuseur
Autres	Col du faisceau

NOTE Si le point de référence est situé à l'intérieur du capot de protection (c'est-à-dire s'il n'est pas accessible) à une distance du point le plus proche de l'accès de personnes supérieure à la distance de mesure spécifiée au Tableau 11, il faut que la mesure soit effectuée au point le plus proche de l'accès de personnes.

9.3.3 Condition d'évaluation pour les sources étendues

Pour les longueurs d'ondes dans le domaine spectral de danger rétinien (400 nm à 1 400 nm), l'émission accessible et la LEA pour la classification doivent être déterminées à la position la plus restrictive:

- lorsqu'une valeur de C_6 supérieure à 1 est considérée pour la détermination de la LEA, ou
- lorsqu'un angle d'admission limite est considéré pour la détermination de l'émission accessible afin de comparer avec les limites photochimiques pour la rétine.

L'émission accessible et la LEA (C_6) sont déterminées ensemble (c'est-à-dire qu'il s'agit de valeurs couplées) en différents emplacements à l'intérieur du faisceau, et les valeurs obtenues pour la position la plus restrictive sont utilisées pour déterminer la classe de l'appareil. Cela implique que l'émission accessible (qui est comparée à la LEA) et la LEA sont déterminées pour le même emplacement à l'intérieur du faisceau, c'est-à-dire que le diamètre apparent de la source apparente α (et par conséquent C_6) est déterminé à l'emplacement du diaphragme qui est utilisé pour déterminer l'émission accessible.

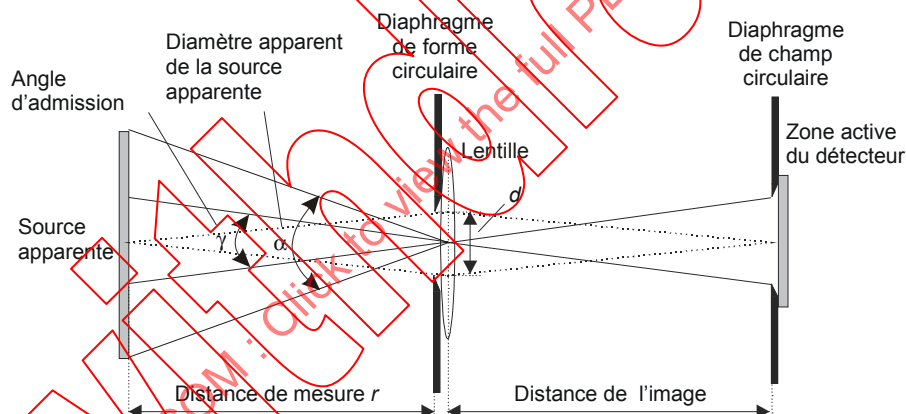
NOTE 1 Dans le cas où la divergence du faisceau laser est inférieure à 1,5 mrad, alors le diamètre apparent de la source apparente α est $\alpha_{\min}$ et la détermination de l'émission accessible peut être effectuée dans les conditions spécifiées en 9.3.1.

NOTE 2 Si la source est diffuse, par exemple un faisceau laser reçu par une plaque déflectrice de transmission, le diffuseur peut alors être considéré comme l'emplacement de la source apparente et le modèle d'émission au niveau du diffuseur peut être utilisé pour déterminer le diamètre apparent de la source apparente (voir 8.3 d)) pour la méthode d'évaluation des modèles non uniformes).

NOTE 3 Dans certains montages plus complexes avec des sources multiples ou des points de focalisation multiples, il peut être plus approprié d'utiliser une technique plus élaborée, telle que le lancer de rayon.

