



ISBN 3 901 906 33 9

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE
INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION
INTERNATIONALE BELEUCHTUNGSKOMMISSION

TECHNICAL REPORT

COLORIMETRY

CIE 15:2004
3rd Edition

UDC: 535.66
535.67
612.843.31
159.937.51

Descriptor: Colorimetry
Colour of objects
Colour vision
Perception of colour

THE INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION

The International Commission on Illumination (CIE) is an organisation devoted to international co-operation and exchange of information among its member countries on all matters relating to the art and science of lighting. Its membership consists of the National Committees in 38 countries and one geographical area and of 4 associate members.

The objectives of the CIE are :

1. To provide an international forum for the discussion of all matters relating to the science, technology and art in the fields of light and lighting and for the interchange of information in these fields between countries.
2. To develop basic standards and procedures of metrology in the fields of light and lighting.
3. To provide guidance in the application of principles and procedures in the development of international and national standards in the fields of light and lighting.
4. To prepare and publish standards, reports and other publications concerned with all matters relating to the science, technology and art in the fields of light and lighting.
5. To maintain liaison and technical interaction with other international organisations concerned with matters related to the science, technology, standardisation and art in the fields of light and lighting.

The work of the CIE is carried on by seven Divisions each with about 20 Technical Committees. This work covers subjects ranging from fundamental matters to all types of lighting applications. The standards and technical reports developed by these international Divisions of the CIE are accepted throughout the world.

A plenary session is held every four years at which the work of the Divisions and Technical Committees is reviewed, reported and plans are made for the future. The CIE is recognised as the authority on all aspects of light and lighting. As such it occupies an important position among international organisations.

LA COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE

La Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) est une organisation qui se donne pour but la coopération internationale et l'échange d'informations entre les Pays membres sur toutes les questions relatives à l'art et à la science de l'éclairage. Elle est composée de Comités Nationaux représentant 38 pays plus un territoire géographique, et de 4 membres associés.

Les objectifs de la CIE sont :

1. De constituer un centre d'étude international pour toute matière relevant de la science, de la technologie et de l'art de la lumière et de l'éclairage et pour l'échange entre pays d'informations dans ces domaines.
2. D'élaborer des normes et des méthodes de base pour la métrologie dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.
3. De donner des directives pour l'application des principes et des méthodes d'élaboration de normes internationales et nationales dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.
4. De préparer et publier des normes, rapports et autres textes, concernant toutes matières relatives à la science, la technologie et l'art dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.
5. De maintenir une liaison et une collaboration technique avec les autres organisations internationales concernées par des sujets relatifs à la science, la technologie, la normalisation et l'art dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.

Les travaux de la CIE sont effectués par 7 Divisions, ayant chacune environ 20 Comités Techniques. Les sujets d'études s'étendent des questions fondamentales, à tous les types d'applications de l'éclairage. Les normes et les rapports techniques élaborés par ces Divisions Internationales de la CIE sont reconnus dans le monde entier.

Tous les quatre ans, une Session plénière passe en revue le travail des Divisions et des Comités Techniques, en fait rapport et établit les projets de travaux pour l'avenir. La CIE est reconnue comme la plus haute autorité en ce qui concerne tous les aspects de la lumière et de l'éclairage. Elle occupe comme telle une position importante parmi les organisations internationales.

DIE INTERNATIONALE BELEUCHTUNGSKOMMISSION

Die Internationale Beleuchtungskommission (CIE) ist eine Organisation, die sich der internationalen Zusammenarbeit und dem Austausch von Informationen zwischen ihren Mitgliedsländern bezüglich der Kunst und Wissenschaft der Lichttechnik widmet. Die Mitgliedschaft besteht aus den Nationalen Komitees in 38 Ländern und einem geographischen Gebiet und aus 4 assoziierten Mitgliedern.

