



ISBN 978 3 902842 43 5

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

# TECHNICAL REPORT

**A COMPUTERIZED APPROACH TO  
TRANSMISSION AND ABSORPTION  
CHARACTERISTICS OF THE HUMAN  
EYE**

**CIE 203:2012 incl. Erratum 1**

---

UDC: 612.014.481-06  
617.7-001.15

Descriptor: Optical radiation effects on humans  
Action of light on the eye

## 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 about 40 countries.

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 environ 40 pays.

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 rund 40 Ländern.

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 auf der ganzen Welt anerkannt.

Alle vier Jahre findet eine Session statt, in der die Arbeiten der Divisionen überprüft, 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@cie.co.at  
WWW: <http://www.cie.co.at/>

© CIE 2012 - All rights reserved



ISBN 978 3 902842 43 5

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

# TECHNICAL REPORT

**A COMPUTERIZED APPROACH TO  
TRANSMISSION AND ABSORPTION  
CHARACTERISTICS OF THE HUMAN  
EYE**

**CIE 203:2012 incl. Erratum 1**

---

UDC: 612.014.481-06  
617.7-001.15

Descriptor: Optical radiation effects on humans  
Action of light on the eye

This Technical Report has been prepared by CIE Technical Committee 6-15 of Division 6 "Photobiology and Photochemistry" 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.

Ce rapport technique a été élaboré par le Comité Technique CIE 6-15 de la Division 6 "Photobiologie et Photochimie" 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 tous les intéressés. Il faut cependant noter que ce document est indicatif et non obligatoire.

Dieser Technische Bericht ist vom Technischen Komitee CIE 6-15 der Division 6 "Photobiologie und Photochemie" 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.

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, besteht die Möglichkeit, dass diese nicht vollständig sind.

The following members of TC 6-15 "A Computerized Approach to Reflection, Transmission, and Absorption Characteristics of the Human Eye" took part in the preparation of this Technical Report. The committee comes under Division 6 "Photobiology and Photochemistry".

Members:

<b>Lund, D.J.</b>	<b>USA (Chair)</b>
Marshall, J.	United Kingdom
Mellerio, J.	United Kingdom
Okuno, T.	Japan
Schulmeister, K.	Austria
Sliney, D.	USA
Söderberg, P.	Sweden
Stuck, B.	USA
van Norren, D.	Netherlands
Zuclich, J.	USA

Advisors:

Barker, F.	USA
Hoover, H.	USA
Wengraitis, S.	USA

## CONTENTS

Summary .....	V
Résumé .....	V
Zusammenfassung.....	V
ERRATUM 1 .....	E-1
1 Introduction .....	1
2 Scope.....	1
3 Background .....	1
4 Methods and Results .....	2
4.1 Cornea .....	3
4.2 Aqueous and Vitreous .....	4
4.3 Lens.....	5
4.4 Total Transmission .....	7
4.5 Direct Transmission.....	9
4.6 Transmission of the Ageing Human Eye .....	14
4.7 Spectral Reflectance of the Retina .....	16
5 Discussion.....	16
6 Spectral Considerations .....	19
7 Recommendations for Future Work.....	19
Annex A Tables of Absorption and Transmission Data of the Human and the Rhesus Eye .....	20
References .....	59

## **A COMPUTERIZED APPROACH TO TRANSMISSION AND ABSORPTION CHARACTERISTICS OF THE HUMAN EYE**

### **Summary**

There has long been a need for a series of reference spectral transmission and absorption data for the human eye for applications in eye research and optical safety studies. TC 6-15 collected spectral data from the literature and determined from that literature the best form for the wavelength dependence of the transmission and absorption of the components of the human eye. After critical review, the data have been compiled in tabular form in comma-delimited computer-accessible data files. The tabulated data consist of the transmission and absorption data of the clear ocular media, including the cornea, the aqueous, the lens, and the vitreous of the young (< 10 years old) human eye and the rhesus eye for the wavelength range of 0,2  $\mu\text{m}$  to 2,5  $\mu\text{m}$ . Transmittance data of the total clear ocular media in the human eye for the wavelength range 0,3  $\mu\text{m}$  to 0,7  $\mu\text{m}$  and for ages between 1 year and 100 years are also tabulated. These data can be downloaded by readers of this Technical Report from the CIE website.