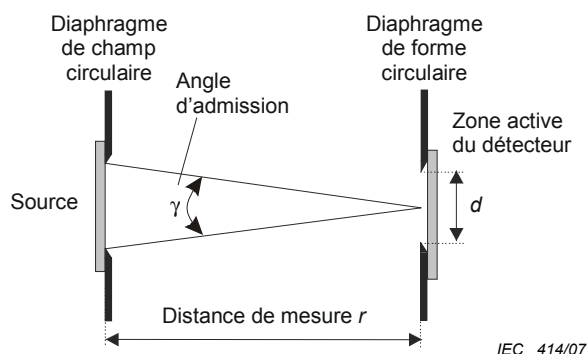
a) Diamètres d'ouverture

Pour la condition 1 et la condition 3, pour la détermination de l'émission accessible, ainsi que du diamètre apparent de la source apparente (les deux devant être déterminés à la position la plus restrictive dans le faisceau), les diamètres d'ouverture et les distances de mesures minimales spécifiés au Tableau 11 doivent être utilisés (voir Figures 3 et 4).



IEC 413/07

Figure 3 – Installation de mesure pour limiter l'angle d'admission par formation de l'image de la source apparente sur le plan du diaphragme de champ

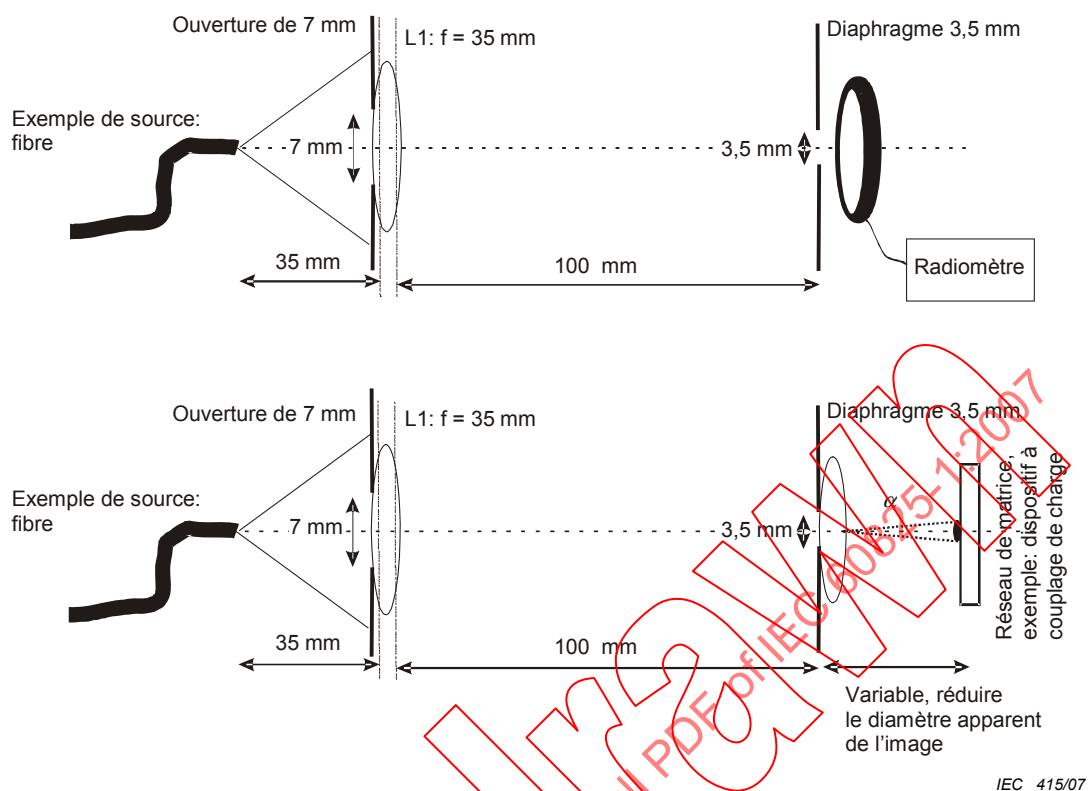


NOTE Lorsque la source apparente n'est pas accessible, cette installation n'est pas appropriée.