Die Ziele der CIE sind :

1. Ein internationaler Mittelpunkt für Diskussionen aller Fragen auf dem Gebiet der Wissenschaft, Technik und Kunst der Lichttechnik und für den Informationsaustausch auf diesen Gebieten zwischen den einzelnen Ländern zu sein.
2. Grundnormen und Verfahren der Meßtechnik auf dem Gebiet der Lichttechnik zu entwickeln.
3. Richtlinien für die Anwendung von Prinzipien und Vorgängen in der Entwicklung internationaler und nationaler Normen auf dem Gebiet der Lichttechnik zu erstellen.
4. Normen, Berichte und andere Publikationen zu erstellen und zu veröffentlichen, die alle Fragen auf dem Gebiet der Wissenschaft, Technik und Kunst der Lichttechnik betreffen.
5. Liaison und technische Zusammenarbeit mit anderen internationalen Organisationen zu unterhalten, die mit Fragen der Wissenschaft, Technik, Normung und Kunst auf dem Gebiet der Lichttechnik zu tun haben.

Die Arbeit der CIE wird in 7 Divisionen, jede mit etwa 20 Technischen Komitees, geleistet. Diese Arbeit betrifft Gebiete mit grundlegendem Inhalt bis zu allen Arten der Lichtanwendung. Die Normen und Technischen Berichte, die von diesen international zusammengesetzten Divisionen ausgearbeitet werden, sind von der ganzen Welt anerkannt.

Tagungen werden alle vier Jahre abgehalten, in der die Arbeiten der Divisionen überprüft und berichtet und neue Pläne für die Zukunft ausgearbeitet werden. Die CIE wird als höchste Autorität für alle Aspekte des Lichtes und der Beleuchtung angesehen. Auf diese Weise unterhält sie eine bedeutende Stellung unter den internationalen Organisationen.

Published by the

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE
CIE Central Bureau
Kegelgasse 27, A-1030 Vienna, AUSTRIA
Tel: +43(1)714 31 87 0, Fax: +43(1)714 31 87 18
e-mail: ciecb@ping.at
WWW: <http://www.cie.co.at/>

© CIE 2004 – All rights reserved



ISBN 3 901 906 33 9

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE
INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION
INTERNATIONALE BELEUCHTUNGSKOMMISSION

TECHNICAL REPORT

COLORIMETRY

CIE 15:2004
3rd Edition

UDC: 535.66
535.67
612.843.31
159.937.51

Descriptor: Colorimetry
Colour of objects
Colour vision
Perception of colour

This Technical Report has been prepared by CIE Technical Committee 1-48 of Division 1 "Vision and Colour" and has been approved by the Board of Administration of the Commission Internationale de l'Eclairage for study and application. The document reports on current knowledge and experience within the specific field of light and lighting described, and is intended to be used by the CIE membership and other interested parties. It should be noted, however, that the status of this document is advisory and not mandatory. The latest CIE proceedings or CIE NEWS should be consulted regarding possible subsequent amendments.

Ce rapport technique a été élaboré par le Comité Technique CIE 1-48 de la Division 1 "Vision et Couleur" et a été approuvé par le Bureau de la Commission Internationale de l'Eclairage, pour étude et emploi. Le document expose les connaissances et l'expérience actuelles dans le domaine particulier de la lumière et de l'éclairage décrit ici. Il est destiné à être utilisé par les membres de la CIE et par tout les intéressés. Il faut cependant noter que ce document est indicatif et non obligatoire. Il faut consulter les plus récents comptes rendus de la CIE, ou le CIE NEWS, en ce qui concerne des amendements nouveaux éventuels.

Dieser Technische Bericht ist vom CIE Technischen Komitee 1-48 der Division 1 "Sehen und Farbe" ausgearbeitet und vom Vorstand der Commission Internationale de l'Eclairage gebilligt worden. Das Dokument berichtet über den derzeitigen Stand des Wissens und Erfahrung in dem behandelten Gebiet von Licht und Beleuchtung; es ist zur Verwendung durch CIE-Mitglieder und durch andere Interessierte bestimmt. Es sollte jedoch beachtet werden, daß das Dokument eine Empfehlung und keine Vorschrift ist. Die neuesten CIE-Tagungsberichte oder das CIE NEWS sollten im Hinblick auf mögliche spätere Änderungen zu Rate gezogen werden.