## **UNE APPROCHE INFORMATIQUE DES CARACTÉRISTIQUES DE TRANSMISSION ET ABSORPTION DE L'ŒIL HUMAIN**

### **Résumé**

Il s'est avéré depuis longtemps nécessaire de disposer d'une série de références pour les données spectrales de transmission et d'absorption de l'œil humain à des fins de recherche sur l'œil et d'évaluation de la sécurité optique. Le TC 6-15 a rassemblé ces données spectrales à partir de la littérature et a choisi, à partir de cette littérature, la meilleure formulation pour exprimer la dépendance, vis-à-vis de la longueur d'onde, de la transmission et de l'absorption des différents milieux et composants de l'œil humain. Après une revue critique, les données, présentées sous forme de tableaux, concernent les valeurs de la transmission et de l'absorption des milieux transparents de l'œil, comprenant la cornée, l'humeur aqueuse, le cristallin et le vitré de l'œil humain (âgé de moins de dix ans) et de l'œil de singe rhésus dans l'intervalle des longueurs d'ondes comprises entre 0,2  $\mu\text{m}$  et 2,5  $\mu\text{m}$ . Les données de transmission de l'ensemble des milieux transparents oculaires humains pour les longueurs d'ondes comprises entre 0,3  $\mu\text{m}$  et 0,7  $\mu\text{m}$  et pour les âges compris entre 1 an et 100 ans sont également présentées sous formes de tableaux. Ces données peuvent être téléchargées par les lecteurs de ce rapport sur le site web de la CIE.

## **EIN COMPUTER-GESTÜTZTER ANSATZ ZU TRANSMISSIONS- UND ABSORPTIONSEIGENSCHAFTEN DES MENSCHLICHEN AUGES**

### **Zusammenfassung**

Seit langem gibt es einen Bedarf an einer Datenreihe von Referenzdaten für die spektrale Transmission und Absorption des menschlichen Auges zur Anwendung in der Augenforschung und für Untersuchungen zur optischen Sicherheit. TC 6-15 hat spektrale Daten aus der Literatur gesammelt und daraus die beste Form hinsichtlich der Wellenlängenabhängigkeit von Transmission und Absorption der Komponenten des menschlichen Auges festgelegt. Nach kritischer Durchsicht wurden die Daten in tabellarischer Form, durch Komma getrennt, in Computer gerechten Dateien zusammengefasst. Die tabellarischen Daten beinhalten Transmissions- und Absorptionsdaten der durchsichtigen okularen Medien, d.h. der Hornhaut, des Kammerwassers, der Linse und des Glaskörpers des jungen (< 10 Jahre) menschlichen Auges und des Rhesusauges für den Wellenlängenbereich von 0,2  $\mu\text{m}$  bis 2,5  $\mu\text{m}$ . Transmissionsdaten der gesamten durchsichtigen okularen Medien des menschlichen Auges

für den Wellenlängenbereich 0,3  $\mu\text{m}$  bis 0,7  $\mu\text{m}$  und für einen Altersbereich zwischen 1 Jahr und 100 Jahren werden ebenfalls tabelliert. Diese Daten stehen Lesern dieses Technischen Berichts auf der CIE-Website zum Download zur Verfügung.

## ERRATUM 1

(September 2012)

## to CIE 203:2012 A Computerized Approach to Transmission and Absorption Characteristics of the Human Eye

1. Page 14:

Paragraph after Equation (3):

“Tables A.3 and A.6 of this report describe the spectral transmission of a young (< 10 years old) human eye. The rhesus monkeys upon which the curves are based were 2 years to 8 years old. An excellent match was found for the data of Table A.3 when the age was set to 1 year to 10 years and the empirical equations of van de Kraats (2007) were slightly modified to adjust ...”

should read:

“Tables A.3 and A.6 of this report describe the spectral transmission of a young (< 10 years old) human eye. The rhesus monkeys upon which the curves are based were 2 years to 8 years old. An excellent match was found for the data of Table A.3 when the age was set to 1 year **and** 10 years, and the empirical equations of van de Kraats (2007) were slightly modified to adjust ...”