Figure 4 – Installation de mesure pour limiter l'angle d'admission en plaçant une ouverture circulaire ou un masque (servant de diaphragme de champ) près de la source apparente

Pour la condition 2, pour la détermination de l'émission accessible, ainsi que du diamètre apparent de la source apparente, une lentille positive L1 avec une longueur focale de 35 mm et une ouverture de 7 mm de diamètre doit être placée (voir Figure 5) à une distance de 35 mm du point de référence donné au Tableau 12. Le diaphragme pour la détermination de l'émission accessible ainsi que pour la détermination du diamètre apparent de la source apparente doit être placé à une distance de 100 mm de la lentille L1 et le diamètre de ce diaphragme doit être de 3,5 mm.

NOTE La lentille L1 représente une loupe avec un grossissement $\times 7$. Lorsque des sources divergentes sont placées au niveau du point de focalisation de la lentille, le rayonnement est collimaté, affectant ainsi l'émission accessible déterminée avec le diaphragme ainsi que le diamètre apparent de la source apparente. Etant donné que toutes les distances sont fixées, pour la condition 2, il n'est pas nécessaire d'identifier la position la plus restrictive.



IEC 415/07

Figure 5 – Installation expérimentale pour la détermination de l'émission accessible (au-dessus) et du diamètre apparent de la source apparente (en dessous) pour la condition 2 lorsqu'une source étendue doit être prise en compte (c'est-à-dire en n'utilisant pas l'évaluation simplifiée par défaut)

b) Angle d'admission

L'angle d'admission est déterminé par le rapport du diamètre du diaphragme de champ et de la distance lentille-diaphragme de champ (distance de l'image) (Figure 3), ou par le rapport du diamètre du diaphragme de champ et de la distance source-détecteur (Figure 4). Les pertes dues à la lentille doivent être prises en considération.

Pour les conditions 2 et 3, l'angle d'admission pour la détermination du niveau d'émission accessible doit être tel qu'indiqué en 1) et 2) ci-dessous. Pour la condition 1, l'angle d'admission est déterminé en divisant les valeurs données en 1) et 2) par un facteur 7.

1) Limites photochimiques pour la rétine

Pour ce qui concerne les mesures des sources à évaluer par rapport aux limites photochimiques (400 nm à 600 nm), l'angle d'admission limite γ_{ph} est donné au Tableau 13.

Tableau 13 – Angle d'admission limite γ_{ph}

Durée d'émission s	γ_{ph} pour la condition 1 mrad	γ_{ph} pour la condition 2 et la condition 3 mrad
$10 < t \leq 100$	1,57	11
$100 < t \leq 10^4$	$0,16 \times t^{0,5}$	$1,1 t^{0,5}$
$10^4 < t \leq 3 \times 10^4$	16	110

Si le diamètre apparent de la source α est supérieur à l'angle d'admission limite spécifié γ_{ph} , il convient que ce dernier ne soit pas supérieur aux valeurs spécifiées pour γ_{ph} . Si le diamètre apparent de la source α est inférieur à l'angle d'admission limite spécifié γ_{ph} , ce dernier doit entièrement entourer la source en question, mais sinon, il n'a pas à être bien défini (c'est-à-dire que l'angle d'admission n'a pas à être limité à γ_{ph}).

NOTE Pour les mesures de sources discrètes, où $\alpha < \gamma_{ph}$, il ne sera pas nécessaire de le faire avec un angle d'admission spécifique et bien défini. Pour obtenir un angle d'admission bien défini, il peut être défini, soit par formation d'une image de la source sur un diaphragme de champ, soit en masquant partiellement la source – voir respectivement les Figures 3 et 4.

2) Toutes les autres limites pour la rétine

Pour ce qui concerne la mesure du rayonnement, à comparer aux limites pour la rétine autres que celles photochimiques, l'angle d'admission doit entourer entièrement la source en question (c'est-à-dire que l'angle d'admission doit être au moins aussi grand que le diamètre apparent de la source α). Cependant, si $\alpha > \alpha_{max}$, l'angle d'admission limite est α_{max} (100 mrad). Dans la gamme de longueurs d'ondes de 400 nm à 1 400 nm, pour ce qui concerne l'évaluation d'une source apparente se composant de plusieurs points, il est nécessaire de faire varier l'angle d'admission dans la plage $\alpha_{min} \leq \gamma \leq \alpha_{max}$ (voir 8.3 d)).