Any mention of organisations or products does not imply endorsement by the CIE. Whilst every care has been taken in the compilation of any lists, up to the time of going to press, these may not be comprehensive.

Toute mention d'organisme ou de produit n'implique pas une préférence de la CIE. Malgré le soin apporté à la compilation de tous les documents jusqu'à la mise sous presse, ce travail ne saurait être exhaustif.

Die Erwähnung von Organisationen oder Erzeugnissen bedeutet keine Billigung durch die CIE. Obgleich große Sorgfalt bei der Erstellung von Verzeichnissen bis zum Zeitpunkt der Drucklegung angewendet wurde, ist es möglich, daß diese nicht vollständig sind.

This report has been prepared by the Technical Committee 1-48 "Revision of CIE document 15.2 Colorimetry" of CIE Division 1 "Colour and Vision" by using previously published material of the CIE and considering resolutions of the CIE Division 1 meeting at Teddington 2000-04-06 and Rochester 2001-06-22/23. This present publication replaces CIE 15.2-1986 "Colorimetry".

Members of the Technical Committee during the preparation of this report were:

P.J. Alessi	USA
E.C. Carter	USA
M.D. Fairchild	USA
R.W.G. Hunt	United Kingdom
C.S. McCamy	USA
B. Kránicz	Hungary
J.R. Moore	United Kingdom
L. Morren	Belgium
J.H. Nobbs	United Kingdom
Y. Ohno	USA
M.R. Pointer	United Kingdom
D.C. Rich	USA
A.R. Robertson	Canada
J.D. Schanda (chair)	Hungary
R. Sève	France
P.W. Trezona	United Kingdom
K. Witt	Germany
H. Yaguchi	Japan

The following Editorial Committee was responsible for the formulation of the document: E.C. Carter, Y. Ohno, M.R. Pointer, A.R. Robertson, R. Sève, J.D. Schanda, K. Witt.

Items of mainly historic importance have been placed into Appendix A.

¹ According to the new CIE publication numbering policy - that indicates a new revised edition only by the year of publication - this technical report has got the number of 15:2004 and not 15.3:2004.

TABLE OF CONTENTS

SUMMARY	VII
RESUME	VII
ZUSAMMENFASSUNG	VII
1. SCOPE	1
2. PREFACE	1
3. RECOMMENDATIONS CONCERNING STANDARD PHYSICAL DATA OF ILLUMINANTS AND SOURCES	2
3.1 Recommendations concerning standard physical data of illuminants	2
3.2 Artificial sources representative of illuminants	5
4. RECOMMENDATIONS CONCERNING STANDARD OF REFLECTANCE	5
5. RECOMMENDATIONS CONCERNING GEOMETRIC CONDITIONS FOR COLORIMETRY	5
5.1 Recommended nomenclature for directional irradiation	6
5.1.1 Forty-five degree directional geometry (45°x)	6
5.1.2 Forty-five degree annular geometry (45°a)	6
5.1.3 Zero degree directional geometry (0°)	6
5.1.4 Eight degree geometry (8°)	7
5.2 Recommended geometry for reflection measurements	7
5.2.1 Diffuse: eight-degree geometry, specular component included (di:8°)	7
5.2.2 Diffuse: eight-degree geometry, specular component excluded (de:8°)	7
5.2.3 Eight degree: diffuse geometry, specular component included (8°:di)	7
5.2.4 Eight degree: diffuse geometry, specular component excluded (8°:de)	7
5.2.5 Diffuse / diffuse geometry (d:d)	7
5.2.6 Alternative diffuse geometry (d:0°)	7
5.2.7 Forty-five degree annular / normal geometry (45°a:0°)	7
5.2.8 Normal / forty-five degree annular geometry (0°:45°a)	8
5.2.9 Forty-five degree directional / normal geometry (45°x:0°)	8
5.2.10 Normal / forty-five degree directional geometry (0°:45°x)	8
5.3 Recommended geometry for transmission measurements	8
5.3.1 Normal / normal geometry (0°:0°)	8
5.3.2 Diffuse / normal geometry, regular component included (di:0°)	9
5.3.3 Diffuse / normal geometry, regular component excluded (de:0°)	9
5.3.4 Normal / diffuse geometry, regular component included (0°:di)	9
5.3.5 Normal / diffuse geometry, regular component excluded (0°:de)	9
5.3.6 Diffuse / diffuse geometry (d:d)	9
6. RECOMMENDATIONS CONCERNING STANDARD OBSERVER DATA	9
6.1 CIE 1931 standard colorimetric observer	9
6.2 CIE 1964 standard colorimetric observer	10
7. RECOMMENDATIONS CONCERNING THE CALCULATION OF TRISTIMULUS VALUES AND CHROMATICITY COORDINATES	12
7.1 Calculation of tristimulus values	12
7.1.1 Secondary light sources (reflecting or transmitting objects)	12
7.1.2 Illuminants and self-luminous objects	13
7.2 The use of abridged or truncated data	13
7.2.1 Abridgement	13
7.2.2 Truncation	14
7.2.3 Weighting factors	14
7.2.4 Numerical procedures	15
7.2.5 Bandwidth of a spectrometer	15
7.3 Calculation of chromaticity coordinates	15
7.4 Equations representing relationships between colour stimuli	16