2. Page 14:

Equation (4):

$$\begin{aligned}
 D_{\tau, \text{media}}(\lambda) = & (0,15 + 0,00031 \cdot a^2) \cdot (400/\lambda)^4 \\
 & + 14,19 \times 10,68 \cdot \exp(-\{[0,057 \cdot (\lambda - 273)]^2\}) \\
 & + (1,05 - 0,000\ 063 \cdot a^2) \cdot 2,13 \cdot \exp(-\{[0,029 \cdot (\lambda - 370)]^2\}) \\
 & + (0,059 + 0,000\ 186 \cdot a^2) \cdot 11,95 \cdot \exp(-\{[0,021 \cdot (\lambda - 325)]^2\}) \\
 & + (0,016 + 0,000\ 132 \cdot a^2) \cdot 1,43 \cdot \exp(-\{[0,008 \cdot (\lambda - 325)]^2\}) + 0,06
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

should read:

$$\begin{aligned}
 D_{\tau, \text{media}}(\lambda) = & (0,15 + \mathbf{0,000031} \cdot a^2) \cdot (400/\lambda)^4 \\
 & + 14,19 \times 10,68 \cdot \exp(-\{[0,057 \cdot (\lambda - 273)]^2\}) \\
 & + (1,05 - 0,000\ 063 \cdot a^2) \cdot 2,13 \cdot \exp(-\{[0,029 \cdot (\lambda - 370)]^2\}) \\
 & + (0,059 + 0,000\ 186 \cdot a^2) \cdot 11,95 \cdot \exp(-\{[0,021 \cdot (\lambda - 325)]^2\}) \\
 & + (0,016 + 0,000\ 132 \cdot a^2) \cdot 1,43 \cdot \exp(-\{[0,008 \cdot (\lambda - 325)]^2\}) + 0,06
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

3. Page 16:

First sentence on this page:

“Van de Kraats (2007) also included an empirical equation giving the transmittance for a larger field of view (> 3° vs. 1°), which differed from the total transmission equation in that it provided a stronger scatter function and greater baseline optical density.”

should read:

“Van de Kraats (2007) also included an empirical equation giving the transmittance for a **small** field of view (**1° vs. > 3°**), which differed from the total transmission equation in that it provided a stronger scatter function and greater baseline optical density.”

4. Page 16:

Equation (5):

$$\begin{aligned}
 D_{\tau, \text{media}}(\lambda) = & (0,3 + 0,00031 \cdot a^2) \cdot (400/\lambda)^4 \\
 & + 14,19 \times 10,68 \cdot \exp(-\{[0,057 \cdot (\lambda - 273)]^2\}) \\
 & + (1,05 - 0,000\ 063 \cdot a^2) \cdot 2,13 \cdot \exp(-\{[0,029 \cdot (\lambda - 370)]^2\}) \\
 & + (0,059 + 0,000\ 186 \cdot a^2) \cdot 11,95 \cdot \exp(-\{[0,021 \cdot (\lambda - 325)]^2\}) \\
 & + (0,016 + 0,000\ 132 \cdot a^2) \cdot 1,43 \cdot \exp(-\{[0,008 \cdot (\lambda - 325)]^2\}) + 0,17 \\
 & \hspace{10em} (5)
 \end{aligned}$$

should read:

$$\begin{aligned}
 D_{\tau, \text{media}}(\lambda) = & (0,3 + \mathbf{0,000031} \cdot a^2) \cdot (400/\lambda)^4 \\
 & + 14,19 \times 10,68 \cdot \exp(-\{[0,057 \cdot (\lambda - 273)]^2\}) \\
 & + (1,05 - 0,000\ 063 \cdot a^2) \cdot 2,13 \cdot \exp(-\{[0,029 \cdot (\lambda - 370)]^2\}) \\
 & + (0,059 + 0,000\ 186 \cdot a^2) \cdot 11,95 \cdot \exp(-\{[0,021 \cdot (\lambda - 325)]^2\}) \\
 & + (0,016 + 0,000\ 132 \cdot a^2) \cdot 1,43 \cdot \exp(-\{[0,008 \cdot (\lambda - 325)]^2\}) + 0,17 \\
 & \hspace{10em} (5)
 \end{aligned}$$