Annexe A (informative)

Valeurs d'exposition maximale permise

A.1 Remarques générales

Les limites d'émission accessible (LEA) sont généralement déduites des expositions maximales permises (EMP). Les EMP ont été incluses dans la présente annexe afin de fournir aux fabricants des informations supplémentaires pouvant faciliter l'évaluation des aspects de sécurité liés à l'utilisation prévue de leur appareil (telle que la détermination de la DNRO).

NOTE Des calculs simplifiés peuvent sous-estimer de façon significative la DNRO. Par exemple, lorsque l'ouverture laser est à l'intérieur d'une plage importante de Raleigh, lorsqu'il y a un col de faisceau externe, ou lorsque le profil de faisceau est tel que la puissance qui traverse une ouverture est sous-estimée lorsqu'un profil de faisceau gaussien est supposé. Dans de tels cas, il est généralement avantageux de déterminer la DNRO par des mesures.

Les valeurs d'exposition maximale permise contenues dans ce document sont retenues à partir des valeurs limites d'exposition publiées par la Commission internationale pour la protection contre les rayonnements non ionisants (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Les valeurs d'EMP sont fixées en dessous des niveaux de danger connus et sont fondées sur les meilleurs renseignements disponibles obtenus par les études expérimentales. Il convient que les valeurs des EMP soient utilisées comme guides dans le contrôle des expositions et ne soient pas considérées comme des frontières précises entre les niveaux de sécurité et les niveaux de danger. Dans tous les cas, il convient que l'exposition au rayonnement laser soit aussi faible que possible.

Il convient d'admettre que des expositions à des rayonnements à plusieurs longueurs d'ondes ont un effet additif en proportion de leur efficacité spectrale conformément aux EMP des Tableaux A.1, A.2 et A.3, sous réserve que les domaines spectraux soient indiqués comme additifs par les symboles (o) pour l'exposition oculaire et (p) pour l'exposition de la peau dans le Tableau 2. Quand les longueurs d'ondes rayonnées ne sont pas indiquées comme additives, il convient d'évaluer les dangers séparément.

Longueur d'onde λ nm	Temps d'exposition t ^s						
	10 ⁻¹³ à 10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹ à 10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ à 10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ à 1,8 × 10 ⁻⁵	1,8 × 10 ⁻⁵ à 5 × 10 ⁻⁵	5 × 10 ⁻⁵ à 1 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻³ à 10
180 à 302,5	30 J·m ⁻²						
302,5 à 315	Danger thermique ^d (t ≤ T ₁) C ₁ J·m ⁻²						
315 à 400	Danger photochimique ^d (t > T ₁) C ₂ J·m ⁻²						
400 à 450	10 ⁴ J·m ⁻²						
450 à 500	1,5 × 10 ⁻⁴ J·m ⁻²	2,7 × 10 ⁴ t ^{0,75} J·m ⁻²	5 × 10 ⁻³ J·m ⁻²	5 × 10 ⁻² C ₇ J·m ⁻²	18 t ^{0,75} J·m ⁻²	100 J·m ⁻² 100 C ₃ J·m ⁻² et ^c 10 W·m ⁻²	C ₃ W·m ⁻²
500 à 700	1,5 × 10 ⁻⁴ C ₄ J·m ⁻² 1,5 × 10 ⁻³ C ₇ J·m ⁻²	2,7 × 10 ⁴ t ^{0,75} C ₄ J·m ⁻² 2,7 × 10 ⁵ t ^{0,75} C ₇ J·m ⁻²	5 × 10 ⁻³ C ₄ J·m ⁻² 5 × 10 ⁻² C ₇ J·m ⁻²	18 t ^{0,75} C ₄ J·m ⁻² 90 t ^{0,75} C ₇ J·m ⁻²	10 C ₄ C ₇ W·m ⁻²	10 W·m ⁻²	
700 à 1 050	10 ¹² W·m ⁻²	10 ¹³ W·m ⁻²	10 ³ J·m ⁻²	10 ⁴ J·m ⁻²	5 600 t ^{0,25} J·m ⁻²	1 000 W·m ⁻²	
1 050 à 1 400	10 ¹² W·m ⁻²	10 ¹² W·m ⁻²	10 ³ J·m ⁻²	10 ³ J·m ⁻²	5 600 t ^{0,25} J·m ⁻²		
1 400 à 1 500	10 ¹¹ W·m ⁻²	10 ¹¹ W·m ⁻²	100 J·m ⁻²	5 600 t ^{0,25} J·m ⁻²			
1 500 à 1 800							
1 800 à 2 600							
2 600 à 10 ⁶							