8.	RECOMMENDATIONS CONCERNING UNIFORM COLOUR SPACING AND COLOUR DIFFERENCES	16
8.1	CIE 1976 uniform chromaticity scale diagram (UCS diagram)	16
8.2	CIE 1976 uniform colour spaces	16
8.2.1	CIE 1976 ($L^*a^*b^*$) colour space; CIELAB colour space	17
8.2.2	CIE 1976 ($L^*u^*v^*$) colour space; CIELUV colour space	18
8.2.3	Notes on CIE 1976 uniform colour spaces	19
8.3	Improved industrial colour difference evaluation	20
8.3.1	CIEDE2000 total colour difference formula	20
9	RECOMMENDATIONS CONCERNING MISCELLANEOUS COLORIMETRIC PRACTICES AND FORMULAE	22
9.1	Dominant wavelength and purity	22
9.1.1	Dominant wavelength (of a colour stimulus), λ_d	22
9.1.2	Complementary wavelength (of a colour stimulus), λ_c	22
9.1.3	Colorimetric purity, p_c	22
9.1.4	Excitation purity, p_e	22
9.2	Special metamerism indices	23
9.2.1	Special metamerism index: change in illuminant	23
9.2.2	Special metamerism index: change in observer	24
9.3	Assessment of the quality of a daylight simulator for colorimetry	25
9.4	The evaluation of whiteness	26
9.5	Calculation of correlated colour temperature	26
10.	REFERENCES	27
11.	TABLES	30
11.1	Table T.1. Relative spectral power distributions of CIE illuminants	30
11.2	Table T.2. Components $S_0(\lambda)$, $S_1(\lambda)$, $S_2(\lambda)$	33
11.3	Table T.3. Tristimulus values, chromaticity coordinates of CIE illuminants	35
11.4	Table T.4. CIE 1931 standard colorimetric observer	36
11.5	Table T.5. CIE 1964 standard colorimetric observer	38
11.6	Table T.6. Relative spectral power distributions of illuminants representing typical fluorescent lamps, for wavelengths $\lambda = 380$ nm to 780 nm at 5 nm intervals	40
11.7	Table T.7. High pressure discharge lamps. HP1: Standard high pressure sodium lamp; HP2: Colour enhanced high pressure sodium lamp; HP3-5: Three types of high pressure metal halide lamps	47
11.8	Table T.8. Colorimetric data for the fluorescent lamp illuminants of Table T.6	49
11.9	Table T.9. Colorimetric data for the high pressure illuminants of Table T.7	50
11.10	Table T.10. Values of the first deviation function used in the calculation of the observer metamerism index	51
APPENDIX A.	OLD RECOMMENDATIONS, NOW OBSOLETE, AS WELL AS REFERENCES TO NON-CIE COLOUR DIFFERENCE FORMULAE	52
Appendix A.1.	Illuminant B and Source B	52
Appendix A.2.	Illuminant C and Source C	52
Appendix A.3.	CIE 1964 uniform colour space and colour difference formula	53
u, v	uniform chromaticity scale (CIE 1960 UCS) diagram	53
	1964 uniform space and colour difference formula	53
Appendix A.4.	CIE 1994 colour difference formula (CIE94)	53
Appendix A.5.	CMC(l:c) colour difference formula	54
Appendix A.6.	DIN99 colour difference formula	54
References		54
APPENDIX B.	DEFINITIONS OF THE $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ COLOUR-MATCHING FUNCTIONS, THE CIE RGB SYSTEM AND THE DERIVATION OF THE CIE XYZ SYSTEM FROM THE CIE RGB SYSTEM FOR THE 1931 STANDARD OBSERVER	55
Appendix B.1.	Determination of the $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ colour-matching functions	55
Appendix B.2.	Derivation of the CIE XYZ trichromatic system from the CIE RGB trichromatic system	56