## 1 Introduction

The spectral transmittance of the human ocular media has been studied for decades (Ludvigh 1938, Alpern 1965, Boettner 1962a, Geeraets 1968, Mellerio 1971 and 1987, Weale 1988, Werner 1982, Ambach 1994, Kolozsvári 2002, Lei 2006, Kessel 2010). Many of these studies were limited to a single component of the eye, usually cornea or lens, and have been limited in spectral range covered, usually including only visible and ultraviolet (UV). The results are complicated by the fact that the spectral transmission of the ocular media changes with the age of the eye (Pierscionek 1996). Thus the studies show a significant variation in ocular transmission and the spectral dependence of that transmission. It is the purpose of this report to present, in tabular form, ocular transmission data for the pre-retinal ocular media derived from consideration of the literature and considered representative of the spectral properties of the human eye. The tabulated data included in this report were developed based on data for 2 years to 8 years old rhesus eyes and are characteristic of a young (< 10 years old) human eye. The transmission characteristics of the pre-retinal ocular media of the ageing human eye are included based on empirical equations developed by van de Kraats and van Norren (2007). The spectral properties of the ocular media are of value in several fields of eye research, e.g., in the development of ophthalmic instruments, ophthalmic surgical treatments and for optical radiation safety calculations.

The data tabulated in the Annex of this report can be downloaded from the CIE website at <http://www.cie.co.at/index.php/DOWNLOADS/TC6-15+database>.

## 2 Scope

This Technical Report provides a critical review of published data of the wavelength dependence of the transmission and absorption of the components of the human eye. Based on the outcomes of this review, the spectral properties of the human eye have been compiled in tabular form in comma-delimited computer-accessible data files.

## 3 Background

The task of this committee was as follows: Collect data from the literature, determine from that literature the best form for the wavelength dependence of the transmission and absorption of the pre-retinal components of the human eye, and compile those data in tabular form in comma-delimited data files accessible to computer programs. This report details progress toward meeting that goal, and presents tabulations of the transmission and absorption data of the clear ocular media, the cornea, the aqueous, the lens, and the vitreous.

The sources of useful human ocular data for this task are relatively sparse. The two most commonly referenced sources are Boettner et al. (1962a, 1962b, 1967, 1974) and Geeraets et al. (1960, 1962, 1968). Ambach et al. (1994) measured the transmittance of the components of the human eye over the spectral range 0,28  $\mu\text{m}$  to 0,8  $\mu\text{m}$ . Van Norren and Vos (1974) summarized data from sources before 1974. From these data they constructed an optical density curve for the eye of a standard observer for the wavelength range from 0,38  $\mu\text{m}$  to 0,7  $\mu\text{m}$ . Wyszecki and Stiles (1982) presented a similar curve, based largely on the same sources. More recently van de Kraats and van Norren (2007) evaluated the data from sources available in 2007 with the goal of developing mathematical descriptions of the optical density of the ocular media as a function of wavelength for the range 0,3  $\mu\text{m}$  to 0,7  $\mu\text{m}$  and as a function of age.

Other than the work of Boettner and Wolter and of Geeraets et al. there are no studies which measure all the components of the clear media of the human eye and which also span the spectral range across which light is transmitted to the retina of an intact eye. The data of Geeraets et al. are flawed (van den Berg 1997). While the visible wavelength data of Geeraets might be valid, all the data above 0,8  $\mu\text{m}$  are wavelength shifted, apparently by a