a Pour les facteurs de correction et les unités, voir le Tableau 10.

b Les EMP pour des durées d'exposition inférieures à 10⁻⁹ s et pour les longueurs d'ondes inférieures à 400 nm et supérieures à 1 400 nm ont été extrapolées en calculant l'éclairement énergétique équivalent à partir des limites d'exposition énergétique à 10⁻⁹ s. Les EMP pour des durées d'exposition inférieures à 10⁻¹³ s sont réglées pour être égales aux valeurs équivalentes d'éclairement énergétique des EMP à 10⁻¹³ s.

c Dans la gamme des longueurs d'ondes entre 450 nm et 500 nm, des limites conjuguées s'appliquent et il ne faut pas que l'exposition dépasse l'une ou l'autre limite applicable.

d Pour les lasers UV à impulsions répétitives, il convient de ne dépasser aucune limite.

a Pour les facteurs de correction et les unités, voir le Tableau 10.

^b Les EMP pour des durées d'exposition inférieures à 10^{-9} s et pour les longueurs d'ondes inférieures à 400 nm et supérieures à 1 400 nm ont été extrapolées en calculant l'éclairement énergétique équivalent à partir des limites d'exposition énergétique à 10^{-9} s. Les EMP pour des durées d'exposition inférieures à 10^{-13} s sont réglées pour être égales aux valeurs équivalentes d'éclairement énergétique des EMP à 10^{-13} s.

^c Dans la gamme des longueurs d'ondes entre 450 nm et 500 nm, des limites conjuguées s'appliquent et il ne faut pas que l'exposition dépasse l'une ou l'autre limite applicable.

^d Pour les lasers UV à impulsions répétitives, il convient de ne dépasser aucune limite.

Tableau A.2 – Exposition maximale permise (EMP) au niveau de la cornée pour l'exposition au rayonnement laser de sources étendues dans la gamme des longueurs d'ondes de 400 nm à 1 400 nm (domaine spectral de danger rétinien)

Longueur d'onde λ nm	Temps d'exposition t s					
	10^{-13} à 10^{-11}	10^{-11} à 10^{-9}	10^{-9} à $1,8 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-5}$ à 5×10^{-5}	5×10^{-5} à 10	10 à 102
400 à 700	$1,5 \times 10^{-4} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2,7 \times 10^4 t^{0,75} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \times 10^{-3} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$18 t^{0,75} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$18 t^{0,75} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	400 à 600 nm – Danger photochimique pour la rétine ^a $100 C_3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ en utilisant $\gamma_{ph} = 11 \text{ mrad}$ $1 C_3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ en utilisant $\gamma_{ph} = 1,1 \text{ } \mu\text{s} \cdot \text{mrad}$ $\gamma_{ph} = 110 \text{ mrad}$ $1 C_3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ en utilisant $\gamma_{ph} = 110 \text{ mrad}$ ET^b 400 nm à 700 nm – Danger thermique pour la rétine $18 C_6 T_2^{-0,25} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ($t \leq T_2$) $18 t^{0,75} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ($t > T_2$)
700 à 1 050	$1,5 \times 10^{-4} C_4 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2,7 \times 10^4 t^{0,75} C_4 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \times 10^{-3} C_4 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$18 t^{0,75} C_4 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$18 t^{0,75} C_4 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$18 C_4 C_6 C_7 T_2^{-0,25} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ($t \leq T_2$) $18 t^{0,75} C_4 C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ($t > T_2$)
1 050 à 1 400	$1,5 \times 10^{-3} C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2,7 \times 10^5 t^{0,75} C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \times 10^{-2} C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$90 t^{0,75} C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$90 t^{0,75} C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	

^a L'angle γ_{ph} est l'angle d'admission de mesure limite.