Appendix B.3. Definition of the colour-matching functions in the CIE 1964 trichromatic system	57
Reference	61
APPENDIX C. ALTERNATIVE METHOD TO DEFINE DAYLIGHT ILLUMINANTS - METHOD OF CALCULATION, CORRECTED TABLES AND EQUATIONS (FOR INFORMATION AND EVALUATION)	62
References	65
APPENDIX D. REVERSE TRANSFORMATION FROM VALUES L^* , a^* , b^* TO TRISTIMULUS VALUES X, Y, Z	66
Reference	66
APPENDIX E. INFORMATION ON THE USE OF PLANCK'S EQUATION FOR STANDARD AIR	67
References	67
EXPLANATORY COMMENTS	68

COLORIMETRY

SUMMARY

This publication provides the recommendations of the CIE concerning basic colorimetry. Specifically, it includes the use of the standard illuminants and the standard colorimetric observers; the reference standard for reflectance; the illuminating and viewing conditions; the calculation of tristimulus values, chromaticity coordinates, colour spaces and colour differences; and the various other colorimetric practices and formulae.

This publication is consistent with the fundamental data and procedures described in the CIE Standards on Colorimetry.

For further details of some of the phenomena discussed here the reader is directed to the appropriate technical reports.

COLORIMETRIE

RESUME

Ce document donne les recommandations de la CIE pour la colorimétrie de base. Plus particulièrement il traite de l'emploi des illuminants normalisés et des observateurs colorimétriques normalisés, de la référence normalisée pour le facteur de réflexion, des conditions d'éclairage et d'observation, du calcul des composantes trichromatiques, des coordonnées trichromatiques, des espaces chromatiques et des écarts de couleur, ainsi que de l'emploi de diverses autres pratiques et formules colorimétriques.

Cette publication est en accord avec les données et procédures de base qui sont décrites dans les normes CIE de colorimétrie.

Pour des détails complémentaires relatifs aux questions traitées ici, le lecteur est invité à consulter les rapports techniques appropriés.

FARBMESSUNG

ZUSAMMENFASSUNG

Die hier wiedergegebenen Empfehlungen der CIE beziehen sich auf die Anwendung oder die Benutzung der Normlichtarten und der Normalbeobachter, auf den Weißstandard, auf die Beleuchtungs- und Beobachtungsbedingungen, auf die Berechnung von Normfarbwerten und Normfarbwertanteilen, Farbräumen und Farbabständen, und auf verschiedene andere farbmetrische Praktiken und Formeln.

Diese Veröffentlichung stimmt mit den grundlegenden Daten und Verfahren überein, die in CIE Normen für Farbmessung beschrieben sind.

Weitere Einzelheiten einiger hier diskutierter Phänomene findet der Leser in geeigneten technischen Berichten.