^b Dans la gamme des longueurs d'ondes entre 400 nm et 600 nm, des limites conjuguées s'appliquent et il ne faut pas que l'exposition dépasse l'une ou l'autre limite applicable. Habituellement, les limites du danger photochimique ne s'appliquent que pour les durées d'exposition supérieures à 10 s; cependant, pour des longueurs d'ondes comprises entre 400 nm et 484 nm et pour des dimensions de source apparente comprises entre 1,5 mrad et 82 mrad, il convient d'appliquer la limite du danger photochimique conjuguée de $100 C_3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$, pour les expositions supérieures ou égales à 1 s.

Tableau A.3 – Exposition maximale permise (EMP) de la peau au rayonnement laser^{a, b}

Longueur d'onde λ nm	Temps d'exposition t s					
	$<10^{-9}$	10^{-9} à 10^{-7}	10^{-7} à 10^{-3}	10^{-3} à 10	10 à 10^3	10^3 à 3×10^4
180 à 302,5	$3 \times 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				
302,5 à 315		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ($t < T_1$)	$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ($t > T_1$)			$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$
315 à 400		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$
400 à 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 à 1 400	$2 \times 10^{11} C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$200 C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,1 \times 10^4 C_4 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$2\,000 C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
1 400 à 1 500	$10^{12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$5\,600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ }^c$	
1 500 à 1 800	$10^{13} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				
1 800 à 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 à 10^6	$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5\,600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			
^a Pour les facteurs de correction et les unités, voir le Tableau 10.						
^b Il n'y a qu'un nombre restreint de témoignages concernant les effets des expositions d'une durée inférieure à 10^{-9} s. Les EMP pour ces durées d'exposition ont été extrapolées en maintenant l'éclairement énergétique s'appliquant à 10^{-9} s.						
^c Pour des surfaces de peau exposées supérieures à $0,1 \text{ m}^2$, l'EMP est réduite à $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Entre $0,01 \text{ m}^2$ et $0,1 \text{ m}^2$, l'EMP varie inversement proportionnellement à la surface de peau irradiée.						

A.2 Ouvertures délimitantes

Il convient qu'une ouverture appropriée soit utilisée pour toutes les mesures et les calculs des valeurs d'exposition. C'est l'ouverture délimitante et elle est définie par le diamètre d'une surface circulaire sur laquelle l'éclairement ou l'exposition énergétique doivent être comptés en valeur moyenne. Des valeurs des ouvertures délimitantes sont données au Tableau A.4.

Pour des expositions à des rayonnements laser à impulsions répétitives dans le domaine spectral de 1 400 nm à 10^5 nm, une ouverture de 1 mm est utilisée pour évaluer le danger d'une impulsion unique, tandis qu'une ouverture de 3,5 mm est utilisée pour évaluer les EMP des expositions supérieures à 10 s.

NOTE Les valeurs des expositions oculaires dans la gamme des longueurs d'ondes de 400 nm à 1 400 nm sont mesurées à travers une ouverture de 7 mm de diamètre (pupille de l'œil). Il ne faut pas que la valeur de l'EMP soit rectifiée pour tenir compte des diamètres de pupille plus petits.

Tableau A.4 – Diamètres des ouvertures pour la mesure des éclairements et expositions énergétiques du laser

Domaine spectral nm	Diamètre d'ouverture pour mm	
	Œil	Peau
180 à 400	1	3,5
≥ 400 à 1 400	7	3,5
$\geq 1\,400$ à 10^5	1 pour $t \leq 0,35 \text{ s}$	3,5
	1,5 $t^{3/8}$ pour $0,35 \text{ s} < t < 10 \text{ s}$	
	3,5 pour $t \geq 10 \text{ s}$	
$\geq 10^5$ à 10^6	11	11
NOTE Pour les expositions à des impulsions multiples, se reporter à l'Article A.3.		